Cépaduès
– éditions –

manuel du pilote d'avion

12e édition

Licence de pilote privé d'avion PPL(A)

Cépaduès
éditions
manuel du pilote d'avion
12e édition
Licence de pilote privé d'avion PPL(A)
700 QUESTIONS
PILOTE PRIVÉ
LA METEO DU PILOTE VFR
Les points clés du PPL
Briefings avant vol
La réglementation du pilote privé avion
Leçons de pilotage
PERFORMANCE HUMAINE et ses limites

Manuel du Pilote d'avion

12e édition

CÉPADUÈS-ÉDITIONS
111, rue Vauquelin
F 31100 TOULOUSE – France
Téléphone *(de France)* : 05 61 40 57 36 – Fax : 05 61 41 79 89
(de l'étranger) : + 33 5 61 40 57 36 – Fax : + 33 5 61 41 79 89
www.cepadues.com
courriel : cepadues@cepadues.com

Coordonnées GPS en WGS 84
N 43 ° 34' 13,2"
E 001 ° 24' 21,5"

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

Leçons de pilotage – Maniabilité du PPL	Attias J., Dartaguiette G.
Apprendre à piloter les ULM multiaxe et les avions légers	Attias J., Dartaguiette G.
Météorologie – Montgolfière, carnet de vols	Beaudenon Th.
Flight Attendants' English (PNC)	Billange C., Milne A.
Papier, vole ! – 2 tomes	Botermans J.
Météorologie du vol à voile	Bradbury T.
Infractions & incidents eXpliqués au pilote privé	Casanova D.
La Réglementation du pilote privé avion	Casanova D.
VFR – Flight Rules France	Casanova D.
Avionique de la navigation aérienne	Combes M.
Guide de la phraséologie du pilote VFR (Fr-En)	Coulombe C.
Guía de fraseología del piloto VFR (Es-Fr-En)	Coulombe C.
La météo du pilote VFR – Savoir analyser et interpréter son dossier de vol	Fièque J.-P.
La météo du vol à voile et du vol libre	Fièque J.-P.
L'Autogire de la théorie à la pratique	Hoffmann V.
La sécurité du PPL – Méprises et maîtrise en aéronautique	Hovan F.
Le vol sans moteur	Kassera W.
Comprendre l'avion – 3 tomes	Klopfstein G.
Courchevel Airport	Kossa M.
Dictionnaire de l'aéronautique (Fr-En-De / De-Fr-En)	Krafft J.-H.
Dictionnaire technique de l'aéronautique (En-Fr / Fr-En)	Lambert R.
Propulseurs aéronautiques	Lepourry P., Ciryci R.
A380 le défi	Marc Y.
La Légende des Guppy	Méchain D.
Cédérom PC la Maîtrise du PPL	Messud M.
Cédérom PC Briefings avant vol	Messud M.
Cédérom PC la Maîtrise de la radiotéléphonie (Fr-En)	Messud M.
Cédérom PC pratique de l'IFR – maîtrise du VFR	Messud M.
Cédérom PC Radionavigation Unlimited (En)	Messud M.
Cédérom PC Altimétrie	Messud M.
Cédérom PC Les points-clés du PPL et du BB	Messud M.
La radionavigation et l'IFR	Mougery F.
Le computer eXpliqué au pilote privé	Mougery F.
Initiation au pilotage	Nicolas J.
Fais-moi piloter l'hydravion	Nicolas J.
Dessine-moi un avion – Premiers vols	Nicolas J., Ziegelbaum P.
Apprends-moi l'avion - Perfectionnement, cours théoriques	Nicolas J., Ziegelbaum P.
Enseigne-moi la navigation	Nicolas J., Ziegelbaum P.
Devenir PNC – Le métier de PNC eXpliqué aux candidates hôtesses de l'air et aux futurs stewards	Plangor A.
La théorie du CSS	Plangor A.
DicoVol – Aviation légère, vol à voile et voltige aérienne (Fr/En/De)	Plays A.
L'Anglais du PNC	Plays A.
El Inglés del TCP	Plays A.
Performance humaine et ses limites	Pratt J.
Le voyage aéronautique	du Puy de Goyne Th.
La Radionavigation, une aide au vol VFR	du Puy de Goyne Th.
Le précis du pilote ULM et avion léger	du Puy de Goyne Th., Plays Y., Barcouda P.
Le GPS – Marine, Aviation, Randonnées	du Puy de Goyne Th.
Découverte du pilotage avion	du Puy de Goyne Th.
Technique d'utilisation de l'hélicoptère – « T.U. Hélico »	du Puy de Goyne Th., Koska M.
Initiation à l'aéronautique	du Puy de Goyne Th., Plays Y., Lepourry P., Besse J.
Instruments de bord	du Puy de Goyne Th., Roumens A., Lepourry P.
Théorie élémentaire de l'hélicoptère – Initiation par l'image	Raletz R.
Manuel d'anglais du pilote privé, Tome I (avec 6 audio cds)	Rengade Y., Molac J.
Manuel d'anglais du pilote privé, Tome II	Rengade Y., Molac J.
Cellule et circuits associés	Ripoll J.-C.
Aviateurs – Petites chroniques des nuages	Roy G., Vincent
Guide de l'instructeur vol à voile	SEFA / CNVV
Guide pratique du pilote remorqueur	SEFA / CNVV
Manuel de pilotage des montgolfières	Deramecourt A. / FFA
Bases d'électricité avion – Protection contre les incendies	Valentin M.
Guide des épreuves pratiques de secourisme aéronautique	Collectif
Manuel du pilote – Vol à voile	Collectif
Manuel du pilote – ULM	Collectif
700 questions PPL	Collectif

L'illustration de couverture est un photomontage composé de photographies de l'aéroclub des Grèves du Mont-Saint-Michel.

© cepad 2008

issn 0296-788X

isbn : 978-2-85428-840-7 (12e édition)

isbn : 2-85428-061-X (1re édition)

Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique en se généralisant provoquerait une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement serait alors menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC – 3, rue d'Hautefeuille – 75006 Paris).

Dépôt légal : avril 2008

N° éditeur : 840001

INTRODUCTION

Être élève pilote

Votre carrière de pilote débute par un apprentis-sage effectué sous le contrôle d'un instructeur qualifié. Vous devez acquérir des connaissances théoriques et pratiques formant un ensemble dont tous les éléments sont liés. Votre charge de travail augmentera au fur et à mesure que vous avancerez dans votre formation.

Quatre moyens seront mis à votre disposition :

1. – Le cours.
2. – L'école de pilotage.
3. – L'avion école.
4. – Votre instructeur, qui est le maillon le plus important de la chaîne et que nous allons vous présenter.

Quel objectif viser ?

Selon vos disponibilités vous pouvez obtenir l'un des titres aéronautiques suivants :

- le brevet et licence de base de pilote avion (BB) qui est un titre prévu par la réglementation française ;
- le licence de pilote privé avion PPL(A) qui est un titre prévu par la réglementation européenne.

Les conditions de délivrance, la validité ainsi que les privilèges de ces titres sont détaillés dans le présent manuel. Notez que le BB vous accorde des privilèges restreints *(cf. page 13 ci-après)* ; aussi le BB peut être une étape dans votre progression et vous pouvez, si vous le souhaitez, poursuivre votre formation en vue d'obtenir la licence PPL(A).

Qui est votre instructeur ?

C'est un pilote qui a acquis sa qualité d'enseignant à l'issue de stages effectués dans des centres de formation d'instructeurs. Son rôle est essentiellement celui d'un guide. Il vous fera découvrir, analyser puis maîtriser les différents aspects du pilotage d'un avion.

Au cours de votre apprentissage de pilote, vous rencontrerez sans doute quelques difficultés. Certaines inhérentes au pilotage, d'autres communes à tous les apprentissages.

Peut-être connaîtrez-vous aussi une certaine appréhension durant vos premiers vols. Pour un non-initié, il n'est pas toujours rassurant de quitter le sol et de se retrouver face à des situations que l'on ne maîtrise pas. Vous devez savoir que tous les pilotes ont connu cette angoisse et la ressentent encore parfois. Le meilleur moyen de lutter contre cet état de choses est d'avoir une bonne compréhension des phénomènes aéronautiques ainsi qu'une maîtrise régulière de l'activité. Un bon équilibre physique et psychique sera également un facteur de réussite.

De quelle manière allez-vous progresser ?

Pour la majorité des élèves-pilotes, les progrès suivent une courbe qui n'est pas linéaire et comporte trois phases.

La première représente des progrès rapides qui vous apporteront beaucoup de satisfactions.

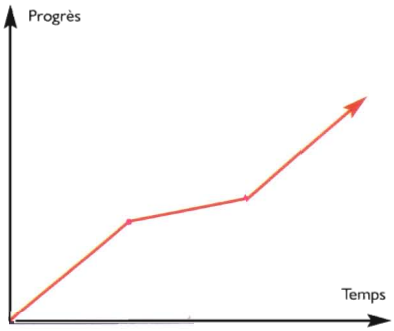
La deuxième correspond au phénomène de la mise en mémoire durable de ce que vous découvrez. Vous constaterez vous-même que certaines séances ne vous donnent pas entière satisfaction.

Si une tendance au découragement se manifestait, alors confiez ce doute à votre instructeur. Il connaît bien ce passage difficile. Tous ses élèves le rencontrent et il a toujours trouvé la solution.

La troisième est la période de maturation de votre apprentissage ; c'est aussi le retour d'une grande satisfaction : désormais, vous maîtrisez votre vol.

Pour conclure, nous attirons votre attention sur la nécessité d'organiser votre apprentissage dans le temps le plus réduit et d'éviter de changer d'instructeur, sauf si une incompatibilité se manifestait entre lui et vous. Les instructeurs sont comme les élèves, ils n'atteignent jamais, fort heureusement, la perfection.

Lorsque votre apprentissage sera terminé, vous serez alors juge pour apprécier à tout moment votre bon équilibre physique et psychologique, cela afin de conserver les performances minimales qui garantissent votre sécurité, celle de vos passagers et celle des tiers au sol.



Comment vous assurer du niveau minimal de vos performances ?

Tout d'abord en acceptant une hygiène de vie qui ne laisse aucun doute quant à votre aptitude à entreprendre un vol.

En second lieu en vous réservant un entraînement annuel satisfaisant que vous déterminerez vous-même entre 10 et 20 heures de vol (ou plus si vous avez la possibilité de réaliser une activité plus intense).

Si la condition « entraînement » n'est pas satisfaite, vous n'hésiterez pas à consulter un instructeur qui vous aidera à actualiser vos connaissances et votre compétence en vol.

AVERTISSEMENT

Cet ouvrage n'est pas un livre d'auto-formation !
C'est un guide pour vous et votre instructeur.
Toutes les connaissances sont traitées lors
des cours théoriques et briefings qui **précèdent** les vols.

TABLE DES MATIÈRES

LE BREVET ET LA LICENCE DE BASE DE PILOTE D'AVION 13
DÉROULEMENT DE L'EXAMEN THÉORIQUE PPL (A) 15
PARCOURS DE RÉVISION PPL (A) 15
PROGRESSION TYPE PPL(A) 19
PROGRAMME DE FORMATION THÉORIQUE PPL(A) 24

PHASE 1 25

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE 27
Les organismes internationaux 27
L'organisation internationale de l'aviation civile 27
L'organisation européenne de l'aviation civile 27
L'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA) 28
Les licences européennes 28
L'organisme national de tutelle de l'aviation civile 29
Missions et organisation de la DGAC 29
Les textes réglementaires de référence 31

CONVENTION DE CHICAGO 34

LA RÉGLEMENTATION DU PILOTE PRIVÉ PPL (A) 38

L'APTITUDE PHYSIQUE ET MENTALE 40
Détermination de l'aptitude physique et mentale 40
Les conditions d'obtention de l'aptitude physique et mentale 40
Durée de validité du certificat médical 40
Que faire en cas de perte de l'aptitude médicale ? 40

FACTEURS HUMAINS 43
LES FACTEURS HUMAINS ET LA SÉCURITÉ DU VOL 43
NOTIONS DE BASE DE PHYSIOLOGIE AÉRONAUTIQUE 43
Les effets de l'altitude 43
Hypoxie d'altitude 43
Temps de conscience utile 44
Barotraumatismes 44
Les effets des accélérations 44
La perception 45
Complémentarité des sens et sélectivité de la perception 45
La vision 45
L'équilibration 47
L'audition 47
La proprioception 48
Les illusions sensorielles en fonction des phases de vol 48
Hygiène de vie 48
Les performances intellectuelles : représentation mentale, attention, décision, jugement 49
La représentation mentale 49
L'attention 50
Les raisonnements 51
Gestion de ses propres ressources 51
Prise de décision et jugement 52
VIGILANCE, SOMMEIL, FATIGUE, STRESS 53
La vigilance et le sommeil 53
Le rythme circadien 54
La fatigue 54
Le stress 54
Stress et adaptation 54
Le déclenchement du stress 55
La réaction physiologique de stress 55
Les effets du stress 55
La gestion du stress 56
LA FIABILITÉ HUMAINE ET LES ERREURS HUMAINES 56
La notion d'erreur 56
Les différentes composantes de la notion d'erreur 56
Erreurs de représentation 58
Conclusion 59

DESCRIPTION DE L'AVION 60
LA CELLULE 60
La voilure 60
Caractéristiques 60
Structure 61
Le fuselage 62
Les empennages 64
Le train d'atterrissage 65
Le train tricycle 65
Le train classique 65
Le système de freinage 65
Le système d'amortissement du train d'atterrissage 66
Description du poste de pilotage 66
Le tableau de bord 67
LES COMMANDES DE VOL 69
Description des commandes vol 69
CONTRAINTES SUR LA CELLULE 70
Limite élastique – Rupture 70
Vieillissement – Notions de fatigue des matériaux 71
Efforts subis 71
Au roulage 71
En évolution 71
En descente 72
A l'atterrissage 72

L'ATMOSPHÈRE TYPE 73
Description de l'atmosphère 73
Composition et structure verticale de l'atmosphère 73
Paramètres caractéristiques de l'atmosphère 73
La température 74
La pression 74
La densité 74
Le degré hygrométrique 74
Le modèle de l'atmosphère type 74

Température 75
Pression 75
Exemple d'utilisation de l'atmosphère-type comme référence 75

POURQUOI L'AVION VOLE 76
Modélisation 76
Ecoulement d'air autour d'un objet 76
Force agissant sur un profil :
la résultante aérodynamique 77
Relation vitesse-pression dans un tube de courant 77
Comment créer une force portante ? 78
Conséquences du tourbillon de Prandtl 79
La traînée induite 80
L'effet de sol 82
La turbulence de sillage 82
Facteurs influençant la résultante aérodynamique 82
Relation entre les paramètres 82
Les paramètres subis 83
Les paramètres pilotés 84
Etude de la polaire Décrochage – Finesse 85
Description et intérêt de la polaire 85
Le décrochage 85
La finesse 85

LES GOUVERNES 87
Principe de fonctionnement des gouvernes 87
Comment créer un tel moment ? 87
La gouverne de profondeur 88
le tangage 88
Les ailerons : le roulis 89
La gouverne de direction : le lacet 89

PHASE 2 91

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.1 93
LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES, ANÉMOMÉTRIQUES ET DE DÉPRESSION 93
Le circuit électrique 93
Les producteurs d'électricité 93
Les consommateurs d'électricité 93
Les éléments reliant les producteurs aux consommateurs 93
Le circuit anémométrique – Le circuit de dépression 94
Le circuit anémométrique 94
Le circuit de dépression 94

LES INSTRUMENTS DE BORD 96
L'ANÉMOMÈTRE 96
Pression dynamique et pression totale 96
Principe de fonctionnement de l'anémomètre 96
Système de graduation de l'anémomètre
Vitesse conventionnelle 97
Unités 97
Graduation de l'anémomètre – Vitesse conventionnelle 97
Utilisation des couleurs – Plage des vitesses 98
Contrôle du fonctionnement de l'anémomètre par le pilote 99
L'ALTIMÈTRE – L'ALTIMÉTRIE 99
L'altimètre 99
Principe de fonctionnement 100
Présentation 100
Les calages altimétriques 100
Le calage altimétrique QFE 100
Le calage altimétrique QNH 101
Le calage altimétrique 1 013,25 hPa 102
Variation des pressions 102
Informations pratiques 103
LE VARIOMÈTRE 103
Principe 103
LE COMPAS 104
Description 104
Interprétation 104
GYROSCOPE 105
Principe et fixité dans l'espace 105
Précession du gyroscope 105
L'HORIZON ARTIFICIEL 105
Principe et description 105
Interprétation 106
Vérification et limitation 106
LA BILLE ET L'INDICATEUR DE VIRAGE 107
Principe et description 107
La bille 107
L'aiguille 107
Interprétation 108
La bille 108
L'aiguille 108
LE CONSERVATEUR DE CAP 108
Principe et description 108
Particularité d'utilisation 108
Vérification par le pilote 108

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR 109
Le moteur à pistons Cycle à quatre temps 109
Constituants principaux 109
Le cycle à quatre temps 109
L'hélice 110
L'hélice à calage fixe 111
L'hélice à calage variable 111
Le carburant 111
Circuit carburant 112
La combustion 113
Stockage du carburant dans l'avion 114
Précautions lors de l'avitaillement 115
Allumage 116
Carburation 119
L'injection 123
L'indice d'octane des carburants – Pouvoir antidétonant 123
Refroidissement et lubrification 123
Le refroidissement du moteur 123
La lubrification du moteur 124

LA CONDUITE DU MOTEUR 126
HÉLICE À CALAGE FIXE 126
HÉLICE À CALAGE VARIABLE 127
La commande de puissance 127
La commande de régime 127
Commande de richesse du mélange 128
Utilisation de la commande de richesse 128

LA MISE EN ŒUVRE DE L'AVION 130

LE ROULAGE – L'ARRÊT DU MOTEUR 130
LA VISITE PRÉ-VOL 130
Essence 130
Huile 130
États général 130
L'INSTALLATION À BORD 130
LA MISE EN ROUTE 131

LE ROULAGE 131
Comment diriger l'avion ? 132
Utilisation des ailerons 132
Comment utiliser la gouverne de profondeur ? 132
L'ARRÊT DU MOTEUR ET LA FIN DU VOL 132

• UNITÉ D'INSTRUCTION II.2 134

PILOTAGE DE BASE 134
RELATIONS ASSIETTE-INCIDENCE-PENTE 134
La pente de la trajectoire 134
L'assiette de l'avion 134
Relation liant l'assiette, l'incidence et la pente 136
RELATION INCIDENCE-VITESSE 136
Relation entre incidence et pente 137
ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN VERTICAL 138
Le vol en palier à vitesse constante 138
Contrôle du palier 138
Le vol en montée 138
Contrôle de la montée 138
Le vol en descente 139
Contrôle de la descente 139
Le cas du vol plané moteur réduit ou arrêté 139
Gestion du moteur en descente 140
ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN HORIZONTAL 141
Le virage 141
Relation entre rayon de virage et vitesse 141
Relation entre le rayon de virage et l'inclinaison 141
LE FACTEUR DE CHARGE (NOTÉ n) 141
En ligne droite 143
En virage 143
En évolution 143
Comment connaître les facteurs de charge limites de votre avion 144
Facteur de charge et vitesse de décrochage 145
LES COMPENSATEURS 145
LE DÉCOLLAGE 146
1. L'alignement sur la piste 146
2. La mise en puissance 146
3. La rotation 147
4. La montée 147
Symétrie du vol 147
Performance au décollage 147
LES EFFETS SECONDAIRES DES GOUVERNES 148
Description sommaire des phénomènes 149
Le lacet inverse 149
Le roulis induit 149
Le moment d'amortissement en lacet 149
Le dérapage 149
La stabilité de route (ou effet girouette) 149
L'effet dièdre 149
Nécessité d'un compromis entre « stabilité de route » et « effet dièdre » 149
LES EFFETS MOTEUR 150
Effet sur l'assiette 150
Couple cabreur ou piqueur 150
Moyen de correction 150
Effet sur la symétrie du vol 150
Souffle hélicoïdal 150
Moyens de correction 150

• UNITÉ D'INSTRUCTION II.3 151

L'AÉRODROME 151
La vigie ou le bâtiment technique 151
L'aérodrome contrôlé 151
Procédures en cas de panne radio à l'arrivée 153
L'aérodrome non contrôlé 153
La piste de décollage et d'atterrissage 154
Les aires de trafic, l'aire de mouvement, l'aire de manœuvre et l'aire d'atterrissage 154
Longueurs déclarées utilisables pour les décollages et atterrissages 154
La circulation au sol 155
Prévention des incursions 156
Lutte aviaire Niveau de protection des aérodromes 156
Le circuit d'aérodrome 156
Signaux 156
Signaux pour la circulation d'aérodrome 157
Signaux de circulation au sol 162
Système de Transmission Automatique des Paramètres (STAP) 164
Utilisation des aérodromes en fonction de leur statut 164
Règles particulières pour les vols internationaux 165

LA RADIOTÉLÉPHONIE 166
Le squelch 166
Expression des lettres et des nombres 166
Les lettres de l'alphabet 166
Les nombres 167
Les fréquences 167
Expressions conventionnelles 167
Ordre de priorité des messages 167
Lisibilité des messages 168
Indicatifs d'appel 168
Composition d'un message 169
Langues à utiliser 169
Compétences linguistiques 169

LA CIRCULATION AÉRIENNE 170
Les deux types de circulations aériennes 170
La Circulation Aérienne Générale 170
La Circulation Aérienne Militaire 170
RÈGLES DE L'AIR RÈGLES GÉNÉRALES 170
Les deux types de règles de vol 170
Les responsabilités du commandant de bord 171
Les hauteurs minimales de survol 171
Les règles de prévention des collisions 173

MÉTÉO : LA PRESSION ET LA TEMPÉRATURE 175
La pression atmosphérique 175
Variations verticales 175
Variations horizontales 175
Vent et champ de pression 175
Relation avec le champ de pression 175
Vent de surface et vent du gradient 176
Unité de mesure, direction et observation du vent 177
Variations de la température 178
Accumulation de chaleur dans le sol ou la mer Transmission à l'atmosphère 178
Bilan radiatif – Variations journalières de la température 178
Variations saisonnières de la température 178
Les échanges thermiques 179
La masse volumique de l'air 179

PHASE 3

181

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.1 183

LA NAVIGATION 183

DÉPLACEMENT SUR LA SURFACE DE LA TERRE 183
Modélisation de la Terre : le globe terrestre 183
La sphère terrestre 183
Les limites du modèle sphérique 183
Déplacement sur la sphère terrestre 183
Petits et grands cercles 184
Plus court chemin sur une sphère – Orthodromie 184
Repérage sur la sphère terrestre 184
Parallèles et méridiens 184
Coordonnées géographiques d'un point 185

LES CARTES 186
Propriétés des cartes 186
Conservation des angles 186
Conservation des distances 188
L'échelle 188
Les méthodes de construction des cartes 188
La projection Lambert conforme 189

ORIENTATION À L'AIDE D'UNE CARTE 190
Références d'orientation 190
Le champ magnétique terrestre 190
La déclinaison 191
Influence magnétique de l'avion sur l'indication du compas magnétique 192
Précaution pour l'utilisation du compas magnétique 192
Mesure des distances 192
Unités 192
Méthode de mesure des distances 193
Les cartes aéronautiques utilisées en VFR 193
Les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000 193
Documents complémentaires 195

LA MESURE DU TEMPS 195
Les temps universel, local et légal 195
Le temps universel coordonné U.T.C. 195
Le temps civil local Tcg 195
Le temps légal 196
Coucher et lever du soleil 196

LES PRINCIPES DE NAVIGATION 198
La trajectoire 198
La route 198
La vitesse 199
Unité de vitesse 199
Vitesse conventionnelle et vitesse indiquée 199
Vitesse air 199
Relation vitesse propre Vitesse sol – Influence du vent 200
Influence du vent sur la vitesse et la route 200
Le cap – La dérive 201
Aspects pratiques de l'influence du vent sur le vol 203

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.2 204

DÉCROCHAGE ET HYPERSUSTENTATION 204
Le décrochage 204
Quels sont les indices permettant de détecter l'approche du décrochage ? 204
Comment se manifeste le décrochage ? 205
Quels sont les facteurs influant sur la vitesse de décrochage ? 205
Que faire si vous vous trouvez dans une situation proche du décrochage ? 205
Définition de V_{SO} 205
Les dispositifs d'hypersustentation 205
Le volet d'intrados 205
Le volet de courbure 205

PUISSANCES UTILE ET NÉCESSAIRE – PERFORMANCES 206
Puissance utile 206
Puissance nécessaire 207
Vitesses caractéristiques – Premier et second régimes 207

APPROCHE FINALE ET ATTERRISSAGE 209

L'APPROCHE FINALE 209
La pente d'approche 209
Les limites de la pente 209
Le plan 5 % 209
Caractéristiques de la pente d'approche 210
Par rapport au sol 210
Dans l'avion 211
Corrections sur la pente d'approche finale 212
Vous êtes trop court 212
Vous êtes trop long 213
L'axe d'approche 213
L'approche ininterrompue 213

L'ATTERRISSAGE 214
L'arrondi 214
Conduite de l'arrondi 214
La décélération en vol 215
Difficultés qui peuvent être rencontrées au cours de ces phases 216
La décélération au sol 216
Influence de la vitesse en finale 217
Cisaillement de vent 217
Influence de l'effet de sol à l'atterrissage 218

LIMITATION STRUCTURALE DE L'AVION 218

LE SYSTÈME LUMINEUX D'INDICATEUR DE PENTE PAPI 219
APAPI 219

LE CIRCUIT DE PISTE À BASSE HAUTEUR 221
Description du circuit à basse hauteur 221

LE VOL MOTEUR RÉDUIT 222
Visualisation de l'angle de plané 222
Prise de terrain moteur réduit dans l'axe 222
Prise de terrain moteur réduit en « L » (PTL) 223
Prise de terrain moteur réduit en encadrement (PTE) 223
Prise de terrain moteur réduit en « U » (PTU) 224

NAVIGATION 225

LES OUTILS NÉCESSAIRES 225
La montre 225
Le rapporteur 225
La règle 225
Le journal de bord 225
Le crayon et la gomme 225

LES MÉTHODES DE NAVIGATION 225
Le cheminement 225
L'estime 226
Comment choisir les repères ? 226
Que faire en cas d'égarement ? 226
Comment éviter une zone de mauvaise temps sans risquer de se perdre ? 228

LA RADIONAVIGATION 228
Principes de base 228
Les radials et les QDR 228
Alignement sur un axe 229
Rejoindre une route 230

La radionavigation en route 231
Exemples de radionavigation 231

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.3 234

LE VOR, LE RADIOCOMPAS, LE GONIO 234

LE VOR 234
Principe de fonctionnement 234
Les émetteurs VOR 234
Le récepteur 235
Utilisation du récepteur 235
Alignement sur un axe 236
Comment interpréter l'indicateur VOR ? 238
Interception d'un axe 238
Conduite à tenir en cas de non-réception d'une station VOR 240
Le radiocompas 240
L'émetteur 240
Le récepteur 240
Utilisation pratique du radiocompas 241
Calcul du QDM à partir du gisement 241
Cas du RMI (« Radio Magnetic Indicator ») 242
Limite d'utilisation et précision du radiocompas 243
Le VDF ou gonio 243
Principe du VDF 243
Utilisation pratique du VDF 243
Limite d'utilisation du VDF 243

LES CARTES D'AÉRODROMES 244

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.4 246

L'AVION SON ÉQUILIBRE – SA STABILITÉ 246

RAPPELS DE PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE 246
L'équilibre des forces 246
Centre de gravité 246
L'équilibre des « moments » 246
Application à l'avion 247

ÉQUILIBRE DE L'AVION 248

STABILITÉ ET MANIABILITÉ DE L'AVION 249
Existence d'un point particulier : le foyer 249
Définition du foyer 251
Masse et centrage 251
Référence utilisée pour le centrage 251
Le centre de gravité est en avant du foyer 251
Les limites du centrage et la marge statique 252
Exemple de calcul de masse et centrage 253
1re étape – Bilan des masses embarquées 253
2e étape – Bilan des moments 256
3e étape – Vérification du centrage 257

LE MANUEL DE VOL 258

SON UTILISATION PRATIQUE 258

DESCRIPTION 258

UTILISATION PRATIQUE DU MANUEL DE VOL 258
Performances et limitations au décollage 259
Les paramètres influant sur les performances au décollage 259
La comparaison des performances de l'appareil et des limitations au décollage 260
Exemple de calcul des performances et limitations au décollage 260
Détermination de la distance de décollage 261
Performances et limitations en croisière 263
Performances et limitations à l'atterrissage 264

MÉTÉOROLOGIE 266

L'HUMIDITÉ 266
Processus de saturation d'une masse d'air 266

STABILITÉ - INSTABILITÉ 267
Transformation adiabatique 267
La stabilité 268
L'instabilité 268
La convection 268

LES NUAGES 268
Les nuages élevés 270
Les cirrus (Ci) 270
Les cirro-cumulus (Cc) 270
Les cirro-stratus (Cs) 270
Les nuages de moyenne altitude 271
Les altocumulus (Ac) 271
Les altostratus (As) 271
Les nuages bas 271
Les strato-cumulus (Sc) 271
Les stratus (St) 271
Les cumulus (Cu) 272
Les nuages à grande extension verticale 272
Le nimbo-stratus (Ns) 272
Le Cumulo-nimbus Cb 273

LES MASSES D'AIR 273

PHASE 4 275

• UNITÉ D'INSTRUCTION IV.1 277

CIRCULATION AÉRIENNE 277

LES SERVICES ET ORGANISMES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 277
Le service du contrôle 277
Aspects concrets du service du contrôle 277
Le service d'information de vol 277
Comment peut-on utiliser le service d'information de vol 277
Le service d'alerte 279

DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN 279
Partition de l'espace aérien 279
Partition de l'espace aérien inférieur 279
Les régions d'information de vol (FIR pour « Flight Information Region ») 279

LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE VOL À VUE 284
Conditions météorologiques de vol à vue et limitations de vitesse 286

EXPRESSION DE LA POSITION VERTICALE-HAUTEUR, ALTITUDE, NIVEAU DE VOL 287
Quels niveaux utiliser en VFR ? 287
Dans la circulation d'aérodrome 287
En croisière 287
Règle générale de la semi-circulaire 288
Cas particulier des AWY 289
Changement de calage altimétrique 289
Délivrance de clairances relatives aux niveaux 289
Les classes d'espace aérien 290
Classes d'espace : services rendus et exigences 291

INFORMATION AÉRONAUTIQUE TEMPORAIRE 292
Les avis aux navigateurs aériens (NOTAM) 292
Les SUP AIP 292

LES MONTÉES PARTICULIÈRES ASSOCIÉES AU DÉCOLLAGE 293

LE DÉCOLLAGE ET L'ATTERRISSAGE PAR VENT DE TRAVERS 295

AU DÉCOLLAGE 295

APPROCHE ET ATTERRISSAGE 295
Corrections pendant le dernier virage 295
Le vent vient de l'intérieur du virage 295
Le vent vient de l'extérieur du virage 295
Correction pendant l'approche finale 295
Atterrissage 296

• UNITÉ D'INSTRUCTION IV.2 298

MÉTÉOROLOGIE 298

LES PERTURBATIONS LES FRONTS 298
Naissance et évolution des perturbations 298
Stade 1 298
Stade 2 298
Stade 3 298
Stade 4 299
Les fronts – Les systèmes nuageux associés 300
Le front chaud 300
Le secteur chaud 300
Le front froid 300
La traîne 302
Le front froid secondaire 303
L'occlusion 304
La marge 305
Variabilité de l'activité d'une perturbation 305

PERTURBATIONS TEMPÉTUEUSES SUR L'EUROPE OCCIDENTALE 305

L'INFORMATION MÉTÉOROLOGIQUE 306

L'ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE 306

LE DOSSIER DE VOL 306
L'exposé verbal 306
Le METAR 306
Metar automatique 308
Message SPECI (observation) 309
Tendance de la prévision d'atterrissage (TEND) 309
Le SIGMET (Prévision) 310
Le TAF 310
Origine de certains codes pour vous aider à les mémoriser 312

GÉNÉRALITÉS SUR LES CARTES DU TEMPS SIGNIFICATIF (TEMSI) 313

LES CARTES TEMSI PRODUITES PAR MÉTÉO-FRANCE 313
La carte TEMSI EUROC 313
La carte du temps significatif basses altitudes : TEMSI FRANCE 314
Description des nuages 314
Le genre 314
La nébulosité à l'exception des CB 314
CB seulement 314
Hauteurs 314
[voir références verticales de la carte] 314
Descriptions supplémentaires 314
Abréviations 314
Les cartes de vents et de températures 315
Les cartes produites par Météo-France 315
Conclusion sur le dossier de vol 316

ASSISTANCE MÉTÉOROLOGIQUE AUX VOLS VFR 316
Interrogation d'un prévisionniste 316
Les répondeurs automatiques 316
OLIVIA 316
Minitel 316
Télécopieur 316
Internet 316

LES INFORMATIONS ACCESSIBLES EN VOL 317

• UNITÉ D'INSTRUCTION IV.3 319

MÉTÉOROLOGIE : LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX POUR L'AÉRONAUTIQUE 319

LE GIVRAGE 319
Le verglas 319
Le givre mou 320
La gelée blanche 320
Où y a-t-il un risque de rencontrer du givrage ? 320
Quelles sont les parties de l'avion qui givrent le plus ? 320
Le givrage carburateur 321

LA TURBULENCE 322
La turbulence thermique 322
La turbulence dynamique ou de relief 323

L'ORAGE 323
Manifestations dangereuses liées au cumulo-nimbus 323
Vent, rafales et microrafales 323
Le grain 324
La turbulence 324
La pluie 324
La grêle 324
La foudre 324
Situations météorologiques propices à la présence de cumulo-nimbus 325
Vol en présence de cumulo-nimbus 325

LES PHÉNOMÈNES RÉDUISANT LA VISIBILITÉ 325
Les précipitations 325
La brume (BR) 325
Le brouillard (FG) 327
Le brouillard de rayonnement 327
Le brouillard d'advection 328
Le brouillard de pente 328
La brume sèche 328
Le stratus (St) 328
Quand rencontre-t-on le stratus ? 328
Stratus liés au passage d'un front 329
Vol en présence de stratus 329

PHASE 5 331

UNITÉ D'INSTRUCTION V.1 333

LES SITUATIONS DÉLICATES 333

LE VIRAGE ENGAGÉ 333

LA VRILLE 333
Les dangers 334
Situations caractéristiques 334

Conclusion 334
LES GRANDES INCIDENCES 334
Le virage de prise d'axe pour l'atterrissage avec une très courte finale 334
Le virage au-dessus de la maison des amis 335
Le « passage » sur la maison des amis ou sur un groupe de personnes 335
LA TURBULENCE DE SILLAGE 336
Au décollage 336
A l'atterrissage 339
Attention ! 339

ATTERRISSAGE HORS AÉRODROME 340
INTERRUPTION VOLONTAIRE DU VOL 340
La phase de reconnaissance 340
Les éléments déterminant le choix de l'aire d'atterrissage 340
Le vent 340
Le relief 341
La forme de l'aire d'atterrissage 341
Les obstacles 341
L'état du sol 341
La phase finale 341
ATTERRISSAGE FORCÉ 342
Conduite à tenir 342
Exécution 343
Utilisation de la radio 343
La préparation à l'atterrissage 343
CAS PARTICULIER DE LA PANNE AU DÉCOLLAGE 343
AMERRISSAGE FORCÉ 343
Position 344
Exécution 344

LE COMMANDANT DE BORD 345
Qu'est-ce que la fonction de « commandant de bord » ? 345
L'autorité du commandant de bord 345
Respect des règles de l'air 345
Les obligations relatives à l'emport de documents 346
Redevance d'atterrissage 346
Conditions d'expérience récente pour pouvoir transporter des passagers en VFR 346
L'environnement et les nuisances 346

LE RADAR 347
LE RADAR PRIMAIRE 347
Le principe de fonctionnement 347
Limite d'utilisation du radar primaire 348
LE RADAR SECONDAIRE DE SURVEILLANCE (SSR) 348
PRÉSENTATION D'UN TRANSPONDEUR A+C 349
PRÉSENTATION D'UN TRANSPONDEUR MODE S 349
L'utilisation du transpondeur 350
Obligations d'emport de transpondeur 350

• UNITÉ D'INSTRUCTION V.2 351

ILS – DME – HSI – GPS 351
L'ILS (« INSTRUMENT LANDING SYSTEM ») 351
Principe de fonctionnement 351
Le localizer (LOC) 351
Le glide path (GP) 351
LECTURE DE L'INDICATEUR ILS 352
Les markers 352
Le DME (« Distance Measuring Equipment ») 352
Présentation du DME 353
Limite d'utilisation et précision du DME 353
Cas particulier du DME/ATT 354
LE HSI (« HORIZONTAL SITUATION INDICATOR ») 355
UTILISATION DU GNSS EN VFR EN AVIATION GÉNÉRALE 355
Introduction 355
Le système de navigation par satellites (GNSS) 356
Qualification des récepteurs et certification 357
Utilisation du GNSS en VFR en aviation générale 358
Base de données 358
Renforcements du système 359
Conclusion 359

LE PLAN DE VOL 361
Dans quels cas devez-vous déposer un plan de vol ? 361
Comment remplir un plan de vol ? 361
Quelques exemples de rédaction de plan de vol 363
Cas particulier d'un plan de vol transmis en vol 365
Modalités de dépôt du plan de vol 365
Messages associés au FPL 366
Activation du plan de vol 366
Clôture du plan de vol 366

RÈGLES D'EMPORT DU CARBURANT 367
Le règlement 367
Le bilan carburant 367
Calcul de la consommation d'étape 367
Réserve finale 368
Calcul de la réserve 368
Carburant total à embarquer 368
Quantité minimale en fin de vol 369
Conclusion 369

PRÉPARATION ET GESTION DE LA NAVIGATION EN VOL 370
PRÉPARATION DU VOL 370
Objectifs et organisation 370
La préparation à long terme 370
Choix et étude de la route 370
Le journal de bord 370
Préparation à court terme 370
Le dossier météorologique 370
Le carburant nécessaire 371
Les procédures d'exploitation 371
Le plan de vol 371
NAVIGATION PRATIQUE EN VOL 371
Les principes de gestion de la charge de travail 371
Exemple d'organisation des différentes phases du vol 371
Au départ 371
En croisière 374
A l'arrivée 374

APPLICATION PRATIQUE DU DOSSIER DE VOL 375
Dossier de vol et METAR 375
Coupe XX', METAR 375
Coupe YY', METAR 375
Coupe ZZ', METAR 375
Dossier de vol et TAF 375
Coupe XX', TAF 375
Coupe YY', TAF 375
Coupe ZZ', TAF 376

MÉTÉOROLOGIES LOCALES 377
LA MÉTÉOROLOGIE DE MONTAGNE 377

Action du relief sur le vent 377
L'onde de ressaut 377
L'action du soleil : les brises de pente et de vallée 378
Les stratus et le relief 379
Les orages 380
La turbulence 381
L'effet de fœhn 381

LA MÉTÉOROLOGIE CÔTIÈRE 381
Brises de mer et de terre 381
La brise de mer 381
La brise de terre 382
Les brouillards côtiers 382

• UNITÉ D'INSTRUCTION V.3 384

LES CAS PARTICULIERS DU VFR 384
LE « VFR SPÉCIAL » 384
LE VFR « ON TOP » 384
LE VOL EN RÉGION MONTAGNEUSE 385
Connaissance de la situation météo 385
Préparation du trajet 385
Importance du choix du trajet 385
Importance du choix des repères 386
Utilisation de la carte 386
Le cheminement en région montagneuse 386
Passage de col 386
Franchissement de ligne de crête 386
Vol face à un relief plus haut 386
Faux plat 387
Vol en vallée étroite et demi-tour 387
Demi-tour avec du vent 388
Demi-tour avec le soleil bas sur l'horizon 388
Le vol en région montagneuse élevée 388
LE SURVOL DE L'EAU EN VFR 389
Equipements spéciaux de survie 389
LE SURVOL DES RÉGIONS TERRESTRES DÉSIGNÉES 392
LE VOL À HAUTE ALTITUDE 392
LE TRANSPORT DE PASSAGERS 392

INFRACTIONS ET INCIDENTS AÉRONAUTIQUES 393
INFRACTIONS AUX RÈGLES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 393
Qu'entend-t-on par « infraction » ? 393
La constatation des infractions 393
La procédure de compte rendu d'infraction 393
La commission régionale de discipline 393
Les sanctions 393

ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DU TRAFIC AÉRIEN 394
Événements concernés 394
Notification des événements par un pilote civil 394
Suivi des notifications 394
Commission de sécurité de la circulation aérienne (CSCA) 394
Commission mixte de sécurité de la gestion du trafic aérien (CMSA) 394
ÉVÉNEMENTS ET INCIDENTS DE L'AVIATION CIVILE 395
Quels incidents notifier ? 395
Comment notifier un incident ? 395

LES SERVICES D'ALERTE 396
LES PHASES D'URGENCE 396
LES MESSAGES D'URGENCE ET DE DÉTRESSE 396
L'urgence 396
La détresse 397
LA BALISE DE DÉTRESSE 397

INTERCEPTION 398

LE VOL AUX INSTRUMENTS 399
Sensibilisation aux trajectoires IFR 399
Précautions à prendre 400
Sur un aérodrome doté d'un organisme ATS 400
Sur un aérodrome non doté d'un organisme ATS 401
Trajectoires utilisées en IFR 401
Phraséologie particulière pour les IFR 402

LE PILOTAGE SANS RÉFÉRENCE VISUELLE EXTÉRIEURE 403
Technique du pilotage au vol aux instruments : le circuit visuel 403
Le vol rectiligne en palier 404
Le vol rectiligne en montée 404
Le vol rectiligne en descente 404
Le virage en palier 404
Prévention des collisions avec le sol (CFIT : Controlled Flight Into Terrain) 405
Conduite à tenir en cas de perte des références extérieures 405

VOL DE NUIT 407

LE VFR DE NUIT 409
ASPECTS RÉGLEMENTAIRES DU VFR DE NUIT 409
Autres aspect règlementaires 410
L'ÉQUIPEMENT DE L'AVION 410
LA MÉTÉOROLOGIE NOCTURNE 412
Les stratus et les brouillards 412
Les orages 412
La turbulence 412
La modification des conditions météorologiques en route 412
La visibilité et la Lune 413
LE PILOTAGE DE NUIT 413
La vision de nuit 413
LA PRATIQUE DU VOL DE NUIT 414
Le balisage des obstacles 414
Les obstacles fixes 414
Les obstacles mobiles 414
Le balisage lumineux des aérodromes 414
Le balisage des pistes 414
Le balisage des voies de circulation et des aires de trafic 415
Les aides lumineuses à l'approche 415
Mise en œuvre du balisage 415
Procédure d'exploitation des aérodromes 416
La mise en œuvre de l'avion 416
Le départ et l'arrivée 417
La navigation de nuit 417
Les procédures d'urgence 418

INDEX 421

LE BREVET ET LA LICENCE DE BASE DE PILOTE D'AVION

Conditions de délivrance

Pour obtenir le brevet et la licence de base de pilote d'avion, le candidat doit, outre les conditions d'aptitude physique exigées, remplir les conditions suivantes :

- Être âgé de 15 ans révolus ;
- Avoir suivi une instruction au sol et une instruction en double commande dont le programme est défini par arrêté. L'instruction en double commande s'étend sur, au moins, 6 heures de vol ; pour les titulaires d'une licence de pilote de planeur ou de pilote privé d'hélicoptère, l'instruction en double commande peut être limitée à 3 heures de vol ;
- Avoir effectué, comme pilote seul à bord, au moins 20 atterrissages et 4 heures de vol sur avion ou planeur à dispositif d'envol incorporé ;
- Satisfaire à une épreuve théorique et à une épreuve en vol.

Déroulement de l'épreuve théorique

L'épreuve théorique au sol se présente sous forme de questionnaire à choix multiple (QCM). Ce questionnaire comporte en principe 60 questions et vous devez répondre correctement à au moins 75% des questions pour réussir cette épreuve ; l'épreuve est organisée normalement au siège des Directeurs de l'aviation civile ou de leurs délégués territoriaux.

En cas de réussite, il vous est délivré un certificat d'aptitude dont la validité est de 2 ans.

Déroulement de l'épreuve pratique en vol

Vous devez être titulaire d'un certificat d'aptitude théorique en état de validité pour vous présenter à l'épreuve pratique. Le contrôle de l'épreuve en vol est assuré par votre instructeur (sauf dans le cas d'un instructeur à privilèges restreints (c'est le cas d'un instructeur venant d'obtenir sa qualification) ou tout autre examinateur désigné par l'administration.

L'épreuve en vol est précédée d'une interrogation orale dont le but est de vérifier que vous avez les connaissances opérationnelles suffisantes pour mettre en œuvre l'avion que vous allez utiliser ; en vol, les points suivants seront vérifiés :

- les actions avant vol ;
- les décollages et atterrissage normaux et (ou) par vent de travers ;
- les décollages et atterrissage sur terrain court ;
- le vol aux limites d'utilisation (vol lent notamment) ;
- le décrochage (avec sortie rapide des fortes incidences par application de la puissance et du contrôle de l'assiette.

En cas de succès à ces épreuves, il vous est délivré un brevet de base, titre acquis à vie, ainsi qu'une licence de base dont la validité est limitée dans le temps ; les conditions de renouvellement de votre licence de base sont détaillées ci-après.

Durée de validité et renouvellement de la licence

La licence de base de pilote d'avion est valable jusqu'au dernier jour du 24e mois qui suit la date de délivrance ou de renouvellement à un pilote âgé de moins de 40 ans et du 12e mois pour les autres.

Elle est renouvelée si son titulaire a effectué 10 heures de vol comme commandant de bord d'avion ou de planeur à dispositif d'envol incorporé dans les 12 mois qui précèdent sa demande.

S'il ne remplit pas cette condition, sa licence est renouvelée s'il satisfait à un contrôle pratique d'un instructeur habilité.

Privilèges de la licence

La licence de base de pilote d'avion permet à son titulaire de piloter seul à bord de jour sans rémunération un avion ou un planeur à dispositif d'envol incorporé du modèle tel que celui sur lequel il l'a obtenue et qui est exploité sans rémunération. Toutefois il ne peut voler qu'en dehors des espaces contrôlés ou réglementés, dans un rayon de 30 kilomètres de son aérodrome de départ.

Il peut obtenir des autorisations additionnelles d'un instructeur habilité. Celui-ci les mentionne sur le carnet de vol en précisant leur caractère temporaire ou permanent.

Elles concernent :

- l'utilisation d'autres modèles d'avion ou de planeur à dispositif d'envol incorporé ;
- le vol V.F.R. en vue du sol ou de l'eau, hors des espaces contrôles ou réglementés, et l'atterrissage sur un autre aérodrome que celui qui a été utilisé pour le décollage ;

- l'accès à des aérodromes spécifiés dont l'espace aérien associé est contrôlé, réglementé ou contrôlé et réglementé ;
- le vol à vue de nuit, en vol local ;
- la pratique de la voltige ;
- le remorquage de planeurs ;
- le largage de parachutistes,
- l'emport de passagers ;

Remarque : l'acquisition de ces autorisations additionnelles nécessite bien entendu des connaissances et un entraînement complémentaires et, selon le cas, il peut être préférable de viser directement l'obtention du PPL(A).

Programme de formation

Instruction au sol

L'instruction au sol porte sur les points suivants :

- l'avion et son équipement (cellule, moteur, équipement) ;
- le technique du vol (aérodynamique, les forces, les gouvernes et commandes, stabilité) ;
- l'utilisation de l'avion (utilisation, performances, utilisation du moteur) ;
- la navigation (orientation, cartes, moyens de navigation, informations aéronautiques) ;
- la réglementation (du personnel navigant, du matériel volant, de la circulation aérienne ;
- la météorologie (atmosphère, vent, nuages, phénomènes dangereux, l'assistance météo) ;
- les procédures de secours.

Instruction en vol

L'instruction pratique en vol porte sur les points suivants :

- connaissance du manuel de vol de l'avion ;
- action et vérifications avant vol ;
- les manœuvres de base ;
- décollage et atterrissage ;
- navigation (préparation du vol et conduite du vol sur des trajets limités) ;
- vol aux limites du domaine de vol ;
- procédures de secours.

Tous ces points relatifs à l'instruction au sol et en vol sont aussi au programme de formation du PPL(A). Pour vous préparer, reportez-vous au PARCOURS DE RÉVISION en page 15 du présent manuel. Notez toutefois que le certificat d'aptitude théorique prévu pour le PPL (A) vous permet de passer l'épreuve pratique en vol du BB ; par conséquent, si votre objectif final est au moins la licence du PPL(A), autant se préparer directement à l'épreuve théorique prévue pour cette licence.

Déroulement de l'examen théorique PPL (A)

Généralités sur le déroulement de l'épreuve

Il est constitué d'au moins 120 questions à choix multiples (QCM), réparties en 5 épreuves écrites bien que l'Arrêté du 29 mars 1999 modifié relatif aux licences et qualifications de membres d'équipage de conduite des aéronefs (FCL1 – Sous partie C) prévoit 9 matières ; c'est pourquoi deux des épreuves regroupent plusieurs matières.

Épreuve	Matières	Nbre de QCM	Durée
A	Réglementation	24	0H30
B	Connaissances générales de l'aéronef Principes du vol	24	0H45
C	Performances et préparation du vol Navigation Météorologie Procédures opérationnelles	44	1H15
D	Performances humaines et ses limites	12	0H20
E	Communications	16	0H20

Conditions de réussite

Chaque QCM vaut un point. Pour être reçu à l'examen, il faut obtenir au moins 75 % des points dans chaque épreuve. Vous n'êtes pas obligé de vous présenter à toutes les épreuves ni de les réussir en totalité le même jour. Toutefois toutes doivent avoir été réussies dans une période de 18 mois. La validité de l'examen théorique est de 24 mois et représente la durée maximale entre la dernière épreuve réussie et la délivrance de la licence.

Le Manuel du pilote avion est présenté de façon a donner les connaissances nécessaires au fur et mesure de votre progression ; il peut toutefois être nécessaire de voir plus particulièrement le contenu de l'une ou l'autre des épreuves (présentation partielle ou passage à une épreuve après un premier échec). Le découpage, par épreuve, présenté ci-dessous est destiné à vous guider lors de votre préparation.

Parcours de révision PPL (A)

Épreuve A

Réglementation

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE 27
LA RÉGLEMENTATION DU PILOTE PRIVÉ 38
L'AÉRODROME 151
LA CIRCULATION AÉRIENNE 170
RÈGLES DE L'AIR – RÈGLES GÉNÉRALES 170
CIRCULATION AÉRIENNE 277
LES SERVICES ET ORGANISMES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 277
DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN 279
LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE VOL 284
EXPRESSION DE LA POSITION VERTICALE HAUTEUR, ALTITUDE, NIVEAU DE VOL 287
LE COMMANDANT DE BORD 345
LE PLAN DE VOL 361
RÈGLES D'EMPORT DU CARBURANT 367
LES CAS PARTICULIERS DU VFR 384
LE « VFR SPÉCIAL » 384
LE VFR « ON TOP » 384
LE SURVOL DE L'EAU EN VFR 389
LE SURVOL DES RÉGIONS TERRESTRES DÉSIGNÉES 392
LE VOL À HAUTE ALTITUDE 392
LE TRANSPORT DE PASSAGERS 392
INFRACTIONS ET INCIDENTS AÉRONAUTIQUES 393
INFRACTIONS AUX RÈGLES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 393
ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DU TRAFIC AÉRIEN 394
LES SERVICES D'ALERTE 396
LES PHASES D'URGENCE 396
LES MESSAGES D'URGENCE ET DE DÉTRESSE 396
LA BALISE DE DÉTRESSE 397
INTERCEPTION 398
LA PRÉVENTION DES COLLISIONS 405
VOL DE NUIT 407
LE VFR DE NUIT 409
ASPECTS RÉGLEMENTAIRES DU VFR DE NUIT 409
L'ÉQUIPEMENT DE L'AVION 410
LA PRATIQUE DU VOL DE NUIT 414

Épreuve B

Connaissances générales de l'aéronef

DESCRIPTION DE L'AVION 60
LA CELLULE 60
LES COMMANDES DE VOL 69
CONTRAINTES SUR LA CELLULE 70
LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES, ANÉMOMÉTRIQUES ET DE DÉPRESSION 93
LES INSTRUMENTS DE BORD 96
L'ALTIMÈTRE – L'ALTIMÉTRIE 99
LE VARIOMÈTRE 103
LE COMPAS 104
GYROSCOPE 105

L'HORIZON ARTIFICIEL 105
LA BILLE ET L'INDICATEUR DE VIRAGE 107
LE CONSERVATEUR DE CAP 108
LE GROUPE MOTOPROPULSEUR 109
LA CONDUITE DU MOTEUR 126

Principes du vol

L'ATMOSPHÈRE TYPE 73
POURQUOI L'AVION VOLE 76
LES GOUVERNES 87
PILOTAGE DE BASE 134
RELATIONS ASSIETTE-INCIDENCE-PENTE 134
RELATION INCIDENCE-VITESSE 136
ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN VERTICAL 138
ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN HORIZONTAL 141
LE FACTEUR DE CHARGE (NOTE N) 141
LES COMPENSATEURS 145
LE DÉCOLLAGE 146
DÉCROCHAGE ET HYPERSUSTENTATION 204
PUISSANCES ET PERFORMANCES 206
APPROCHE FINALE ET ATTERRISSAGE 209
L'APPROCHE FINALE 209
L'ATTERRISSAGE 214
LE SYSTÈME LUMINEUX D'INDICATEUR DE PENTE PAPI 219
L'AVION – SON ÉQUILIBRE – SA STABILITÉ 246
RAPPELS DE PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE 246
ÉQUILIBRE DE L'AVION 248
STABILITÉ ET MANIABILITÉ DE L'AVION 249
LES SITUATIONS DÉLICATES 333
LE VIRAGE ENGAGÉ 333
LA VRILLE 333
LES GRANDES INCIDENCES 334
LA TURBULENCE DE SILLAGE 336

Épreuve C

Performances et préparation du vol

STABILITÉ ET MANIABILITÉ DE L'AVION 249
LES NOTAM 292
LE PLAN DE VOL 361
RÈGLES D'EMPORT DU CARBURANT 367
PRÉPARATION ET GESTION DE LA NAVIGATION EN VOL 370
PRÉPARATION DU VOL 370

Navigation

LA NAVIGATION 183
DÉPLACEMENT SUR LA SURFACE DE LA TERRE 183
LES CARTES 186
ORIENTATION À L'AIDE D'UNE CARTE 190
LA MESURE DU TEMPS 195
LES PRINCIPES DE NAVIGATION 198
LES OUTILS NÉCESSAIRES 225
LES MÉTHODES DE NAVIGATION 225
LA RADIONAVIGATION 228
LE VOR, LE RADIOCOMPAS, LE GONIO 234
LE VOR 234
LE RADAR 347
LE RADAR PRIMAIRE 347
LE RADAR SECONDAIRE DE SURVEILLANCE (SSR) 348
ILS – DME – HSI – GPS 351

Météorologie

L'ATMOSPHÈRE TYPE 73
MÉTÉO : LA PRESSION ET LA TEMPÉRATURE 175
L'HUMIDITÉ 266
STABILITÉ – INSTABILITÉ 267
LES NUAGES 268
LES MASSES D'AIR 273
LES PERTURBATIONS – LES FRONTS 298
PERTURBATIONS TEMPÉTUEUSES SUR L'EUROPE OCCIDENTALE 305
L'INFORMATION MÉTÉOROLOGIQUE 306
L'ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE 306
LE DOSSIER DE VOL 306
ASSISTANCE MÉTÉOROLOGIQUE AUX VOLS VFR 316
LES INFORMATIONS ACCESSIBLES EN VOL 317
MÉTÉOROLOGIE : LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX POUR L'AÉRONAUTIQUE 319
LE GIVRAGE 319
LA TURBULENCE 322
L'ORAGE 323
LES PHÉNOMÈNES RÉDUISANT LA VISIBILITÉ 325
APPLICATION PRATIQUE DU DOSSIER DE VOL 375
MÉTÉOROLOGIES LOCALES 377
LA MÉTÉOROLOGIE DE MONTAGNE 377
LA MÉTÉOROLOGIE CÔTIÈRE 381
LA MÉTÉOROLOGIE NOCTURNE 412

Procédures opérationnelles

LA MISE EN ŒUVRE DE L'AVION – LE ROULAGE – L'ARRÊT DU MOTEUR 130
LA VISITE PRÉ-VOL 130
L'INSTALLATION À BORD 130
LA MISE EN ROUTE 131
LE ROULAGE 131
L'ARRÊT DU MOTEUR ET LA FIN DU VOL 132
PUISSANCES ET PERFORMANCES 206
LE MANUEL DE VOL : SON UTILISATION PRATIQUE 258
EXPRESSION DE LA POSITION VERTICALE HAUTEUR, ALTITUDE, NIVEAU DE VOL 287
LES MONTÉES PARTICULIÈRES ASSOCIÉES AU DÉCOLLAGE 293
LE DÉCOLLAGE ET L'ATTERRISSAGE PAR VENT DE TRAVERS 295
AU DÉCOLLAGE 295
APPROCHE ET ATTERRISSAGE 295
LA TURBULENCE DE SILLAGE 336
ATTERRISSAGE HORS AÉRODROME 340
INTERRUPTION VOLONTAIRE DU VOL 340
ATTERRISSAGE FORCÉ 342
AMERRISSAGE FORCÉ 343
LE COMMANDANT DE BORD 345
RÈGLES D'EMPORT DU CARBURANT 367
NAVIGATION PRATIQUE EN VOL 361
LES CAS PARTICULIERS DU VFR 384
LE « VFR SPÉCIAL » 384
LE VFR « ON TOP » 384
LE VOL EN RÉGION MONTAGNEUSE 385
LE SURVOL DE L'EAU EN VFR 389
LE SURVOL DES RÉGIONS TERRESTRES DÉSIGNÉES 392
LE VOL À HAUTE ALTITUDE 392
LE TRANSPORT DE PASSAGERS 392
INFRACTIONS ET INCIDENTS AÉRONAUTIQUES 393
INFRACTIONS AUX RÈGLES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 393
ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DU TRAFIC AÉRIEN 394
LES SERVICES D'ALERTE 396
LES PHASES D'URGENCE 396
LES MESSAGES D'URGENCE ET DE DÉTRESSE 396
LA BALISE DE DÉTRESSE 397
INTERCEPTION 398
LA PRÉVENTION DES COLLISIONS 405
LE PILOTAGE DE NUIT 413
LA PRATIQUE DU VOL DE NUIT 414

Épreuve D

Performance humaine et ses limites

FACTEURS HUMAINS 43
LES FACTEURS HUMAINS ET LA SÉCURITÉ DU VOL 43
NOTIONS DE BASE DE PHYSIOLOGIE AÉRONAUTIQUE 43
VIGILANCE, SOMMEIL, FATIGUE, STRESS 53
LA FIABILITÉ HUMAINE ET LES ERREURS HUMAINES 56
LE PILOTAGE DE NUIT 413

Épreuve E

Communication

LA RADIOTÉLÉPHONIE 166
EXPRESSION DE LA POSITION VERTICALE HAUTEUR, ALTITUDE, NIVEAU DE VOL 287
LA PRÉVENTION DES COLLISIONS 405

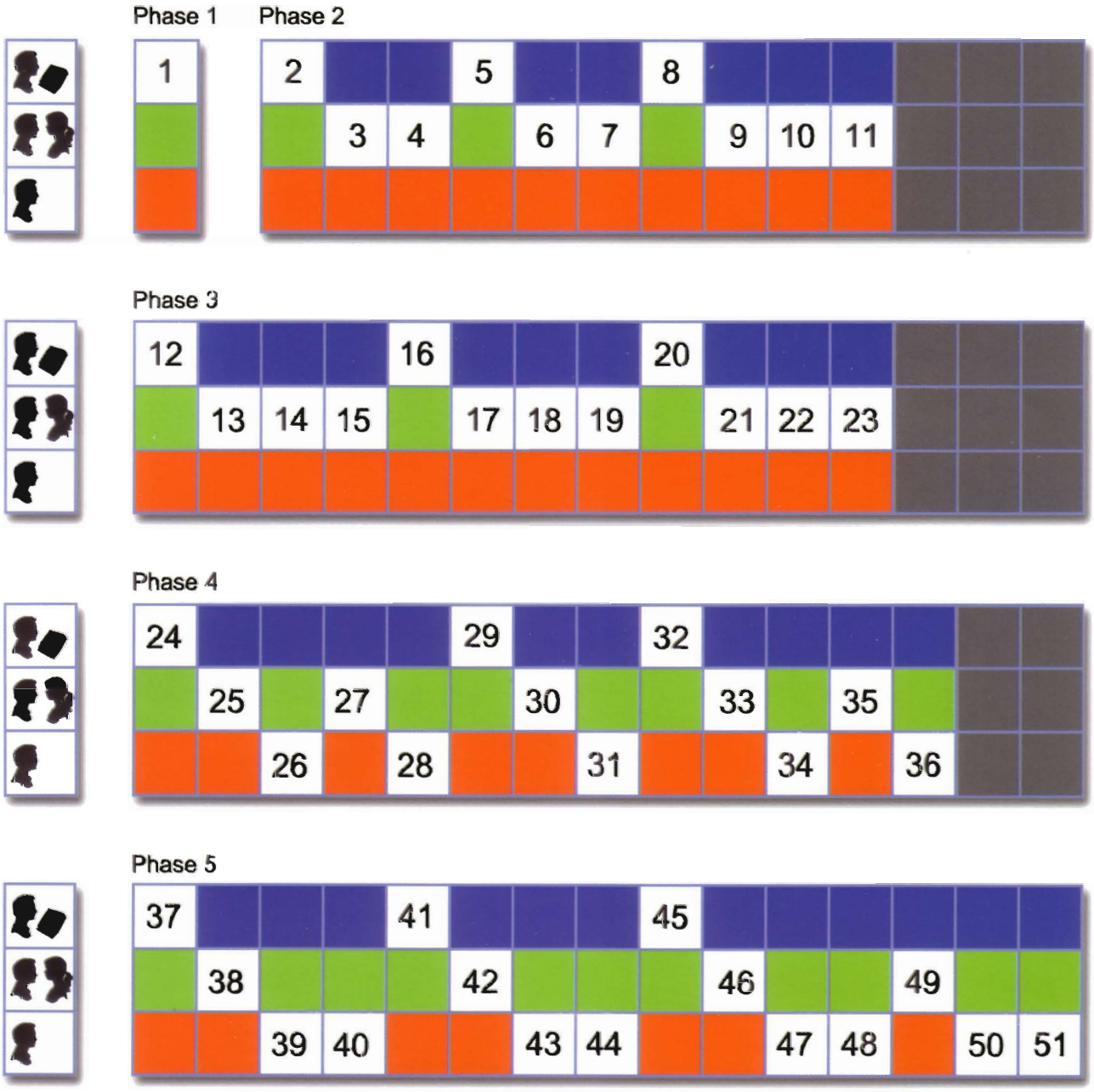
PILOTE PRIVÉ AVION

Progression type

Ce tableau présente l'organisation d'une PROGRESSION TYPE, elle-même divisée en phases et en leçons. Chaque phase et chaque leçon sont des ensembles cohérents, au sein desquels une leçon peut nécessiter plusieurs reprises.

Cette PROGRESSION TYPE est une aide pour positionner un apprentissage, donc le vôtre : ce qui est fait et ce qu'il reste à faire. Elle permet également une auto-évaluation de votre performance que vous devrez comparer avec l'évaluation de cette même performance par votre instructeur. Cette démarche, très riche, entretiendra votre motivation et vous apportera la satisfaction de suivre vos progrès.

BONNES CONNAISSANCES !
BONS VOLS !



PROGRESSION TYPE PPL(A)

Pour suivre votre apprentissage du vol, voici la liste des repères dans votre progression vers l'objectif, lequel est de réaliser un vol avec les connaissances minimales de l'utilisation de l'avion, des évolutions dans l'espace aérien en prenant en compte les autres utilisateurs de cet espace et enfin, une connaissance de vous-même. Cet objectif premier est évalué à la fin de votre formation par l'examen écrit et en vol dont la description est l'objet d'un guide à votre attention édité par la Direction Générale de l'Aviation Civile.

Lexique :

- (un point) est un ensemble de connaissances ;
- ○ (un rond) est un sous-objectif de ce que vous devez savoir et savoir faire dans différentes situations prévues et imprévues ;
- ➢ (une flèche) est une tâche support qui conduit à l'objectif. Répétée plusieurs fois, elle vous apportera l'habileté suffisante.

PHASE 1

L'objectif de cette phase est de faciliter votre intégration dans le milieu aéronautique et de vous permettre d'acquérir les connaissances nécessaires à votre premier vol.

Leçon 1

- Le cadre réglementaire
- La réglementation du pilote privé PPL(A)
- Facteurs humains
- Description de l'avion
  - la cellule
  - les commandes de vol
  - contraintes sur la cellule
- L'atmosphère type
- Pourquoi l'avion vole
- Les gouvernes

Si la réponse à certaines de vos questions ne vous paraît pas évidente, n'hésitez pas à demander à votre instructeur un complément d'information.

Abordez ensuite l'étude de la phase II.

PHASE 2

Cette phase est une découverte progressive de l'environnement aéronautique et une approche globale des problèmes posés par le pilotage d'un avion.

Elle est divisée en trois Unités d'Instruction. A chaque Unité d'Instruction est associée une progression en vol qui n'est donnée qu'à titre indicatif. Votre instructeur sera fréquemment amené à adapter cette progression aux conditions du jour et à votre rythme d'apprentissage.

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.1

Leçon 2

- Les circuits électriques, anémométriques et de dépression
- Les instruments de bord
- Le groupe motopropulseur
- La conduite du moteur

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.2

Leçon 3

- Pilotage de base
  - relations Assiette-Incidence-Pente
  - relation Incidence-Vitesse
  - étude des trajectoires dans le plan vertical
  - étude des trajectoires dans le plan horizontal
  - le facteur de charge (noté «n»)
  - les compensateurs
  - le décollage
- Les effets secondaires des gouvernes
- Les effets moteurs

VOL N°1

Leçon 4

- ➢ Mise en œuvre
- ➢ Radio/Sol
- ➢ Roulage
- ➢ Vol d'accoutumance
- ➢ Découverte de l'environnement
- ➢ Les axes de tangage, roulis et lacet

VOL N°2

Leçon 5

- ➢ Mise en œuvre
- ➢ Radio/Sol

➢ Découverte de l'environnement
➢ Roulage
➢ Assiette, inclinaison
Ligne droite à différentes assiettes
➢ Changement de direction
à différentes assiettes

Remarque

La répétition de certaines rubriques est volontaire. Elle est nécessaire à une bonne assimilation.

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.3

Leçon 6

- L'aérodrome
- La radio
- La circulation aérienne
- Météo : la pression et la température

VOL N°3

Leçon 7

❍ Mise en œuvre
❍ Radio/sol
➢ Découverte de l'environnement
➢ Roulage
❍ Ligne droite aux assiettes de palier, montée, descente
➢ Utilisation du moteur et compensateur

VOL N°4

Leçon 8

❍ Mise en œuvre
❍ Roulage
➢ Décollage
➢ Réglage du compensateur
➢ Utilisation du réchauffage carburateur
➢ Relation Assiette-vitesse
et Assiette-trajectoire
➢ Les effets secondaires des gouvernes
➢ Les effets moteur

VOL N°5

Leçon 9

❍ Décollage
❍ Ligne droite et changements de direction à différentes assiettes
❍ Réglage du compensateur
❍ Utilisation du réchauffage carburateur
➢ Relation puissance-vitesse-incidence

VOL N°6

Leçon 10

❍ Radio/sol
❍ Décollage
➢ Vol en palier, montée, descente avec des paramètres précis
➢ Contrôle du cap

VOL N°7

Leçon 11

- Vol de révision

PHASE 3

Vous maîtrisez maintenant le pilotage de base.

Vous allez explorer le domaine d'utilisation de votre avion et de l'espace aérien en vous déplaçant, tout au long de cette phase, sur des aérodromes extérieurs de faible et moyenne intensité de trafic.

Vous allez perfectionner votre pilotage et étudier plus particulièrement l'approche.

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.1

Leçon 12

- La navigation
  - déplacement sur la surface de la terre
  - les cartes
  - orientation à l'aide d'une carte
  - la mesure du temps
  - les principes de navigation

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.1

Leçon 13

- Décrochage et hypersustentation
- Puissances utile et nécessaire – Performances
- Approche finale et atterrissage
- Le système lumineux d'indicateur de pente PAPI
- Vol moteur réduit
- Navigation
  - les outils nécessaires
  - les méthodes de navigation
  - la radionavigation

VOL N°8

Leçon 14

❍ Décollage
➢ Radio Air/sol
➢ Virage en montée, palier, descente à paramètres précis
❍ Contrôle de cap

VOL N°9

Leçon 15

➢ Virage montée, palier, descente à paramètres précis
➢ Relations dans le virage
➢ Vent et trajectoire sol

VOL N°10

Leçon 16

➢ Vol lent à différentes configurations
➢ Approche à 1.3 Vs et plan à 5 %

➢ Atterrissage
➢ Circuit d'aérodrome

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.2

Leçon 17

- Le VOR, le radiocompas, le gonio
- Les cartes d'aérodrome

VOL N°11

Leçon 18

➢ Vol lent à différentes configurations
➢ Décrochage et approche du décrochage
➢ Approche à 1.3 Vs et plan à 5 %
➢ Atterrissage
➢ Pannes en phase de décollage
➢ Circuit d'aérodrome à basse hauteur

VOL N°12

Leçon 19

❍ Radio Air/sol
➢ Atterrissage
❍ Circuit d'aérodrome
➢ L'estime, le cheminement
➢ Panne en phase de décollage
➢ Le circuit basse hauteur

VOL N°13

Leçon 20

❍ Atterrissage
➢ Le VOR , le radiocompas, le gonio
❍ L'estime, le cheminement
➢ Circuit d'aérodrome contrôlé à faible densité de trafic
❍ Panne en phase de décollage
❍ Le circuit basse hauteur

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.3

Leçon 21

- L'avion – son équilibre – sa stabilité
- Le manuel de vol son utilisation pratique
  - description
  - utilisation pratique du manuel de vol
- Météorologie
  - l'humidité
  - stabilité-instabilité
  - les nuages
  - les masses d'air

VOL N°14

Leçon 22

➢ Virage à grande inclinaison et virage engagé
❍ Décrochage et approche du décrochage
➢ Vol moteur réduit

VOL N°15

Leçon 23

❍ Radio Air/sol
➢ Etude des pannes (volets, anémomètre)
❍ Utilisation de la mixture
➢ Procédure de secours et d'urgence
❍ Vol moteur réduit

VOL N°16

Leçon 24

➢ La vrille
❍ Virage à grande inclinaison et virage engagé

PHASE 4

Au cours de cette phase, vous étudierez le domaine de vol et l'approche sur des aérodromes à haute densité de trafic. Vous allez également effectuer vos premiers vols en solo.

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.1

Leçon 25

- Circulation aérienne
  - les services et organismes de la circulation aérienne
  - division de l'espace aérien
  - les conditions météorologiques de vol
  - expression de la position verticale hauteur – altitude -- niveaux de vol
- Les NOTAM
- Les montées particulières associées au décollage
- Le décollage et l'atterrissage par vent de travers

VOL N°17

Leçon 26

➢ Application voyage
➢ Circuit d'aérodrome contrôlé à forte densité de trafic
➢ Différents types d'arrivées
➢ Utilisation du GPS
➢ Le dégagement
➢ Altimétrie

VOL SOLO N° 1

Leçon 27

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 17

VOL N°18

Leçon 28

➢ Application voyage
➢ Décollage

➢ Atterrissage
❍ Circuit d'aérodrome contrôlé à forte densité de trafic
➢ Différents types d'arrivées
➢ Le dégagement
➢ Altimétrie

VOL SOLO N° 2

Leçon 29

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 18

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.2

Leçon 30

- Météorologie
  - les perturbations - les fronts
  - perturbation tempétueuse sur l'Europe occidentale
- L'information météorologique
  - l'organisation météorologique
  - le dossier de vol
  - protection téléphonique par un service de prévision
  - les informations accessibles en vol

VOL N°19

Leçon 31

❍ Application Voyage avec utilisation des moyens de radionavigation
➢ Différents types d'arrivées
➢ Le décollage et montées adaptés
➢ Arrivée à basse hauteur
➢ Procédure en cas d'égarement
➢ Altimétrie

VOL SOLO N° 3

Leçon 32

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 19

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.3

Leçon 33

- Météorologie : les phénomènes dangereux pour l'aéronautique
  - le givrage
  - la turbulence
  - l'orage
  - les phénomènes réduisant la visibilité

VOL N°20

Leçon 34

❍ Le dégagement
❍ Le décollage et montées adaptés
❍ Approche et atterrissage adaptés
➢ Interruption volontaire du vol
➢ Atterrissage forcé en campagne suite à une panne moteur
❍ Navigation à basse hauteur
❍ Arrivée à basse hauteur
❍ Procédure en cas d'égarement
❍ Altimétrie

VOL SOLO N° 4

Leçon 35

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 20

VOL N°21

Leçon 36

- Vol de révision

VOL SOLO N° 5

Leçon 37

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 21

Avant d'aborder la phase V :

1. – Assurez-vous avec votre instructeur que vous avez bien assimilé les connaissances acquises en phase IV.
2. – Assurez-vous auprès de votre instructeur que vos performances en pilotage permettent de poursuivre.

PHASE 5

Au cours de cette phase, vous allez essentiellement mettre en application les connaissances acquises.
Les déplacements à longue distance qui sont prévus dans cette phase vous permettront d'élargir votre cadre de vol habituel.

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.1

Leçon 38

- Les situations délicates
- Atterrissage hors aérodrome
- Le commandant de bord
- Le radar
  - le radar primaire
  - le radar secondaire de surveillance (SSR)

VOL N°22

Leçon 39

❍ Application Voyage et radionavigation
❍ Approche et atterrissage adaptés
❍ Atterrissage forcé en campagne suite à une panne moteur
➢ Perte de références extérieures
➢ Guidage radar

VOL SOLO N° 6

Leçon 40

- Navigation
- Bilan carburant
- Devis de poids et centrage
- Protection météorologique
- Dépôt d'un plan de vol
- Utilisation du transpondeur
- Calcul des performances de décollage et atterrissage
- Arrivée sur un aérodrome contrôlé

VOL SOLO N° 7

Leçon 41

- Entraînement pilotage
- Décollage court
- Evolution moteur réduit
- Approche avec remise de gaz

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.2

Leçon 42

- ILS – DME – HSI – GPS
- Le plan de vol
- Règles d'emport du carburant
- Préparation et gestion de la navigation en vol
- Application pratique du dossier de vol
- Météorologies locales
  - météorologie de montagne
  - météorologie côtière

VOL N°23

Leçon 43

- ❍ Application voyage avec utilisation de tous les moyens de radionavigation installées à bord
- ❍ Guidage radar
- ❍ Interruption volontaire du vol et atterrissage forcé en campagne
- ➢ VFR on top
- ❍ Virage serré en descente en vol plané
- ➢ VFR spécial
- ➢ Perte de références extérieures
- ➢ Vol en montagne
- ➢ Survol maritime

VOL SOLO N° 8

Leçon 44

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 23

VOL SOLO N° 9

Leçon 45

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 23

• UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.3

Leçon 46

- Les cas particuliers du VFR
- Infractions et incidents aéronautiques
  - infractions aux règles de la circulation aérienne
  - les incidents de la circulation aérienne
- Les services d'alerte
- Interception
- La prévention des collisions
- Le pilotage sans visibilité extérieure

VOL N°24

Leçon 47

- ❍ Application voyage
- ❍ Perte de références extérieures
- ❍ Interruption volontaire du vol et atterrissage forcé en campagne
- ❍ VFR on top
- ❍ Virage serré en descente en vol plané
- ❍ VFR spécial
- ❍ Vol en montagne
- ❍ Survol maritime

VOL SOLO N° 10

Leçon 48

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 24

VOL SOLO N° 11

Leçon 49

- Entraînement pilotage
- Décollage et atterrissage vent de travers
- Montée pente max.
- Vol moteur réduit
- Atterrissage sur terrain court

VOL N°24

Leçon 50

- ❍ Navigation à longue distance (Révision) avec utilisation de tous les équipements installés à bord (Radiocompas, VOR, GPS)

VOL SOLO N° 12

Leçon 51

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 25

VOL SOLO N° 13

Leçon 52

- Vol intégrant tous les objectifs atteints jusqu'au vol d'instruction N ° 25

PROGRAMME DE FORMATION THÉORIQUE

Le programme de formation est fixé par l'annexe à l'arrêté du 20 août 1999. Ce programme couvre les domaines suivants :

- la législation portant :
  - sur la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale dont les articles prévus au programme sont reproduits dans ce manuel *(cf. pages 34 à 37)* ;
  - l'Annexe 7 OACI relative à la nationalité des aéronefs et marques d'immatriculation ;
  - l'Annexe 8 OACI relative à la navigabilité des aéronefs ;
- les Règles de l'Air prévues par l'Annexe 2 OACI ;
- la réglementation du trafic aérien et services du trafic aérien prévues par :
  - l'Annexe 11 relative aux Service de la circulation aérienne ;
  - l'Annexe 14 relative aux Aérodromes (Conception et exploitation technique des aérodromes) ;
  - le Document PANS-ATM (DOC 4444) relatif aux Procédures pour les organismes de la circulation aérienne ;
  - la réglementation relative aux licences prévue par l'arrêté du 29 mars 1999 dont le contenu de certains articles est précisé dans le manuel ;
- la connaissance générale des aéronefs ;
- les performances et la préparation du vol ;
- les performances humaines et ses limites ;
- la météorologie ;
- la navigation ;
- les principes du vol ;
- les communications ;
- les procédures opérationnelles notamment les dispositions des Annexes suivantes :
  - l'Annexe 6 OACI relative à l'utilisation des aéronefs (2e partie) ;
  - l'Annexe 12 OACI relative à la recherche et sauvetage ;
  - l'Annexe 13 relative aux enquêtes accident ;
- la sécurité générale du vol.

Tous ces différents domaines sont développés dans le présent manuel.

Objectif de la phase :

L'objectif de cette phase est de faciliter votre intégration dans le milieu aéronautique et de vous permettre d'acquérir les connaissances nécessaires à votre premier vol.

Le cadre réglementaire 27
Convention de Chicago 34
La réglementation du pilote privé 38
Facteurs humains 43
Description de l'avion 60
L'atmosphère type 73
Pourquoi l'avion vole 76
Les gouvernes 87

PHASE 1

PHASE 1
LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

Vous allez évoluer dans un environnement où la sécurité est une des préoccupations principales de ceux qui gèrent l'univers aéronautique. Pour cette raison, des règles et des procédures ont été créées, et sont régulièrement complétées et mises à jour afin d'être adaptées au monde aéronautique d'aujourd'hui et afin de garantir la sécurité des utilisateurs dont vous faites à présent partie.

La grande majorité des domaines des activités aéronautiques évoluent dans un cadre réglementaire, toujours pour des raisons de sécurité. Dans ces chapitres, nous allons nous intéresser à la réglementation qui touche le pilote privé et le vol à vue.

Des organismes agissant à différentes échelles (mondiale, européenne, nationale et régionale) produisent les textes à portée réglementaire et contrôlent leur mise en application. Tous les acteurs de l'aéronautique, et les utilisateurs en particulier, dépendent de tels organismes. Nous allons donc les passer en revue et voir dans quel cadre réglementaire vous évoluerez au titre du pilote privé d'avion et du vol à vue.

Nous nous intéresserons ensuite à un aspect de la réglementation qui nous touche de près : la réglementation du navigant privé, que vous allez devenir. Nous parlerons des licences et des privilèges qu'elles offrent, du statut d'élève pilote, des particularités que présentent certaines qualifications et de l'aptitude médicale d'un pilote privé.

Nous allons, dans cet ouvrage, évoquer la notion d'« aéronef ». Ce terme générique désigne tout appareil capable de s'élever et d'évoluer dans les airs. Il regroupe donc les avions, les ULM, les hélicoptères, les planeurs, les ballons, etc.

Les organismes internationaux

L'aviation est une activité qui, par nature, est internationale : c'est un moyen de transport avec lequel il est techniquement très facile de franchir les frontières. Très vite et pour d'impérieuses raisons de sécurité, il est apparu aux différentes nations où l'aéronautique était en plein développement qu'il devenait nécessaire d'harmoniser les techniques, les moyens et les services voués à l'aviation civile.

Des organismes internationaux, à compétence mondiale ou continentale, ont vu le jour pour répondre à ce besoin.

L'organisation de l'aviation civile internationale

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) a été créée à la fin de la Seconde Guerre Mondiale (1944) ; elle regroupe 189 États contractants au 1er janvier 2006 dont la France et la majorité des pays occidentaux. Son siège est à Montréal.

Dans ces régions, les services de la circulation aérienne sont rendus par des États signataires de la Convention à l'intérieur de l'espace aérien qui leur a été confié ; cet espace est d'abord identifié par une lettre commune à plusieurs États, par exemple la lettre L pour la zone australe de la Région Europe/Nord Atlantique (EURNAT), puis une seconde désignant l'État, par exemple la lettre F pour la France. C'est ainsi que sont formés les indicateurs d'emplacement des aérodromes ou organismes en y ajoutant une troisième et quatrième lettre par exemple LFFF pour la FIR de PARIS, LFPO pour Paris-Orly ; le Bureau de la Région EURNAT est à Paris.

Les missions de l'OACI

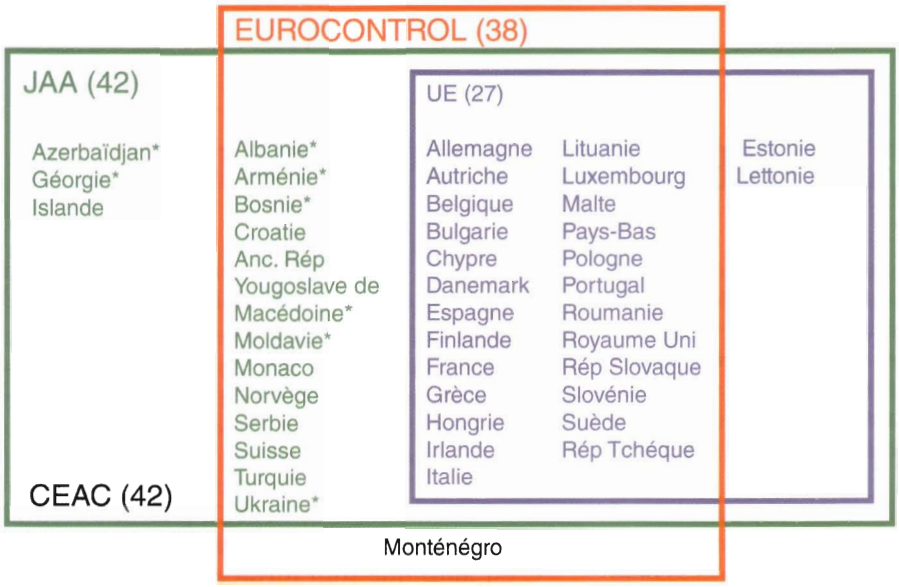
Sa vocation est de **coordonner et d'harmoniser**, à des fins de sécurité, le **développement et la vie de l'aéronautique civile**. Pour cela, elle édicte des « normes » et des « pratiques recommandées », que les États contractants s'engagent à suivre. Ces normes et pratiques recommandées concernent les licences de personnel, les règles de l'air, les codes météorologiques, les cartes aéronautiques, les unités de mesures utilisées, les balisages d'aérodromes, etc.

Les normes et pratiques recommandées, regroupées dans des **Annexes**, sont reprises par les États membres qui les introduisent dans leur réglementation nationale. Chaque Annexe traite d'un sujet différent. La réglementation française est considérablement inspirée des normes et pratiques recommandées de l'OACI.

Si un État adopte un règlement différent qui pourrait mettre en cause la sécurité aérienne, les différences sont insérées à la fin de chaque Annexe OACI concernée et signalées dans les AIP (pour « Aeronautical Information Publication ») mis à la disposition des usagers et dont nous allons reparler plus loin.

L'organisation européenne de l'aviation civile

En Europe, dès le milieu des années 1960, la nécessité d'une coopération en matière technique s'est fait sentir entre la France et la Grande-Bretagne, lors de la conception de Concorde. Le même besoin est apparu quelques années plus tard au moment de la création de l'Airbus franco-allemand, les administrations ayant à contrôler la navigabilité d'un appareil conçu dans des bureaux d'études situés dans des États différents.



Liste des États CEAC/JAA/UE/ EUROCONTROL au 18/10/2007

La collaboration entre États européens en matière d'aviation civile a donc débuté en vue de résoudre des problèmes de certification d'appareils. Il s'agissait d'élaborer des codes de navigabilité communs, en anglais « Joint Aviation Requirements » (**JAR**).

En 1987, cette collaboration s'est étendue à l'entretien des aéronefs, à leur exploitation et à la délivrance des licences. Elle a dépassé le cadre de la navigabilité (« Airworthiness »). Il a donc été créé un organisme aéronautique commun, appelé « Joint Aviation Authorities » (**JAA**).

Les JAA ne sont pas la seule organisation aéronautique européenne : nous avons également la Conférence Européenne de l'Aviation Civile (CEAC), l'organisme EUROCONTROL dont la vocation est l'harmonisation du trafic aérien, la centralisation des redevances de route, etc. (Voir liste des États membres de la CEAC et des JAA en page suivante)

Autorité des JAA

Les JAA n'ont pas le statut d'organisme supranational : les règles édictées n'ont pas force de loi vis-à-vis des règlements nationaux. Il appartient à chaque États membre de les mettre en application dans leur réglementation nationale.

Pour ce qui concerne les licences des navigants privés et professionnels, les règles des JAA (appelées règles JAR-FCL, pour « **Flight Crew Licensing** » ou licences du personnel navigant) ont été introduites dans la réglementation nationale le 1er juillet 1999.

L'Agence européenne de la sécurité aérienne (AESA)

Le règlement (CE) n° 1592/2002 du Parlement européen et du Conseil, adopté le 15 juillet 2002, a ouvert la voie à une nouvelle réglementation communautaire en matière de sécurité et de compatibilité environnementale de l'aviation civile et a permis la création de l'Agence européenne de la sécurité aérienne (**AESA**), qui est entrée en fonction en septembre 2003.

Si les JAR n'ont pas force réglementaire *(cf. le paragraphe relatif à l'Autorité des JAA)*, avec l'AESA, les choses changent, en effet, les nouveaux règlements sont directement applicables aux États de la Communauté.

L'AESA, dont le cadre géographique est celui de l'Union Européenne, assure la coopération avec les pays JAA qui ne font pas encore partie de la Communauté *(cf. ci-après l'« Espace JAA »)* ainsi qu'avec la FAA avec laquelle certains États ont des accords bilatéraux.

L'AESA est un véritable organe exécutif de la Communauté européenne. Dans un premier temps, ses compétences portent, essentiellement, sur la certification des aéronefs et leurs équipements ; dans un second temps, ce cadre réglementaire sera étendu à l'exploitation des aéronefs et aux personnels navigants ; l'Agence sera donc chargée d'élaborer le réglementation relative aux licences des personnels navigants ; enfin, l'élargissement aux domaines de la circulation aérienne et aux aéroports devrait être abordé ultérieurement.

Les licences européennes

Les JAA ont créé un ensemble de licences communes aux États membres allant de :

- la licence de pilote privé : Private Pilot Licence (PPL)
- la licence de pilote professionnel : Commercial Pilot Licence (CPL)
- la licence de pilote de ligne : Airline Transport Pilot Licence (ATPL)

Un pilote doit normalement détenir qu'une seule licence sur laquelle sont portées toutes les qualifications ou autorisations qu'il détient.

Reconnaissances des licences

La directive communautaire 91/670/CEE sur la reconnaissance mutuelle des licences (article 3-2) précise que toute personne détentrice d'une licence de pilote privé délivrée par un État membre est autorisée à piloter des aéronefs immatriculés dans un autre État membre. Cette reconnaissance se limite à l'exercice des privilèges accordés au titulaire d'une licence de pilote privé et des qualifications connexes pour les vols à vue effectués uniquement de jour dans des aéronefs certifiés avec un équipage composé d'un seul pilote.

En conséquence, pour un pilote PPL français désirant piloter en Europe un avion immatriculé dans un état européen autre que la France, la directive européenne devrait s'appliquer, mais il est recommandé de s'assurer auprès du pays où le vol devra s'effectuer de la prise en compte de la directive européenne.

Par ailleurs, l'arrêté du 24 juillet 1991 modifié relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale stipule que, sauf dans les cas prévus aux paragraphes 4.3.2 concernant les vols particuliers (vols d'instruction et vols de démonstration), nul ne peut mettre en œuvre un aéronef s'il ne détient les titres aéronautiques appropriés, en état de validité, délivrés ou validés par l'État d'immatriculation. Il convient donc de se rapprocher de l'État d'immatriculation de l'avion.

Enfin, pour un pilote PPL désirant piloter à titre privé en Europe sur un avion immatriculé hors Europe, il convient de s'assurer :

- auprès du l'État d'immatriculation qu'il est bien autorisé à piloter cet avion avec sa PPL Française ;
- de la bonne application de la directive européenne par le pays où se déroulera le vol.

L'organisme national de tutelle de l'aviation civile

En France, c'est le **ministère chargé des transports** qui a autorité sur l'aviation civile dans les domaines qui restent une responsabilité nationale. Cette tâche est confiée à la **Direction Générale de l'Aviation civile (DGAC)**.

Missions et organisation de la DGAC

Pour se mettre en conformité avec les exigences des règlements « Ciel unique européen » définis par la Commission européenne en vue d'harmoniser la gestion de l'espace aérien, la fourniture des services de la circulation aérienne et de définir des règles d'interopérabilité des systèmes facilitant la coordination et le transfert des aéronefs entre organismes de contrôle, la DGAC s'est organisée en 3 pôles autour d'une Direction Générale chargée du pilotage et de la coordination de l'ensemble afin de séparer les opérateurs des pôles régalien et de surveillance :

Le pôle « activités régaliennes » définit les normes techniques et les règles économiques qui sont appliquées et développe une vision stratégique de l'aviation civile.

Ce pôle regroupe 3 Directions :

- **La Direction des affaires stratégiques et techniques (DAST)** constitue le « cœur stratégique » de la DGAC. Elle exerce trois fonctions essentielles :
  - élaborer les orientations stratégiques de la DGAC pour le secteur de l'aviation civile, préparer et animer les politiques en matière de sécurité, de sûreté, d'espace aérien et d'environnement ;
  - coordonner l'action européenne et internationale de la DGAC en promouvant les intérêts de l'aviation civile française au sein des instances européennes et internationales et vis-à-vis des aviations civiles étrangères ;
  - produire la réglementation technique applicable en France pour tous les domaines de sécurité, de sûreté, d'espace aérien et d'environnement, et défendre activement la position française lors des travaux de préparation des nouvelles réglementations décidées au niveau européen ou international.

La mission « **Aviation légère** » est rattachée à la **DAST**.

- **La Direction de la régulation économique (DRE)** est chargée des différents aspects économiques, juridiques et sociaux du transport aérien et des aéroports.

Les missions de la DRE concernent essentiellement :

- les affaires internationales (négociation des accords aériens…) ;
- la prise en compte des intérêts des utilisateurs du transport aérien : droits et information ;
- les relations avec les exploitants : autorisations, suivi économique, affaires sociales ;
- la supervision du marché : observation, allocation des ressources aéroportuaires, interventions publiques.

- **La Direction des programmes aéronautiques et de la coopération (DPAC)** définit et met en œuvre la politique de soutien public à la recherche et au développement pour l'ensemble des domaines avions, moteurs, hélicoptères et équipements aéronautiques. Elle est également chargée de promouvoir les intérêts du secteur au niveau européen et international.

Le pôle « Surveillance et certification » veille à l'application des règles concourant à la sécurité et à la sûreté (hommes, structure, matériels) : il contrôle, certifie et audite l'ensemble des acteurs de l'aviation civile, y compris le prestataire des services de navigation.

Ce pôle regroupe :

- **La Direction du contrôle et de la sécurité (DCS)** chargée de veiller au respect des règlements nationaux et internationaux en matière de sécurité et de sûreté.

  Elle organise la surveillance des opérateurs de l'aviation civile et la délivrance des agréments, autorisations, licences et certificats nécessaires pour les opérateurs, personnels, équipements et systèmes.

  Elle est compétente pour tout le secteur de l'aviation civile : constructeurs, exploitants aériens, aéroports, personnels navigants, opérateur de navigation aérienne, organismes de sûreté etc.

  Elle est l'autorité nationale de surveillance au sens des règlements « Ciel unique ».

  La DCS s'appuie sur les **Directions de l'aviation civile** et le **Service technique de l'aviation civile (STAC)** ou délègue certaines attributions à des organismes externes comme le GSAC (**G**roupement pour la **S**écurité de l'**A**viation **C**ivile) en ce qui concerne la maintenance des aéronefs. La DCS est garante des méthodes de surveillance et de leur homogénéité.
- **Le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC)**, rattaché à la DCS, est le service technique d'appui de cette direction dans ses activités de certification et surveillance des aéroports, de la sûreté, de la navigation aérienne, et de l'environnement. Dans ces domaines, il en constitue le pôle de ressources pour les audits, inspections ou suivis.

  Il peut assurer toute mission d'ingénierie qui ne crée pas de conflit d'intérêt avec son rôle de certificateur, et intervient à ce titre pour le ministère de la Défense.

  En tant que service technique central, il anime dans ses domaines de compétences l'activité technique des services déconcentrés de l'État, en particulier des services spéciaux des bases aériennes.

Le pôle « Prestataires » qui rendent les services de navigation aérienne et de formation. Ils appliquent les règles et sont surveillés et habilités par le pôle surveillance et certification. Ce pôle comprend :

- **La Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA)** qui, au sein d'un grand service à compétence nationale, regroupe l'ensemble des services de la DGAC qui travaillent directement ou indirectement à la fourniture des services de navigation aérienne.
- **La Direction des Opérations**

  En matière d'exploitation, une Direction des opérations regroupe :

  – les Centres En route de la Navigation Aérienne (5 CRNA) ;

  – les Services de la Navigation Aérienne (11 SNA) qui sont chargés des services de contrôle d'approche et d'aérodrome;

  – le Service de l'Information aéronautique (SIA) ;

  – le Centre d'Exploitation des Systèmes de Navigation aérienne Centraux (CESNAC)

La DSNA est un opérateur au sens des règlements « ciel unique », elle n'a donc pas de compétence en matière réglementaire (du ressort de la DAST) et a fortiori de certification (du ressort de la DCS fonctionnellement indépendante de la DSNA conformément aux dits règlements).

- **La direction Technique et de l'Innovation** est également créée par regroupement des anciens STNA et CENA.
- **Le Service d'Exploitation de la Formation Aéronautique (SEFA)** est chargé de :

  – la formation ab initio des pilotes de lignes,

  – la formation avancée des pilotes professionnels,

  – la formation au pilotage des personnels techniques de la DGAC,

  – l'entraînement des pilotes des corps techniques de la DGAC,

  – l'exploitation des aéronefs de calibration des aides radio et autres missions pour le compte de la DGAC.

  La principale novation de la réorganisation consiste en son rattachement au Secrétariat général.
- **L'École Nationale de l'Aviation Civile (ENAC)** a pour mission d'assurer la formation initiale et le perfectionnement des cadres et principaux acteurs de l'aviation civile. Véritable « université » de l'Aviation Civile, l'Enac propose une grande diversité d'activités, destinées à répondre aux besoins des secteurs public ou privé, en France et à l'étranger.

Les Directions de l'Aviation Civile (DAC)

– **Métropole**

Les DAC, au nombre de 7 *(voir carte page 32)*, ont principalement une mission de surveillance régalienne. Elles s'appuient sur les fonctions support de la DG. Les DAC représentent la DGAC auprès des acteurs locaux.

Les activités de navigation aérienne sont rattachées à la DSNA et ne sont plus sous le contrôle du délégué territorial.

– **DOM**

Ces services comprennent la DAC Antilles-Guyane et le SAC Océan Indien. Ils appliquent les mêmes principes d'organisation que les DAC métropolitaines. Côté opérateur de la navigation aérienne, deux SNA sont créés (Fort-de-France et Saint-Denis de la Réunion).

– **TOM**

Les TOM obéissent à une législation particulière liée à leur statut.

Délégations territoriales des DAC

Les DAC peuvent être représentées sur certains aérodromes par des Délégués territoriaux ; ceux-ci peu-

vent être amenés à exercer les missions qui leur sont confiées sur un ou plusieurs aérodromes.

Les délégués territoriaux des DAC sont notamment chargés, sous l'autorité du préfet et en liaison avec les autorités compétentes, de faire appliquer les règlements et de coordonner les actions en matière de protection et de sûreté des aérodromes, d'assurer le cas échéant, la gestion et le fonctionnement des aérodromes gérés directement par l'État.

Ils assistent ou suppléent les DAC dans l'exercice de leurs missions, d'une manière générale, de contrôle et de surveillance de toutes les activités aériennes dans leur zone de compétence.

Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile (BEA)

Le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'Aviation Civile (BEA) est rattaché directement au ministre des transports. Il a pour objectif la prévention des accidents. Pour ce faire, il procède aux enquêtes et analyses en cas d'accidents ou incidents en vue de rechercher les causes et étudier les mesures à prendre afin d'éviter que de tels accidents ou incidents se reproduisent.

Par ailleurs l'étude de situations inhabituelles peut apporter des informations complémentaires particulièrement pertinentes pour améliorer la sécurité des vols. Le BEA a donc mis en place un système de retour d'expérience en mettant à la disposition des pilotes un imprimé désigné « **Recueil d'Événement Confidentiel** » (**REC**). Le REC permet aux pilotes de faire remonter les informations afin que le BEA ait connaissance d'informations relatives à des incidents mineurs, une singularité, une situation inhabituelles, facteurs qui auraient pu être à l'origine de dommages plus importants s'ils étaient apparus dans des circonstances différentes favorisant la survenue d'un accident. C'est sur cette constatation que se fonde la raison d'être du REC. Le REC traite donc des événements pour lesquels le pilote a pris des mesures de protections efficaces pour assurer sa sécurité et dont le récit pourrait être très utile aux autres. Notez que sans ces protections efficaces, il peut y avoir des dommages et l'événement est alors un « accident » qui fait l'objet d'une enquête du BEA. Les informations en retour vers les usagers sont diffusées au moyen notamment du bulletin **REC Info**.

Les textes réglementaires de référence

Lorsqu'un texte réglementaire est conçu, décret, arrêté, ou instructions, il est toujours publié au **Journal officiel de la République française** *(JORF)*. Autrement dit, toute la réglementation concernant l'aviation civile est contenue dans le *JORF*.

C'est la première source d'information réglementaire. Des circulaires peuvent être publiées : ce sont des textes dont la vocation est d'expliquer les textes réglementaires, mais ils n'ont pas valeur de référence réglementaire.

La consultation du *JORF* est fastidieuse : il paraît quotidiennement et contient tous les textes réglementaires publiés le jour de la parution, dans tous les domaines (tourisme, finance, aménagement du territoire, etc.).

Ce n'est donc pas ce support d'information que nous utiliserons pour étudier la réglementation. Vous pourrez bien entendu vous y référer si vous souhaitez vérifier une information dont vous n'avez pas tout le détail, ou sur laquelle vous avez des doutes.

Des ouvrages de synthèse regroupent les textes parus dans le *JORF* :

- Le **Code de l'aviation civile**, qui sert de base réglementaire pour les juristes spécialisés dans le droit aérien. Il n'est pas très facile d'emploi pour un lecteur non initié.
- Les textes relatifs aux règles de l'air et les Services de la circulation aérienne, ainsi que ceux relatifs à l'exploitation des aéronefs civils.
- Les documents constituant l'**information aéronautique permanente** notamment :
  - Les **Publications d'informations aéronautiques (AIP)** comprenant 3 parties :
    - GEN pour les généralités ;
    - ENR pour les informations relatives à l'en-route ;
    - AD pour les informations relatives aux aérodromes.
  - L'atlas **VAC** (Visual Approach and landing Chart) qui regroupe les diverses cartes d'aérodrome et consignes particulières pour le vol à vue et l'Atlas **IAC** (Instrument Approach Chart) pour les cartes d'aérodromes et consignes particulières utilisées en vol aux instruments.

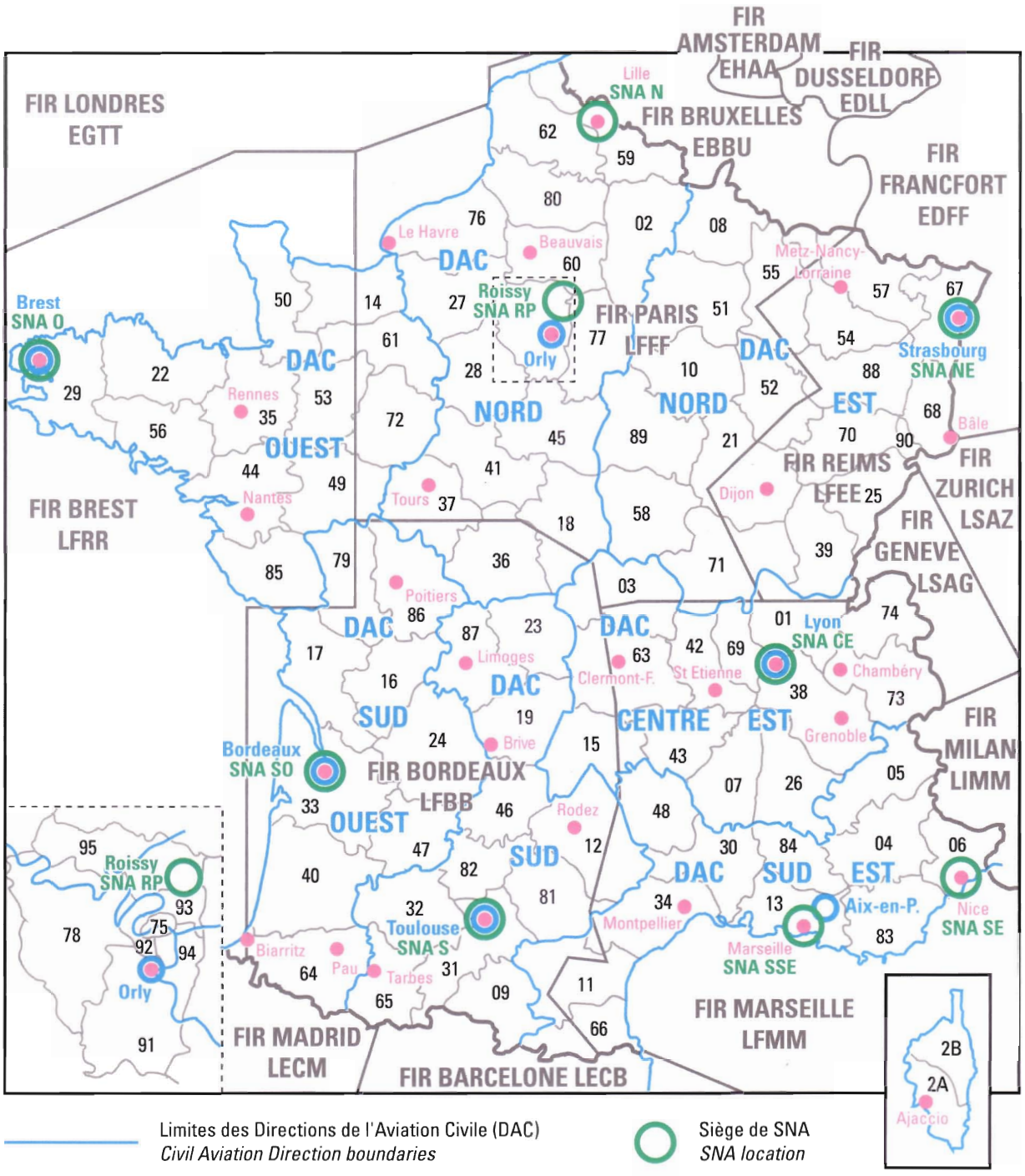
L'information aéronautique permanente est régulièrement mise à jour tous les 28 jours par Bulletin de mise à jour (**BMJ**) selon un calendrier international fixé par l'OACI appelé **AIRAC** (Aeronautical Information Regulation and Control).

Par ailleurs le SIA publie de nombreux documents de synthèses destinés à un usage particulier (exemple : une pochette « VFR » regroupant cartes et extraits d'AIP et de textes réglementaires concernant les vols VFR).

Les textes réglementaires, l'information aéronautique permanente et l'information aéronautique temporaire mentionnée en phase IV page 292, sont disponibles sur le site du SIA :

www.sia.aviation-civile.gouv.fr

ORGANISATION TERRITORIALE DE L'AVIATION CIVILE ET FIR
Civil aviation territorial organisation and FIR



Limites des Directions de l'Aviation Civile (DAC)
Civil Aviation Direction boundaries

Limites des départements
Department boundaries

Limites des FIR
FIR boundaries

LECM — Indicateur d'emplacement OACI FIR
FIR ICAO location indicator

Siège de SNA
SNA location

Siège de DAC
DAC location

Siège de délégation territoriale
Territorial representative location

56 — Numéro de département
Department number

Fig.1 – *Organisation territoriale de l'aviation civile.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no EI 1/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

LES SERVICES DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

SNA Région parisienne
CANA
BP 24101
95711 ROISSY Ch.de Gaulle CEDEX

SNA Nord
BP 429
59814 LESQUIN CEDEX

SNA Nord-Est
Aéroprt de Strasbourg
67960 ENTZHEIN

SNA Ouest
Aéroport de Brest Guipavas
BP 56
29490 GUIPAVAS

SNA Centre-Est
Aéroport de Lyon Saint-Exupéry
BP 601
69125 LYON Saint-Exupéry Aéroport

SNA Sud-Ouest
Aéroport de Bordeaux-Mérignac
BP 70037
33702 MERIGNAC CEDEX

SNA Sud
Allée Saint-Exupéry
BP 60100
31703 BLAGNAC CEDEX

SNA Sud-Est
BP 3036
06201 NICE CEDEX 3

SNA Sud-Sud-Est
Aéroport de Marseille Provence
N ° 1 Aéroport
13727 MARIGNANE CEDEX

SNA Antilles Guyane
BP 372
97262 FORT DE FRANCE

SNA Océn Indien
BP 52
97408 SAINT DENIS CEDEX 9

REPRÉSENTATION TERRITORIALE DE LA DGAC

Direction de l'Aviation Civile Centre-Est
BP 601
69125 Aéroport de Lyon-St Exupéry

Direction de l'Aviation Civile Nord-Est
Aérodrome de Strasbourg-Entzheim
67960 ENTZHEIM

Direction de l'Aviation Civile Sud
Aérodrome de Toulouse-Blagnac
BP 100
31703 TOULOUSE Cedex

Direction de l'Aviation Civile Sud-Ouest
Aéroport principal de Bordeaux-Mérignac
BP 70116
33704 MERIGNAC Cedex

Monsieur le Chef du Service de l'Aviation Civile de Saint-Pierre et Miquelon
Boulevard de Port en Bessin
BP 4265
97500 SAINT-PIERRE-ET-MIQUELON

Service d'États de l'Aviation Civile en Polynésie Française
BP 6404
98702 FAA'A AEROPORT TAHITI

Direction de l'Aviation civile Nord
Orly Sud 108
94396 ORLY AEROGARE Cedex

Direction de l'Aviation Civile Ouest
Aérodrome de Brest-Guipavas
BP 56
29490 GUIPAVAS

Direction de l'Aviation Civile Sud-Est
1, rue Vincent Auriol
13617 AIX EN PROVENCE Cedex

Direction de l'Aviation Civile Antilles-Guyane
11, rue des Hibiscus
BP 644
97262 FORT DE FRANCE

Service de l'Aviation Civile Océan Indien
Aérodrome de Saint-Denis Gillot
BP 52
97408 SAINT DENIS Cedex

Monsieur le Chef du Service d'États de l'Aviation Civile en Nouvelle-Calédonie
BP H1
98849 Nouméa Cedex

Attention : les adresses ci-dessus pour les différents organismes sont susceptibles de modifications ; vous êtes donc invités à vous reporter à la documentation officielle régulièrement mise à jour.

CONVENTION RELATIVE À L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

Convention aussi appelée « Convention de Chicago »

NAVIGATION AÉRIENNE

CHAPITRE I
PRINCIPES GÉNÉRAUX ET APPLICATION DE LA CONVENTION

Article premier

Souveraineté

Les États contractants reconnaissent que chaque État a la souveraineté complète et exclusive sur l'espace aérien au-dessus de son territoire.

Article 2

Territoire

Aux fins de la présente Convention, il faut entendre par territoire d'un État les régions terrestres et les eaux territoriales et adjacentes qui se trouvent sous la souveraineté, la suzeraineté, la protection ou le mandat dudit États.

CHAPITRE II
VOL AU-DESSUS DU TERRITOIRE DES États CONTRACTANTS

Article 5

Droits des aéronefs n'assurant pas de service régulier

Chaque État contractant convient que tous les aéronefs des autres États contractants qui n'assurent pas de services aériens internationaux réguliers ont le droit, à condition que soient respectés les termes de la présente Convention, de pénétrer sur son territoire, de le traverser en transit sans escale et d'y faire des escales non commerciales sans avoir à obtenir une autorisation préalable, sous réserve du droit pour l'État survolé d'exiger l'atterrissage. Néanmoins, pour des raisons de sécurité de vol, chaque État contractant se réserve le droit d'exiger que les aéronefs qui désirent survoler des régions inaccessibles ou dépourvues d'installations et services de navigation aérienne adéquats suivent les itinéraires prescrits ou obtiennent une autorisation spéciale.

Si lesdits aéronefs assurent le transport de passagers, de marchandises ou de courrier contre rémunération ou en vertu d'un contrat de location en dehors des services aériens internationaux réguliers, ils auront aussi le privilège, sous réserve des dispositions de l'article 7, d'embarquer ou de débarquer des passagers, des marchandises ou du courrier, sous réserve du droit pour l'État où a lieu l'embarquement ou le débarquement d'imposer telles réglementations, conditions ou restrictions qu'il pourra juger souhaitables.

Article 10

Atterrissage sur un aéroport douanier

Sauf dans le cas où, aux termes de la présente Convention ou d'une autorisation spéciale, il est permis à des aéronefs de traverser le territoire d'un État contractant sans y atterrir, tout aéronef qui pénètre sur le territoire d'un État contractant doit, si les règlements dudit État l'exigent, atterrir sur un aéroport désigné par cet État aux fins d'inspections douanières et autres. En quittant le territoire d'un État contractant, ledit aéronef doit partir d'un aéroport douanier désigné aux mêmes fins. Les caractéristiques de tous les aéroports douaniers désignés doivent être publiées par l'État et transmises à l'Organisation de l'Aviation civile internationale, instituée en vertu de la deuxième partie de la présente Convention, pour communication à tous les autres États contractants.

Article 11

Application des règlements de l'air

Sous réserve des dispositions de la présente Convention, les lois et règlements d'un État contractant relatifs à l'entrée et à la sortie de son territoire des aéronefs employés à la navigation aérienne internationale, ou relatifs à l'exploitation et à la navigation desdits aéronefs à l'intérieur de son territoire, s'appliquent, sans distinction de nationalité, aux aéronefs de tous les États contractants et lesdits aéronefs doivent s'y conformer à l'entrée, à la sortie et à l'intérieur du territoire de cet État.

Article 12

Règles de l'air

Chaque État contractant s'engage à adopter des mesures afin d'assurer que tout aéronef survolant son territoire ou y manoeuvrant, ainsi que tout aéronef portant la marque de sa nationalité, en quelque lieu qu'il se trouve, se conforment aux règles et règlements en vigueur en ce lieu pour le vol et la manœuvre des aéronefs.

Chaque État contractant s'engage à maintenir ses règlements dans ce domaine conformes, dans toute la mesure du possible, à ceux qui pourraient être établis en vertu de la présente Convention. Au-dessus de la haute mer, les règles en vigueur sont les règles établies en vertu de la présente Convention. Chaque État contractant s'engage à poursuivre toute personne contrevenant aux règlements applicables.

Article 13

Règlements d'entrée et de congé

Les lois et règlements d'un État contractant concernant l'entrée ou la sortie de son territoire des passagers, équipages ou marchandises des aéronefs, tels que les règlements relatifs à l'entrée, au congé, à l'immigration, aux passeports, à la douane et à la santé, doivent être observés à l'entrée, à la sortie ou à l'intérieur du territoire de cet État, par lesdits passagers ou équipages, ou en leur nom, et pour les marchandises.

Article 16

Visite des aéronefs

Les autorités compétentes de chacun des États contractants ont le droit de visiter, à l'atterrissage et au départ, sans causer de retard déraisonnable, les aéronefs des autres États contractants et d'examiner les certificats et autres documents prescrits par la présente Convention.

CHAPITRE IV

MESURES DESTINÉES A FACILITER LA NAVIGATION AÉRIENNE

Article 22

Simplification des formalités

Chaque État contractant convient d'adopter, par la promulgation de règlements spéciaux ou de toute autre manière, toutes mesures en son pouvoir pour faciliter et accélérer la navigation par aéronef entre les territoires des États contractants et éviter de retarder sans nécessité les aéronefs, équipages, passagers et cargaisons, particulièrement dans l'application des lois relatives à l'immigration, à la santé, à la douane et au congé.

Article 23

Formalités de douane et d'immigration

Chaque État contractant s'engage, dans la mesure où il le juge réalisable, à établir des règlements de douane et d'immigration intéressant la navigation aérienne internationale, conformément aux pratique qui pourraient être établies ou recommandées en vertu de la présente Convention. Aucune disposition de la présente Convention ne doit être interprétée comme empêchant la création d'aéroports francs.

Article 24

Droits de douane

a Au cours d'un vol à destination ou en provenance du territoire d'un autre État contractant ou transitant par ce territoire, tout aéronef est temporairement admis en franchise de droits, sous réserve des règlements douaniers de cet État. Le carburant, les huiles lubrifiantes, les pièces de rechange, l'équipement habituel et les provisions de bord se trouvant dans un aéronef d'un État contractant à son arrivée sur le territoire d'un autre État contractant et s'y trouvant encore lors de son départ de ce territoire, sont exemptes des droits de douane, frais de visite ou autres droits et redevances similaires imposés par l'État ou les autorités locales. Cette exemption ne s'applique pas aux quantités ou aux objets déchargés, à moins que ne l'admettent les règlements douaniers de l'État, qui peuvent exiger que ces quantités ou objets soient placés sous la surveillance de la douane.

b Les pièces de rechange et le matériel importé dans le territoire d'un État contractant pour être installés ou utilisés sur un aéronef d'un autre État contractant employé à la navigation aérienne internationale sont admises en franchise de droits de douane, sous réserve de l'observation des règlements de l'État intéressé, qui peuvent disposer que ces objets sont placés sous la surveillance et le contrôle de la douane.

CHAPITRE V

CONDITIONS A REMPLIR EN CE QUI CONCERNE LES AÉRONEFS

Article 29

Documents de bord des aéronefs

Tout aéronef d'un État contractant employé à la navigation internationale doit, conformément aux condi-

tions prescrites par la présente Convention, avoir à bord les documents suivants :

a Son certificat d'immatriculation ;

b Son certificat de navigabilité ;

c Les licences appropriées pour chaque membre de l'équipage ;

d Son carnet de route ;

e S'il est muni d'appareils radioélectriques, la licence de la station radio de l'aéronef ;

f S'il transporte des passagers, la liste de leurs noms et lieux d'embarquement et de destination ;

g S'il transporte du fret, un manifeste et des déclarations détaillées de ce fret.

Article 30

Équipement radio des aéronefs

a Les aéronefs de chaque État contractant ne peuvent, lorsqu'ils se trouvent à l'intérieur ou au-dessus du territoire d'autres États contractants, avoir à bord des appareils émetteurs que si les autorités compétentes de l'État dans lequel l'aéronef est immatriculé ont délivré une licence d'installation et d'utilisation de ces appareils. Les appareils émetteurs sont utilisés à l'intérieur du territoire de l'État contractant survolé conformément aux règlements édictés par cet État.

b Les appareils émetteurs ne peuvent être utilisés que par les membres de l'équipage navigant munis à cet effet d'une licence spéciale, délivrée par les autorités compétentes de l'État dans lequel l'aéronef est immatriculé.

Article 31

Certificats de navigabilité

Tout aéronef employé à la navigation internationale doit être muni d'un certificat de navigabilité délivré ou validé par l'État dans lequel il est immatriculé.

Article 32

Licences du personnel

a Le pilote de tout aéronef et les autres membres de l'équipage de conduite de tout aéronef employé à la navigation internationale doivent être munis de brevets d'aptitude et de licences délivrés ou validés par l'État dans lequel l'aéronef est immatriculé.

b Chaque État contractant se réserve le droit de ne pas reconnaître, pour le survol de son propre territoire, les brevets d'aptitude et les licences accordées à l'un de ses ressortissants par un autre État contractant.

Article 33

Reconnaissance des certificats et licences

Les certificats de navigabilité, ainsi que les brevets d'aptitude et les licences délivrés ou validés par l'État contractant dans lequel l'aéronef est immatriculé, seront reconnus valables par les autres États contractants si les conditions qui ont régi la délivrance ou la validation des ces certificats, brevets ou licences sont équivalentes ou supérieures aux normes minimales qui pourraient être établies conformément à la présente Convention.

Article 34

Carnets de route

Pour chaque aéronef employé à la navigation internationale, il est tenu un carnet de route sur lequel sont portés les renseignements relatifs à l'aéronef, à l'équipage et à chaque voyage, sous la forme qui pourrait être prescrite en vertu de la présente Convention.

Article 35

Restrictions relatives à la cargaison

a Les munitions de guerre et le matériel de guerre ne peuvent être transportées à l'intérieur ou au-dessus du territoire d'un État à bord d'aéronefs employés à la navigation internationale, sauf permission dudit État. Chaque État détermine par voie de règlement ce qu'il faut entendre par munitions de guerre ou matériel de guerre aux fins du présent article, en tenant dûment compte, dans un souci d'uniformité, des recommandations que l'Organisation de l'Aviation civile internationale pourrait formuler le cas échéant.

b Chaque État contractant se réserve le droit, pour des raisons d'ordre public et de sécurité, de réglementer ou d'interdire le transport, à l'intérieur ou au-dessus de son territoire, d'articles autres que ceux qui sont mentionnés au paragraphe *a)*, à condition qu'il ne soit fait aucune distinction à cet égard entre ses aéronefs nationaux employés à la navigation internationale et les aéronefs des autres États employés aux mêmes fins, et à condition aussi qu'il ne soit imposé aucune restriction pouvant gêner le transport et l'usage, à bord des aéronefs, des appareils nécessaires à l'exploitation ou à la navigation desdits aéronefs, ou à la sécurité du personnel ou des passagers.

Article 36

Appareils photographiques

Tout État contractant peut interdire ou réglementer l'usage d'appareils photographiques à bord des aéronefs survolant son territoire.

CHAPITRE VI
NORMES ET PRATIQUES RECOMMANDÉES INTERNATIONALES

Article 37

Adoption de normes et procédures internationales

Chaque État contractant s'engage à prêter son concours pour atteindre le plus haut degré réalisable d'uniformité dans les règlements, les normes, les procédures et l'organisation relatifs aux aéronefs, au personnel, aux voies aériennes et aux services auxiliaires, dans toutes les matières pour lesquelles une telle uniformité facilite et améliore la navigation aérienne.

A cette fin, l'Organisation de l'Aviation civile internationale adopte et amende, selon les nécessités, les normes, pratiques recommandées et procédures internationales traitant des sujets suivants :

a Systèmes de communications et aides à la navigation aérienne, y compris le balisage au sol ;

b Caractéristiques des aéroports et des aires d'atterrissage ;

c Règles de l'air et pratiques de contrôle de la circulation aérienne ;

d Licences et brevets du personnel technique d'exploitation et d'entretien ;

e Navigabilité des aéronefs ;

f Immatriculation et identification des aéronefs ;

g Collecte et échange de renseignements météorologiques ;

h Livres de bord ;

i Cartes et plans aéronautiques ;

j Formalités de douane et d'immigration ;

k Aéronefs en détresse et enquêtes sur les accidents ;

Et, lorsqu'il paraît approprié de le faire, de tout autre sujet intéressant la sécurité, la régularité et l'efficacité de la navigation aérienne.

Article 39

Annotation des certificats et licences

a Tout aéronef ou élément d'aéronef au sujet duquel il existe une norme internationale de navigabilité ou de performance et qui n'a pas satisfait sur un point quelconque à cette norme lors de l'établissement de son certificat de navigabilité, doit avoir sous forme d'annotation sur son certificat de navigabilité, ou en annexe à celui-ci, l'énumération complète des détails sur lesquels l'aéronef ou l'élément d'aéronef s'écartait de cette norme.

b Tout titulaire d'une licence qui ne satisfait pas entièrement aux conditions imposées par la norme internationale relative à la classe de la licence ou du brevet qu'il détient doit avoir sous forme d'annotation sur sa licence, ou en annexe à celle-ci, l'énumération complète des points sur lesquels il ne satisfait pas aux dites conditions.

Article 40

Validité des certificats et des licences annotées

Aucun aéronef ou membre du personnel dont le certificat ou la licence a été ainsi annoté ne peut participer à la navigation internationale si ce n'est avec la permission de l'État ou des États sur le territoire desquels il pénètre. L'immatriculation ou l'emploi d'un tel aéronef ou d'un élément certifié d'aéronef dans un État autre que celui où il a été certifié à l'origine, est laissé à la discrétion de l'État dans lequel cet aéronef ou élément est importé.

LA RÉGLEMENTATION DU PILOTE PRIVÉ PPL (A)

Un arrêté du Ministre chargé des Transports en date du 29 mars 1999 *(JORF du 29 juin 1999)* fixe les conditions requises pour devenir pilote privé. Vous entendrez souvent parler du **FCL 1** qu'il vous sera demandé de connaître lors de votre examen écrit. Ce document est édité par le Service de l'Information Aéronautique (SIA). Voici quelques paragraphes à titre d'exemples qui devraient vous guider dans votre formation :

FCL 1.090 Vous devrez avoir au moins 16 ans révolus pour effectuer votre premier vol seul à bord (solo), c'est-à-dire qu'il est possible de débuter un apprentissage sans limitation minimale d'âge.

FCL 1.085 Vous pourrez voler en solo en étant autorisé par un instructeur.

FCL 1.095 Vous pourrez voler en solo si votre certificat d'aptitude médicale est en état de validité.

FCL 1. 100 Pour l'épreuve pratique en vol de la licence PPL (A) vous devrez avoir au moins 17 ans révolus.

FCL 1.110 Lorsque vous aurez obtenu votre licence PPL (A), vous pourrez exercer les fonctions de commandant de bord ou de copilote de tout avion qui n'est pas exploité à titre onéreux.

FCL 1.125 Dans le cas général, pour vous présenter à l'examen en vol de la licence PPL (A), vous devrez avoir l'expérience minimale suivante :

- **45 heures de vol** en tant que pilote d'avion, **dont 5 heures** peuvent avoir été accomplies en simulation et cela dans un **organisme déclaré** ;
- dont au moins **25 heures de vol en double commande** avec un instructeur ;
- dont au moins **10 heures de vol en solo** supervisé, c'est à dire sous la responsabilité et l'autorité d'un instructeur ;
- **dont au moins 5 heures de vol solo** de ces 10 heures doivent avoir été effectuées sur la campagne **dont 1 vol d'au moins 270 kilomètres** au cours duquel vous vous serez posé sur **deux aérodromes** différents de votre aérodrome de départ.

Appendice 1

au FCL 1. 125 Votre formation au vol à vue comprend deux parties :

- la **formation** théorique dont les **connaissances** font l'objet d'un arrêté spécifique du Ministre chargé des Transports en date du 20 août 1999,
- la **formation pratique** est décrite au point 3 de la présente annexe, **l'avion-école** au point 4 et les **aérodromes** au point 5.

Appendice 2

au FCL 1. 125 Cette annexe définit la **déclaration des organismes** de formation PPL.

Appendice 3

au FCL 1. 125 Cette annexe présente le **formulaire de déclaration** de l'organisme pour la formation PPL.

FCL 1.215 Qualifications de classe (Avion)

Classification

Les qualifications de classe sont établies pour les avions monopilote et pour les TMG n'exigeant pas de qualification de type, conformément à la classification suivante :

- une classe pour tous les avions monomoteurs à pistons (terrestres) (SEP T);
- une classe pour tous les hydravions monomoteurs à pistons ;
- une classe pour tous les moto-planeurs à dispositif d'envol incorporé (TMG) ;
- une classe pour chaque constructeur d'avions monomoteurs à turbopropulseur (terrestres) ;
- une classe pour chaque constructeur d'hydravions monomoteurs à turbopropulseur ;
- une classe pour tous les avions multimoteurs à pistons (terrestres) ;
- une classe pour tous hydravions multimoteurs à pistons.

Pour changer de type ou de variante à l'intérieur d'une même qualification de classe, un cours de familiarisation ou une formation aux différences est requis.

Note

Une instruction fixe les variantes dans la classe :

Les SEP terrestres et hydravions comportent les variantes suivantes :

- VP : Monomoteurs à hélice à pas variable
- T : Monomoteur turbo compressé/suralimenté
- P : Monomoteurs à cabine pressurisée

Les SEP terrestres comportent en outre les variantes suivantes :

- RU : Monomoteurs à train escamotable
- TW : Monomoteurs à train classique

Les variantes ne sont inscrites que sur le carnet de vol par l'instructeur qui les a délivrées

FCL 1.220 Qualifications de type (Avion)

Critères

Pour la détermination d'une qualification de type distinct, pour des avions autres que ceux prévus par le FCL 1.215, les éléments suivants doivent être pris en considération :

- Certificat de navigabilité de type
- Qualité de vol
- Équipage minimal de conduite certifié
- Niveau technologique.

FCL 1.225 Circonstances dans lesquelles des qualifications de classe et de type sont requises

Le titulaire d'une licence de pilote d'avion ne doit agir en aucune manière en tant que pilote d'avion s'il ne détient pas une qualification de classe ou de type appropriée en état de validité, à l'exception toutefois du cas où il subit une épreuve pratique d'aptitude ou du cas où il suit une formation au vol. Lorsqu'une qualification de classe ou de type est délivrée, limitant les privilèges à la fonction de copilote, ou toute autre limitation définie par l'Autorité, cette limitation doit être mentionnée avec la qualification.

FCL 1.245 Qualifications de type ou de classe Validité, prorogation et renouvellement

Validité et prorogation – *Qualifications de classe monopilote monomoteur*

La durée de validité des qualifications de classe monopilote monomoteur (avion) est de vingt-quatre mois.

Dans le cas de la délivrance ou du renouvellement, la validité de la qualification de classe monopilote monomoteur (avion) court à compter de la date de réussite à l'épreuve pratique ou du contrôle de compétence jusqu'à la fin du 24e mois qui suit le mois au cours duquel a été effectué cette épreuve pratique d'aptitude ou ce contrôle de compétence.

Dans le cas de la prorogation, la validité de la qualification de classe monopilote monomoteur (avion) court à compter de la date de la fin de validité précédente jusqu'au dernier jour du 24e mois qui suit le mois au cours duquel cette validité a expiré.

Lorsque le contrôle de compétence en vue de la prorogation de la qualification de type ou de classe monopilote monomoteur (avion) est effectué avant les trois mois qui précèdent la date d'expiration de la qualification, la validité de la qualification court à compter de la date de réussite du contrôle de compétence jusqu'au dernier jour du 24e mois qui suit le mois au court duquel a été effectué ce contrôle de compétence.

Prorogation – ***Toute qualification de classe monomoteur à pistons avions et tout TMG***

Pour proroger une qualification de classe monopilote monomoteur à pistons ou une qualification moto-planeur (TMG), le candidat doit :

- dans les trois mois précédant l'expiration de la qualification, avoir réussi un contrôle de compétence conformément aux dispositions des Appendices 1 et 3 aux FCL 1.240 & 1.295 ou des Appendices 1 et 2 au FCL 1.210 avec un examinateur pour la qualification à laquelle il postule ; **ou**
- dans les douze mois précédant l'expiration de la qualification à laquelle il postule, avoir effectué 12 heures de vol incluant :
  - 6 heures en qualité de commandant de bord ;
  - 12 décollages et 12 atterrissages ; **et**
  - un vol d'entraînement d'une durée minimale d'une heure avec un instructeur FI(A) ou un instructeur CRI(A). Ce vol peut être remplacé par un contrôle en vue de la délivrance, de la prorogation et du renouvellement d'une qualification de classe ou de type pour n'importe quel(le) type ou classe d'avion ou d'une qualification de vol aux instruments (avion).

Lorsque le candidat détient la qualification de classe monopilote monomoteur à pistons et la qualification moto-planeur (TMG), il peut pour proroger simultanément ses deux qualifications, soit répondre aux exigences ci-dessus pour l'une de ses qualifications, soit répondre aux exigences en prenant en compte l'expérience de vol cumulée au titre de ses deux qualifications.

Renouvellement – ***Qualifications dont la validité a expiré***

- Si la validité d'une qualification de type ou d'une qualification de classe multimoteur a expiré, le candidat doit se conformer à toutes les conditions de formation en vue d'un ré-entraînement décidées par l'Autorité et satisfaire à un contrôle de compétence.
- Si la validité d'une qualification de classe monopilote monomoteur a expiré, le candidat doit réussir l'épreuve pratique d'aptitude.

Par ailleurs, la Direction Générale de l'Aviation Civile (D.G.A.C.) édite un guide :

GUIDE DU CANDIDAT À L'ÉPREUVE D'APTITUDE DE PILOTE PRIVÉ AVION FCL

à votre disposition dans les services déconcentrés de la DGAC ; il est également disponible sur le site de la DGAC et peut être téléchargé, ce qui vous garantit d'utiliser la dernière version en vigueur.

Ce guide propose :

- Des conseils pratiques relatifs à vos examens écrit et en vol,
- les adresses postales des Services déconcentrés de la D.G.A.C.,
- le texte de l'arrêté du 20 août 1999 définissant les connaissances de la formation théorique,
- le formulaire pour votre inscription à l'examen écrit,
- l'attestation de votre formation théorique,
- le formulaire d'inscription à votre examen en vol,
- l'attestation de votre formation pratique,
- le programme de l'examen pratique.

L'APTITUDE PHYSIQUE ET MENTALE

L'état de santé est un élément important qui conditionne votre aptitude au pilotage. Nous allons voir comment votre aptitude physique et mentale est déterminée et de quel certificat médical vous avez besoin pour pratiquer une activité de pilote privé.

Détermination de l'aptitude physique et mentale

Deux types de **certificats médicaux** sont délivrés aux navigants suivant qu'ils sont privés ou professionnels. Le certificat médical d'aptitude de classe 1 donne l'aptitude pilote de ligne. Il est nécessaire pour l'obtention et le renouvellement de toutes les licences professionnelles. Le certificat médical d'aptitude de classe 2 est destiné à certifier l'aptitude physique et mentale des pilotes privés.

Les certificats médicaux d'aptitude de classe 1 sont délivrés uniquement par les Centres d'Expertise Médicale du Personnel Navigant (C.E.M.P.N.). Les certificats médicaux d'aptitude de classe 2 sont délivrés par les médecins agréés, ils peuvent être également délivrés par les C.E.M.P.N.

Ces médecins ont été agréés par la Direction Générale de l'Aviation Civile après avoir suivi une spécialisation en médecine aéronautique. Cet agrément est personnel, le remplaçant d'un médecin ne peut s'en prévaloir.

Vous trouverez les coordonnées des médecins agréés auprès de votre aéro-club, et à défaut auprès de la délégation territoriale de votre région.

Les conditions d'obtention de l'aptitude physique et mentale

C'est l'arrêté du 2 décembre 1988, modifié, qui fixe les exigences médicales pour pratiquer une activité de pilotage à titre privé.

L'aptitude médicale nécessite une condition physique et mentale correcte sans trouble ni pathologie grave.

Le but de l'examen médical est double :

- vérifier que le candidat possède les capacités fonctionnelles requises : sensorielles (vision, audition), psychomentales, motrices ;
- vérifier l'absence d'une pathologie exposant au risque d'incapacité subite en vol (épilepsie, certaines affections cardiaques, certains diabètes, etc.).

Enfin il faut savoir que la grossesse rend la candidate temporairement inapte.

Lors de la visite médicale d'aptitude, il est très important de bien remplir la partie de la fiche d'examen médical qui vous est destinée. Il va de soi que ce document reste confidentiel médical.

Durée de validité du certificat médical

Le certificat médical de classe 2 est valable :

- 2 ans pour les pilotes de moins de 40 ans à la date de délivrance,
- 1 an pour les pilote de 40 ans et plus le jour de la date de délivrance.

Un certificat peut être renouvelé dans les 45 jours qui précèdent la fin de validité sans incidence sur la date de fin de validité prise en compte pour le renouvellement.

Que faire en cas de perte de l'aptitude médicale ?

Si vous souhaitez poursuivre une activité aéronautique en tant que pilote et que votre cause d'inaptitude ne s'éloigne pas trop des normes prévues par la réglementation, il vous est possible de faire une demande de dérogation auprès du Conseil Médical de l'Aéronautique Civile.

Vous devrez remplir à cet effet un formulaire de demande de dérogation avec l'aide de votre médecin

agréé aéronautique. Celui-ci transmettra alors, sous pli confidentiel médical votre formulaire de demande de dérogation, la fiche d'examen médical complémentaire, s'il y a lieu, au Conseil Médical de l'Aéronautique Civile. Celui-ci pourra éventuellement demander une expertise complémentaire dans un C.E.M.P.N. ou chez un autre médecin.

Le dossier ainsi constitué sera examiné par le Conseil Médical de l'Aéronautique Civile en vue d'une éventuelle dérogation qui pourra être assortie de restrictions telles que la présence obligatoire aux commandes d'un deuxième pilote qualifié sur le type d'appareil, le vol de nuit exclu, la surveillance médicale rapprochée, etc.

Pour se prononcer, le Conseil Médical de l'Aéronautique Civile tient compte principalement de votre dossier médical, mais aussi de votre expérience et de vos qualifications aéronautiques.

Si vous avez à effectuer une demande de dérogation, prenez contact par l'intermédiaire de votre médecin agréé avec le Conseil Médical de l'Aéronautique Civile dont les coordonnées sont les suivantes :

Conseil Médical de l'Aéronautique Civile

93, boulevard de Montparnasse

75006 PARIS

EN RÉSUMÉ, POUR VOLER VOUS DEVEZ AVOIR :

- **votre licence avec, en état de validité, la qualification de classe ou de type correspondant à l'avion sur lequel vous allez voler**
- **un certificat médical en état de validité**
- **une pièce d'identité**

Note : la licence est également délivrée avec une durée de validité de 5 ans et est rééditée autant que de besoins par l'administration ; dès qu'une qualification a une date de fin de validité au-delà de celle du document lui-même, ce dernier doit être réédité.

Fig.2.

Contenu de l'épreuve PPL - Avion

Nom /Prénom(s) du candidat : _____ **Nom /Prénom(s) et signature de l'examinateur :** _____ **N° 06 00290**

Date de l'épreuve : ____ / ____ / 20____ **N° d'autorisation :** F-_____ **Signature :**

L'utilisation des check-list, la conduite du vol (contrôle de l'avion à l'aide de repères visuels extérieurs, procédures de dégivrage et d'antigivrage...) s'appliquent à toutes les sections.

	Section 1 OPÉRATIONS AVANT LE VOL ET DÉPART	1ère tentative**	2ème tentative**
a	Documentation de vol et briefing météo		
b	Calcul masse et centrage ; performances		
c	Préparation de l'avion et visite pré-vol		
d	Démarrage moteur et procédure après mise en route		
e	Roulage et règles de circulation au sol ; procédure avant décollage		
f	Vérifications au décollage et après décollage		
g	Procédures de départ de l'aérodrome		
h	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie		

	Section 2 MANIABILITÉ	1ère tentative**	2ème tentative**
a	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie		
b	Changements de vitesse en vol rectiligne et horizontal.		
c	Montée : (i) Montée au meilleur taux (ii) Virages (iii) Mise en palier		
d	Virages à inclinaison moyenne (30°)		
e	Virages serrés (inclinaison 45°), incluant la reconnaissance et la sortie de virage engagé		
f	Vol très lent avec et sans braquage de volets		
g	Décrochage : (i) Décrochage en lisse et sortie avec utilisation du moteur (ii) Approche du décrochage en virage à 20°d'inclinaison en descente et en configuration approche (iii) Approche du décrochage en configuration atterrissage		
h	Descente : (i) Avec moteur et sans moteur (ii) Virages serrés en vol plané (iii) Mise en palier		

	Section 3 PROCÉDURES EN ROUTE	1ère tentative**	2ème tentative**
a	Journal de navigation, navigation à l'estime et usage de la carte		
b	Tenue de l'altitude, du cap, de la vitesse.		
c	Orientation, calcul et révision des estimées, tenue du journal de navigation		
d	Déroutement vers un aérodrome de dégagement (planification etmise en œuvre)		
e	Utilisation des moyens de radionavigation		
f	Contrôle de la capacité élémentaire au vol aux instruments (virage de 180° en IMC simulé)		
g	Gestion du vol (vérifications, systèmes, carburant et givrage carburateur, etc...)		
h	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie		

** S/I : inscrire pour chaque rubrique à effectuer S pour satisfaisant et I pour insatisfaisant

	Section 4 PROCÉDURES D'APPROCHE ET D'ATTERRISSAGE	1ère tentative**	2ème tentative**
a	Procédures d'arrivée sur l'aérodrome		
b	* Atterrissage de précision (terrain court), atterrissage vent de travers si les conditions le permettent		
c	* Atterrissage sans volets		
d	* Approche, moteur au ralenti (dans le cas d'un avion monomoteur)		
e	Touch and go		
f	Remise des gaz à faible hauteur		
g	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie		
h	Actions après le vol		

	Section 5 PROCÉDURES ANORMALES ET D'URGENCE	1ère tentative**	2ème tentative**
	Les exercices de cette section peuvent être combinés avec ceux des sections 1 à 4		
a	Simulation de panne de moteur après décollage (dans le cas d'un avion monomoteur)		
b	* Simulation d'atterrissage forcé (dans le cas d'un avion monomoteur)		
c	Simulation d'atterrissage de précaution (dans le cas d'un avion monomoteur)		
d	Urgences simulées.		
e	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie, conduite du vol		

	Section 6 VOL ASYMÉTRIQUE SIMULÉ ET ITEMS PERTINENTS DE LA QUALIFICATION DE CLASSE OU DE TYPE	1ère tentative**	2ème tentative**
	Les exercices de cette section peuvent être combinés avec ceux des sections 1 à 5 :		
a	Simulation de panne moteur après le décollage (à une altitude de sécurité, sauf si elle est effectuée dans un simulateur)		
b	Vol asymétrique : approche et remise de gaz		
c	Vol asymétrique : approche et atterrissage complet		
d	Arrêt moteur volontaire et redémarrage		
e	Liaison ATC : respect des instructions, procédures de radiotéléphonie, conduite du vol		
f	A l'appréciation de l'examinateur, tous les items pertinents de l'épreuve d'aptitude de la qualification de classe ou de type parmi la liste ci-dessous peuvent être inclus : (i) Systèmes de l'avion comprenant l'utilisation du pilote automatique. (ii) Utilisation du système de pressurisation. (iii) Utilisation des systèmes dégivreurs et antigivreurs		
g	Questions orales.		

*** Certains de ces exercices peuvent être combinés à l'appréciation de l'examinateur (FE).**

Réf : FC 47 - Juin 2006

FACTEURS HUMAINS

LES FACTEURS HUMAINS ET LA SÉCURITÉ DU VOL

Ce chapitre répond à une exigence réglementaire. Mais cette exigence, et ce chapitre, répondent surtout à un besoin de sécurité.

La sécurité de l'aviation générale n'est pas très bonne, et ne progresse guère. En France, elle n'est guère meilleure que les mauvaises composantes de la sécurité routière, comme celle des deux-roues. En ne considérant que les seuls avions, il s'y produit bon an mal an 300 accidents, qui détruisent environ 50 machines et font environ 60 morts. Ce qui fait de l'ordre de **cinq morts pour cent mille heures de vol**. C'est par exemple un taux double de celui des États-Unis ou de la Grande-Bretagne.

La performance des hommes est au cœur de la sécurité. Il est devenu banal de dire que les trois-quarts environ des accidents aériens comptent parmi leurs causes une implication de l'équipage. Ce constat, fort ancien, est valable pour l'aviation générale aussi bien que pour l'aviation de ligne.

En France, le Bureau d'Enquêtes et d'Analyses compte environ 67 % de causes « équipage » sur l'ensemble des causes recensées.

On en a souvent déduit que **les pilotes** étaient la cause principale d'insécurité. On leur a reproché de faire des erreurs et ne pas respecter les procédures (et c'est vrai que le respect des procédures est un élément décisif de la sécurité). Inversement, on attribuait les « vraies » améliorations de la sécurité au progrès technique. Mais à la réflexion, les choses ne sont pas si simples.

La proportion des accidents attribués au pilote varie très peu en fonction des machines. Par exemple, les statistiques attribuent autant d'accidents (environ 75 %) aux pilotes d'hélicoptères qu'à ceux des avions de ligne. Pourtant les fiabilités techniques de ces machines diffèrent considérablement. Ceci montre que la relation entre les défaillances techniques, les erreurs humaines et les accidents est complexe. Classifier tel accident comme étant d'origine technique ou humaine est donc une question d'interprétation du rôle des hommes dans la sécurité aérienne.

On tend aujourd'hui à interpréter différemment **le rôle des hommes dans la sécurité** aérienne. Les progrès réalisés par les sciences humaines (physiologie, psychologie, sociologie) permettent de dépasser certaines visions culpabilisantes de l'erreur humaine, pour appréhender dans toute leur richesse les extraordinaires capacités d'adaptation des hommes, avec un prix à payer (les erreurs), mais aussi un bénéfice irremplaçable pour la sécurité.

Or les processus d'adaptation des hommes prennent en compte leur **savoir sur eux-mêmes**. Les sportifs de haut niveau le savent : pour mieux progresser, ils se regardent au magnétoscope. C'est la raison fondamentale de ce chapitre : il voudrait vous tendre un **miroir** des mécanismes profonds de votre pilotage, de vos qualités et de vos défauts, de vos possibilités et de vos limites.

Etudier les « Facteurs Humains », c'est étudier les capacités et les limites des hommes.

NOTIONS DE BASE DE PHYSIOLOGIE AÉRONAUTIQUE

Tous les êtres vivants ont des caractéristiques physiologiques adaptées à leur environnement naturel. Les hommes sont adaptés à la vie sur la surface de la terre, et non pas aux conditions qui résultent du vol et de l'altitude.

Les effets de l'altitude

Hypoxie d'altitude

Les globules rouges du sang apportent aux tissus de l'organisme l'oxygène indispensable à leur survie, grâce à une molécule complexe : **l'hémoglobine**. L'hémoglobine se charge d'oxygène dans les poumons, plus ou moins complètement selon la pression partielle de l'oxygène dans l'air respiré. Quand la pression atmosphérique diminue, la **pression partielle** de l'oxygène diminue. Il en résulte une diminution d'apport d'oxygène aux tissus, dont les manifestations s'appellent **l'hypoxie**.

L'hypoxie dépend de trois facteurs : **l'amplitude** de la diminution de pression, la **vitesse** de cette diminution, et l'état de **santé** des individus.

Plus on monte, plus l'hypoxie est importante. Elle commence à se faire sentir chez les individus normaux à partir de 10 000 ft environ pour les vitesses

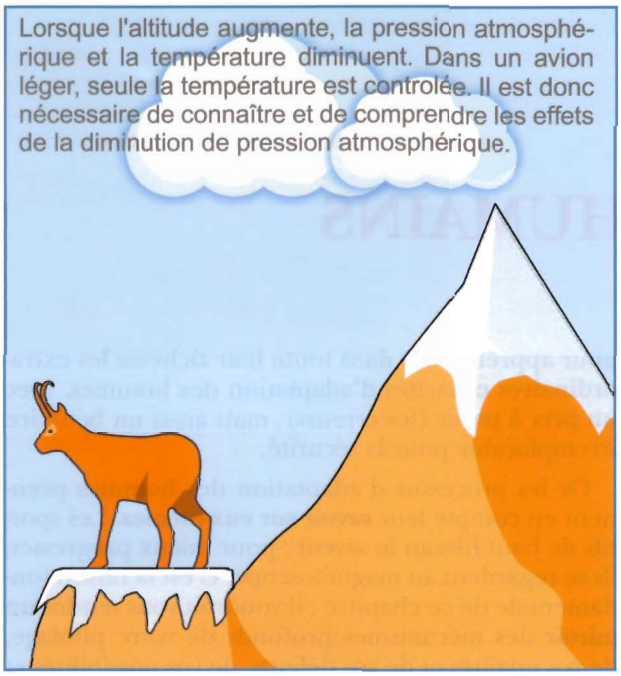


Fig. 3

ascensionnelles communes (500 ft/mn). Pour des ascensions lentes, la tolérance est meilleure (exemple : 5 à 15 jours d'adaptation en alpinisme). La réglementation limite en conséquence les niveaux de vol autorisés pour les avions non pressurisés à 12 500 pieds. Les individus atteints d'insuffisances respiratoires ou de pathologies cardiaques comme l'angine de poitrine peuvent être quant à eux incommodés dès les environs de 4 500 pieds.

Tableau des signes cliniques de l'hypoxie en fonction de l'altitude

Altitude	Signes cliniques
12 000 pieds	maux de tête, fatigue
18 000 pieds	maux de tête, somnolence, perturbations visuelles, troubles du comportement, perte de coordination
22 000 pieds	palpitations, hyperventilation, collapsus, perte de conscience
25 000 pieds	convulsions, collapsus

(source : Lufthansa)

Pour voler au-dessus de 12 500 pieds il est nécessaire de compenser la diminution de la pression partielle d'oxygène, soit en pressurisant l'avion, soit en apportant un complément d'oxygène aux occupants grâce à l'emploi d'un masque.

Les exigences en matière d'équipement en oxygène et les règles d'utilisation sont développées en page 332.

Temps de conscience utile

En cas de décompression rapide suite à une rupture ou à une panne du dispositif de pressurisation, ou en cas de panne de la distribution d'oxygène, l'hypoxie apparaît et son effet sur les comportements évoque une intoxication alcoolique : euphorie, altération du jugement, troubles de la mémoire. Il s'y ajoute une augmentation des fréquences cardiaque et respiratoire.

On appelle « **temps de conscience utile** » la durée pendant laquelle un individu conserve ses facultés mentales. Il est de l'ordre de 2 minutes à 25 000 pieds en cas de décompression explosive. Il faut alors effectuer une descente rapide vers un niveau inférieur à 10 000 pieds.

Les pilotes de planeur, surtout en environnement montagneux, volent souvent plusieurs heures à altitude élevée (entre 1 500 et 3 500 m) dans une atmosphère turbulente, et sous une verrière surchauffée. L'hypoxie s'ajoutant alors à la fatigue et à la déshydratation, leurs performances mentales peuvent s'en trouver grandement affectées.

Barotraumatismes

La baisse de la pression ambiante liée à l'augmentation d'altitude provoque une expansion des gaz présents dans les différentes cavités corporelles. Cette expansion peut provoquer certains incidents physiologiques appelés barotraumatismes, qui peuvent concerner :

- l'oreille externe et moyenne (otite) ;
- l'oreille interne, comprimée par l'augmentation de pression dans l'oreille moyenne, provoquant alors des vertiges ;
- les dents, en cas de carie mal traitée ;
- les sinus, en cas de malformation ou d'inflammation ;
- le tube digestif (les douleurs peuvent aller jusqu'à provoquer la syncope).

Le seul remède en cas d'incapacitation par barotraumatisme est la descente.

Les effets des accélérations

La dynamique du vol soumet l'organisme des occupants d'un aéronef à des accélérations complexes qui peuvent se décomposer suivant trois axes :

- l'axe avant arrière : accélérations longitudinales et accélérations angulaires en roulis ;
- l'axe droite-gauche : accélérations latérales et accélérations angulaires en tangage ;
- l'axe tête-pieds : accélérations radiales et accélérations angulaires en lacet.

En aviation générale, seules les accélérations radiales (facteur de charge) sont susceptibles de provoquer des effets physiologiques importants. Cependant toutes les autres peuvent être à l'origine d'illusions sensorielles.

Les **accélérations radiales** déforment les organes mous et modifient les conditions de la circulation sanguine verticale. Un facteur de charge positif augmente la pression sanguine au-dessous du cœur et la diminue au-dessus. La pompe cardiaque a des difficultés à faire remonter le sang des membres inférieurs vers le cerveau. Un facteur de charge négatif provoque au contraire un afflux de sang vers le cerveau.

Les effets dépendent de la durée de l'accélération et de sa vitesse d'installation. Le tableau ci-après donne les effets d'un facteur de charge permanent d'installation progressive :

+ 2G	sensation de compression tête et membres lourds, à mobilité réduite
+ 3G	sensations précédentes accentuées, augmentation des fréquences cardiaque et respiratoire
+ 4G	perte de la vision périphérique altération de la vision centrale (voile gris)
+ 5G	perte de la vision centrale (voile noir)

(source : Médecine Aérospatiale, Paris, 1990, p. 123-135)

La perception

Complémentarité des sens et sélectivité de la perception

Notre représentation mentale de la réalité est « fabriquée » par notre cerveau qui utilise notamment les informations issues de nos sens : la vision, qui est prépondérante, mais également l'audition, les mécanismes de l'équilibre, la proprioception *(cf. § 2.3.5)*.

Une caractéristique commune à tous nos sens est leur **sélectivité**.

D'abord ils n'utilisent qu'une infime partie des grandeurs physiques utilisables. Par exemple nos yeux ne sont sensibles qu'à une minuscule gamme de longueurs d'ondes électromagnétiques (la lumière visible : de 0,4 à 0,8 microns). Nos oreilles ne sont sensibles qu'aux fréquences sonores comprises entre 50 Hz et 16 000 Hz environ, et cette sensibilité diminue avec l'âge.

Ensuite leur efficacité est limitée à certains **champs** dans l'espace. Notre champ visuel est limité à 200 ° environ.

Enfin notre cerveau **filtre** les signaux qui lui parviennent de nos sens pour ne retenir que ceux qui concernent le sujet de notre attention. Enregistrez votre conversation au magnétophone : vous y découvrirez des dizaines de bruits parasites, comme celui d'un avion ou d'une voiture qui passent, et que personne n'avait entendus sur le moment.

La vision

La vision est le système sensoriel dominant pour notre représentation de la réalité. On estime que plus de 70 % de l'information nous parvient par ce canal. Elle est aussi dominante pour l'orientation spatiale (notre représentation de notre situation dans l'espace). C'est un sens décisif pour le pilotage.

Le système visuel comporte un système optique, doté d'un dispositif « autofocus » de mise au point (**l'accommodation**), capable de **s'adapter** à la lumière ambiante (grâce à l'iris) et de s'orienter automatiquement pour la poursuite d'une cible ou le suivi d'un circuit visuel. Ce dispositif optique forme une image (plane) du monde sur les rétines.

La **rétine** est un analyseur de lumière à la structure très complexe. Elle est composée de multiples couches de cellules nerveuses spécialisées. En surface se trouvent deux types de cellules photosensibles. Les **cônes** permettent la vision des détails et des couleurs. Ils sont inactifs en vision nocturne. Les **bâtonnets** servent pour la vision des grandes formes et des mouvements, y compris en faible lumière (la nuit).

La vision comporte plusieurs **champs concentriques** qui remplissent des fonctions différentes. Seule la **vision centrale** est capable de percevoir les détails fins de l'environnement, et les couleurs. Elle couvre un champ très restreint, de l'ordre de 2 degrés d'ouverture. Ceci correspond à un petit cercle d'environ 3 centimètres de diamètre à la distance d'un tableau de bord. Au centre de ce champ nous disposons de l'acuité visuelle maximum. Si vous avez l'impression de voir nettement tout le panneau d'instruments, c'est que votre œil balaie en permanence des directions différentes, et que votre cerveau enchaîne ces micro-fixations comme les images d'un film.

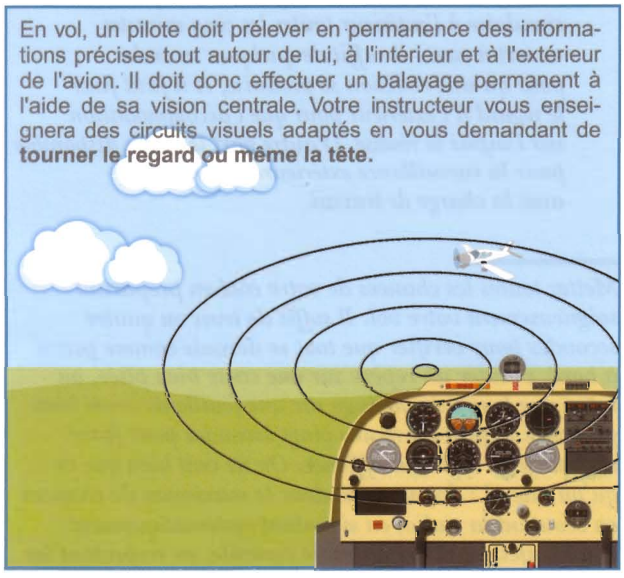


Fig. 4
Les champs de visuels. Pilotage par références extérieures.

L'acuité visuelle maximum, c'est-à-dire la taille angulaire du plus petit détail perceptible, est d'environ 1 minute d'angle pour un individu normal (10/10). Elle se dégrade en cas de défaut optique de l'œil (myopie, hypermétropie, astigmatisme), ou en cas de défaut d'accommodation (presbytie). Elle baisse avec l'âge (1/10 tous les dix ans au-dessus de 50 ans) et avec certaines maladies (diabète). L'acuité visuelle dépend du contraste de luminosité et de couleur entre l'objet et le fond. Vous détecterez de très loin un avion blanc volant sur un fond sombre, alors que de beaucoup plus près, vous ne verrez pas ce même avion sur un fond de nuage clair.

La vision et la prévention des collisions

Pour une bonne part, l'évitement des collisions entre aéronefs de l'aviation légère repose sur le principe « voir et être vu ». En réalité, ce principe est entaché de sérieuses limitations. Il se produit en moyenne deux collisions en vol chaque année en France. Lors d'une étude américaine sur le sujet, la détection du conflit n'est réellement survenue que dans 56 % des cas.

Les raisons tiennent d'abord à la difficulté de la tâche visuelle supposée. Le repérage d'un aéronef en trajectoire de collision suppose un balayage attentif et quasi permanent d'un champ visuel par ailleurs encombré d'obstacles (montants de pare-brise, etc.). La taille apparente de la menace reste longtemps très faible ; son contraste sur fond de ciel ou de sol peut être très faible, et sa position relative est stationnaire en trajectoire de collision. Ce sont là toutes les conditions pour ne pas attirer l'attention, et un insecte écrasé sur le pare-brise peut masquer un aéronef pratiquement jusqu'au moment où il est trop tard pour l'éviter.

Mais de plus, le pilote doit partager son temps entre la surveillance extérieure et la surveillance intérieure. Le passage de l'une à l'autre implique une accommodation importante, et parfois une réadaptation à des luminosités différentes. Il faut donc gérer cette alternance. Jeter un coup d'œil circulaire à l'extérieur toutes les cinq minutes ne sert à rien : il suffit de quelques secondes pour qu'une collision se produise, et il faut fixer le regard à l'extérieur pour que l'accommodation sur l'infini se réalise. D'autre part le temps disponible pour la surveillance extérieure décroît avec la charge de travail.

Mettez toutes les chances de votre côté en préparant soigneusement votre vol. Il suffit de trois ou quatre secondes pour vérifier que tout se déroule comme prévu à bord, valider un repère sur une carte bien pliée, ou noter une heure de passage sur une feuille de route bien préparée. Il faut au moins vingt secondes pour faire un balayage extérieur efficace. On ne voit bien que ce qu'on attend : donnez-vous donc le maximum de chances en écoutant la radio, en signalant systématiquement votre trajet, en interrogeant le contrôle, en respectant les trajectoires prévues. Rendez votre avion visible : utilisez les phares, les feux à éclats, le transpondeur. Faites participer vos passagers à la surveillance extérieure.

La **vision périphérique** est spécialisée dans la perception des mouvements et des contrastes. Elle n'est pas capable de percevoir des détails ou les couleurs. Mais l'une de ses fonctions est d'attirer l'attention sur ce qui se passe en bordure du champ visuel : le sujet tournera alors son regard vers la perturbation pour regarder en vision centrale. Le **mouvement ou le changement de contraste** sont donc nécessaires pour attirer l'attention.

La vision périphérique sert également de référence d'horizontalité. Elle est la première à se dégrader en cas de facteur de charge élevé, sous l'effet de l'hypoxie, ou celui de la fatigue.

En vol sans visibilité on ne peut plus utiliser la vision périphérique. Ses informations sont remplacées par celles fournies par les instruments (en particulier l'horizon artificiel). Mais celles-ci sont lues en vision centrale. Ceci nécessite une prise d'information consciente, par opposition au fonctionnement inconscient de la vision périphérique. Une certaine charge de travail en résulte inévitablement, et un entraînement est nécessaire.

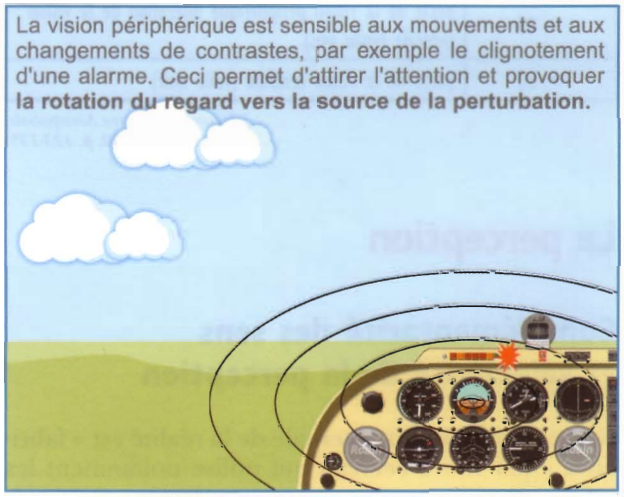


Fig. 5
Les champs de visuels, Pilotage par références instrumentales.

La **vision du relief** et de la profondeur constitue une capacité déterminante pour un pilote : elle seule lui permet de contrôler sa trajectoire, et notamment d'atterrir. Cette « vision » du monde en trois dimensions est « inventée » par notre cerveau à partir de multiples informations (rappelez-vous que les images formées sur les rétines sont planes !). C'est en intégrant les différentes composantes de la vision (centrale, périphérique, etc.) et en les mélangeant à des informations issues des autres sens (équilibration), et de la mémoire, que notre cerveau génère l'impression de « voir » le monde en trois dimensions. Jusqu'à 100 mètres, c'est surtout la vision binoculaire qui donne une perception de la profondeur.

En vol, des informations d'ordre plus dynamique s'ajoutent pour construire une perception de la situation dans l'espace plus précise et évolutive.

L'atterrissage est particulièrement exigeant de ce point de vue.

La vision et l'atterrissage

Un bon atterrissage est conditionné par une approche correctement stabilisée. En l'absence de référence instrumentale (ILS) ou d'aide visuelle (PAPI), le pilote doit contrôler sa trajectoire grâce à la vision du monde extérieur. En début d'approche, il est nécessaire de s'aider d'une procédure, par exemple un tour de piste standard, pour se caler sur un angle d'approche convenable. Cet angle doit ensuite être conservé. Mais à angle d'approche constant, la perspective de la piste évolue avec la distance, ce qui tend à faire creuser les trajectoires.

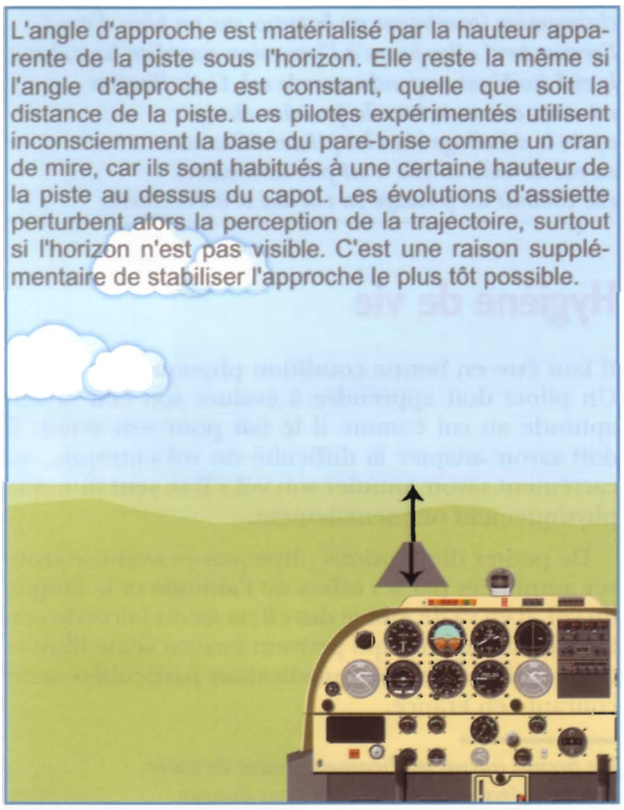


Fig. 6

Lorsqu'on est suffisamment proche de la piste (2/3 de NM environ pour les vitesses d'approche d'avions légers), le point d'aboutissement de la trajectoire devient visualisable. Ceci permet de recaler la trajectoire d'approche et d'atterrir sur la piste. De nuit et en l'absence de repère permettant de matérialiser l'horizon, le pilote aura tendance à apprécier son angle d'approche en maintenant un angle constant entre les feux matérialisant le début de piste et la fin de piste ; il suit alors un arc capable qui l'amène sournoisement sous le plan d'approche souhaité et faire ainsi une approche trop plate en finale au risque de passer même sur la surface de dégagement de la piste et d'accrocher des obstacles situés dans la trouée d'atterrissage (cf. fig. 7).

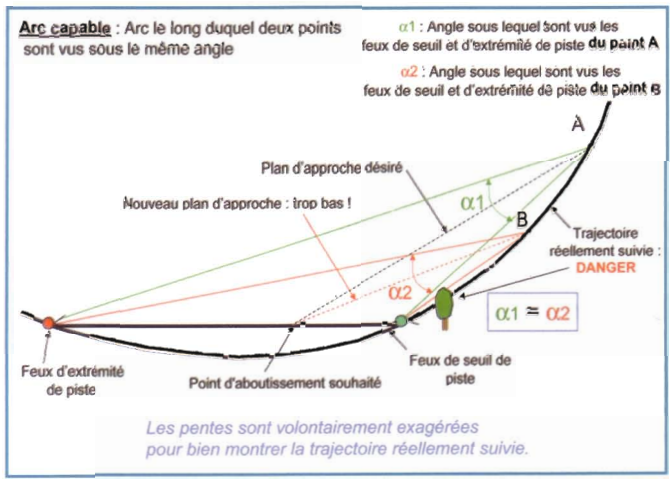


Fig. 7 – *Mise en évidence du danger lors d'une approche le long d'un arc capable*

L'équilibration

Le système visuel intègre dans la fabrication de ses représentations une **référence de verticale**. Il la demande à l'**appareil vestibulaire**, situé dans l'oreille, et qui comprend des détecteurs d'accélération. Trois canaux dits « semi-circulaires » détectent les accélérations angulaires sur les axes de tangage, roulis et lacet par rapport à la tête. Deux autres organes détectent les accélérations linéaires : l'utricule sur l'axe avant/arrière de la tête, et le saccule sur l'axe haut/bas.

Comme tous les détecteurs à inertie, le système vestibulaire ne perçoit pas les mouvements, mais les mises en mouvement (ou les arrêts), c'est-à-dire les accélérations. Et il ne perçoit que les accélérations qui dépassent un certain seuil. Ceci est à l'origine de nombreuses illusions sensorielles.

L'audition

L'audition est la faculté d'entendre certaines vibrations de l'environnement (en général, l'air ambiant). Ces vibrations, collectées et concentrées par le pavillon de l'oreille externe, excitent tout d'abord une membrane mince, le tympan, dont les vibrations sont transmises à une série d'osselets situés au niveau de l'oreille moyenne, lesquels attaquent un détecteur spécialisé situé dans l'oreille interne : la cochlée. Celle-ci transforme les vibrations en signaux physiologiques, qui sont alors transmis par le nerf auditif au cerveau qui les interprétera comme des « sons ».

Le système auditif même en bon état n'entend qu'une gamme limitée de fréquences sonores (de 50 à 16 000 Hz environ). Une exposition à une énergie sonore très élevée (un bruit bref mais très violent tel que celui d'une explosion, ou une longue exposition à un bruit élevé tel que celui d'un avion à hélice mal insonorisé) endommage la cochlée. Il en résulte une perte généralement irréversible de performance auditive.

L'oreille moyenne est une cavité mise à l'air libre par l'intermédiaire des trompes d'Eustache qui com-

muniquent avec le nez et la gorge et dont l'extrémité souple joue le rôle de valve. Cependant celle-ci fonctionne bien en cas de diminution de pression externe (ascension) mais se bloque généralement dans le cas contraire (descente) ou en cas d'inflammation O.R.L. L'équilibre des pressions de part et d'autre du tympan n'est alors plus assuré, et il en résulte des douleurs, voire des traumatismes (otites barotraumatiques).

La proprioception

Les muscles, les tendons, les articulations, la peau, sont dotés de détecteurs nerveux qui donnent au cerveau des renseignements inconscients concernant les efforts musculaires, la position des membres, la vitesse et l'accélération des mouvements des articulations, les accélérations subies. Ces informations constituent la **proprioception**, qui participe à la genèse de l'orientation spatiale et au contrôle des mouvements. Elle joue un rôle peu conscient mais important dans le pilotage. On parle de « pilotage aux fesses » pour désigner par exemple sa contribution au contrôle de la symétrie du vol.

Les illusions sensorielles en fonction des phases de vol

Dans l'immense majorité des cas, nos systèmes sensoriels nous font convenablement percevoir la réalité. Mais dans certaines situations, leurs caractéristiques, ou leurs principes de fonctionnement, sont tels qu'ils se trompent, ou plutôt nous trompent. Nous nous limiterons ici aux illusions susceptibles de concerner la sécurité des vols.

En **vol aux instruments**, et tout particulièrement durant la phase initiale d'apprentissage, se produit une forme d'illusion qui résulte de l'**interaction entre le système vestibulaire et le système visuel**.

Par exemple une mise en virage effectuée lentement produit des accélérations angulaires inférieures aux seuils de détection du système vestibulaire : celui-ci continue alors par exemple à envoyer au cerveau l'information « ailes horizontales ». En sortie de virage, la situation s'inverse. Autre exemple : en virage prolongé les détecteurs du système vestibulaire reviennent à leur position de repos : la sensation de rotation disparaît.

Il en résulte des contradictions avec ce que disent les yeux (horizon artificiel), ou d'autres sensations (facteur de charge ressenti). Ces contradictions produisent des impressions désagréables qui peuvent aller jusqu'à la **désorientation** totale, et au **vertige**. Dans ce cas la règle de base consiste à croire les instruments. Pour cela il faut y être entraîné.

Les statistiques d'accidents mortels s'accroissent année après année de pilotes (et de leurs passagers) qui se croyaient capables de contrôler un vol aux instruments en conditions IMC réelles sans l'avoir vraiment appris, c'est-à-dire sans être qualifiés pour le vol aux instruments.

De nuit **un point lumineux isolé** peut être vu affecté d'une position et d'un mouvement très différent de la réalité (essayez d'atteindre du premier coup un interrupteur lumineux dans le noir total...). Il peut en résulter l'impression d'un conflit de trajectoire et des manœuvres d'évitement inutiles.

Les **approches de nuit** effectuées au-dessus d'un environnement sans lumière conduisent systématiquement à une surévaluation de la hauteur.

Le **vol de nuit** peut également provoquer la perception de **faux horizons**. Une ligne de nuages, ou surtout de lumière étendue sera prise pour l'horizon, même si elle n'est pas horizontale (erreur d'inclinaison) ou si elle est située sur la crête d'une chaîne montagneuse (erreur d'assiette).

Par nuit claire au-dessus d'une zone de lumières clairsemées (campagne ou bateaux sur un plan d'eau), l'erreur peut aller jusqu'à l'inversion complète haut/bas : le ciel étoilé est confondu avec le sol. Cette illusion est assez courante lors du premier virage après le décollage chez les pilotes débutants en vol de nuit. Si elle n'est pas surmontée, elle conduit au passage en vol dos et à l'accident.

Hygiène de vie

Il faut être en bonne condition physique pour voler. Un pilote doit apprendre à évaluer son état et son aptitude au vol comme il le fait pour son avion. Il doit savoir adapter la difficulté du vol entrepris, ou carrément savoir annuler son vol s'il se sent diminué physiquement ou mentalement.

De petites diminutions physiques peuvent se trouver amplifiées par les **effets de l'altitude** et la fatigue du vol. Il en va de même des effets secondaires de certains médicaments, qui peuvent être en vente libre et donner lieu à une **automédication** particulièrement courante en France.

Ne prenez aucun médicament avant de voler ans vous être assuré que c'est sans danger auprès de votre médecin ou de votre pharmacien.

L'**alcool**, et bien entendu les autres drogues, constituent un autre risque grave pour la sécurité des vols en aviation générale. L'altitude démultiplie leurs effets et les dégradations de performance sont considérables : augmentation des temps de réflexe, altération des capacités de jugement, perturbation de l'appréciation des risques, aggravation des illusions sensorielles. Il n'est pas nécessaire d'être en état d'ébriété notable pour cela : une alcoolémie de l'ordre de 0,3 g/l y suffit.

Pour un individu de 70 kg, c'est un apéritif et deux verres de vin pris lors d'un repas 6 heures avant le vol. Proscrivez donc de façon absolue tout alcool avant de voler. En avion, un seul verre, c'est déjà « bonjour les dégâts ! ». Remplacez ce slogan par celui-ci : « au moins huit heures d'un verre aux manettes ».

Respectez également des règles d'hygiène alimentaire pour éviter des indispositions digestives en vol (savez-vous qu'elles viennent en tête des causes d'incapacité en vol des pilotes de ligne ?).

Prenez une alimentation équilibrée avant de voler. Évitez une alimentation trop riche, notamment en matières grasses (lipides). Évitez également de ne prendre que des sucres rapides : ils seront consumés rapidement et vous risquez de vous retrouver en hypoglycémie. La prise alimentaire doit comprendre des sucres lents (pâtes, céréales), des protides et des lipides (fromage, jambon, œufs). Ne volez pas en ayant sauté un repas, surtout le petit déjeuner.

Les performances intellectuelles : représentation mentale, attention, décision, jugement

Pour voler, il faut pouvoir **se représenter la réalité et agir** sur elle. Le vol a sa propre dynamique : quoi qu'on fasse, l'avion avance. Il faut donc réactualiser en permanence une « compréhension » convenable d'une situation qui change à chaque instant : on ne peut pas piloter longtemps sans comprendre. Il faut aussi agir sur le cours des événements à des instants imposés : l'avion ne volera pas très longtemps tout seul. Il faut donc prendre des décisions.

La représentation mentale

Comprendre

Comprendre, c'est entretenir dans sa tête une certaine **correspondance avec la réalité**, une cohérence suffisante (pour survivre) avec le monde extérieur. Mais « voir, c'est croire » et nous avons du mal à faire une différence entre nos représentations mentales et la réalité. Tout au plus, pouvons-nous admettre que nos yeux nous montrent les choses comme une caméra de télévision qui projetterait ses images dans notre tête. Mais la réalité est infiniment plus complexe.

Même une simple caméra prend en fait une succession d'images fixes. De plus elle ne montre que ce vers quoi on la dirige. Et il y a à chaque instant des millions de façons d'orienter et de régler sa caméra. Mais surtout, une caméra ne donne pas du **sens** à ce qu'elle « voit ». Or aux commandes de notre avion, nous devons en permanence donner un sens à une partie au moins de ce que nous percevons.

Pour cela, nous **comparons** en permanence le résultat de nos perceptions avec un résultat attendu. Il en découle quelque chose de fondamental : nous **filtrons** la réalité en fonction de ce que nous cherchons à percevoir. Et nos **attentes** dépendent essentiellement de trois choses :

- ce que nous sommes ***en train de faire*** (notre action présente) ;
- ce que nous ***savons*** (nos connaissances, notre expérience, ce qui vient de se passer) ;
- ce que nous avons ***l'intention*** de faire (notre action future).

Il n'y a donc **pas de perception indépendante d'une compréhension, ni de compréhension indépendante de l'action** passée, présente et future. Nous pouvons construire nos représentations mentales grâce à la rémanence de nos images mentales. Celles-ci ne s'effacent pas instantanément. Elles se conservent dans une mémoire appelée **mémoire de travail**, analogue à la mémoire vive (RAM) des ordinateurs.

Comprendre pour piloter

Piloter suppose donc d'entretenir une sorte de **pari permanent** sur l'avenir. On anticipe ce qui va se passer et on planifie ce qu'on va faire, tout en validant dans le présent les prévisions passées. Pour cela nous utilisons trois sortes d'outils. Ils résultent de nos apprentissages et de notre expérience.

- Les premiers outils sont nos **connaissances profondes** sur le monde. Elles constituent des descriptions et des explications (des modèles) du monde qui nous entoure : par exemple la notion de décrochage aérodynamique. On peut utiliser ces connaissances pour comprendre les situations et inventer des solutions aux problèmes rencontrés. On parle alors de **comportement basé sur les connaissances**.

Mais cette méthode est inadaptée à l'action, car elle est lente et sujette à de nombreuses erreurs : imaginez qu'on vous explique à la perfection les principes du vol, et qu'on vous demande de but en blanc de piloter seul. Vous en seriez bien incapable. En vol, cette méthode est à proscrire, sauf pour les situations imprévisibles.

- Les seconds outils sont nos **règles**. Elles constituent des principes d'action du type « **si je constate ceci, alors je fais cela** ». Nous pouvons en déduire par un raisonnement rapide la solution d'un problème. Les **comportements basés sur les règles** permettent une économie importante de ressources mentales par rapport à la méthode précédente. Ils supposent tout de même un raisonnement, et donc de consacrer au problème une **attention** véritable.

Nous disposons de règles pour le pilotage, par exemple : « si l'incidence est très forte et que je ressente des vibrations dans le manche, ce sont des symptômes du décrochage. Je rends la main et j'augmente la puissance ».
... mais aussi pour pratiquement tout ce que nous faisons dans la vie quotidienne : faire fonctionner la photocopieuse ou la cafetière, prendre rendez-vous chez le dentiste. Certaines sont écrites dans des modes d'emploi, la plupart s'acquièrent avec l'expérience et ne sont même pas explicites.

- Les troisièmes types d'outils sont les **schémas**. Ce sont des solutions toutes faites sous forme de **sé-**

quences « **prêtes-à-agir** ». Les schémas contiennent une prédiction des grandes lignes de ce qui va se passer, les actions que nous allons effectuer, les incidents qui peuvent se produire, et la série des contrôles à effectuer en cours d'action.

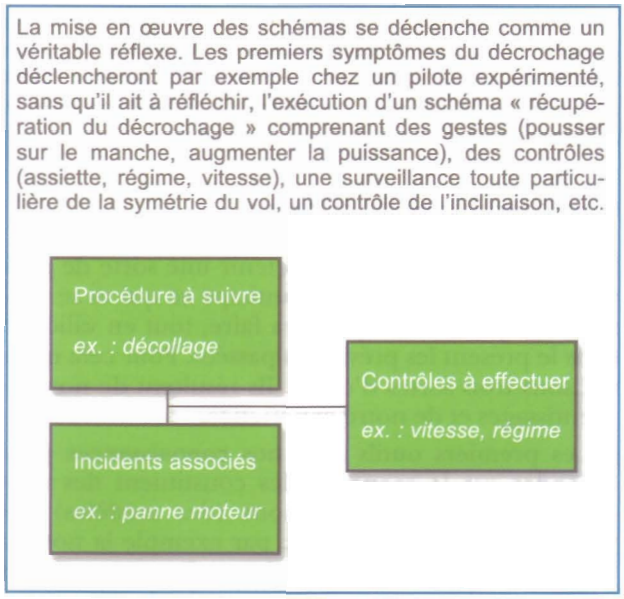


Fig. 8 – *Les composantes d'un schéma (d'après le cours Briefings).*

Plus votre expérience (votre expertise) augmente dans un domaine, plus vos connaissances se **condensent** sous forme de schémas. Il est fort probable par exemple que votre trajet domicile-travail constitue un schéma. Mais si vous cessez de pratiquer, les schémas se perdent.

L'énorme avantage des schémas est qu'ils s'exécutent en « automatique » et ne consomment pratiquement pas de ressources mentales, si ce n'est pour un contrôle périodique. On reste donc disponible pour faire autre chose. Par exemple, lors des premières leçons de pilotage, la simple tenue de la trajectoire absorbe toutes nos ressources. Pas question de pouvoir en même temps parler à la radio. Au bout de quelques dizaines d'heures, ce n'est plus un problème. Ce qui caractérise les experts, c'est qu'ils disposent de schémas pour l'essentiel de leurs tâches. Ils sont donc capables de faire « sans réfléchir » ce qui demande beaucoup de concentration aux non experts. Environ 80 % de l'activité d'un pilote expérimenté sont effectués sous cette forme « automatique ».

Nous verrons que la grande **fragilité** de ce mode de fonctionnement est l'erreur de **routine**.

Les mémoires

Ces différents outils sont stockés dans la **mémoire à long terme**. La capacité et la durée de cette mémoire sont pratiquement sans limite. Malheureusement, son **temps d'accès** est long : plusieurs secondes, et parfois beaucoup plus (retrouver un nom peut prendre plusieurs heures, quand nous n'avons pas tout simplement « oublié »).

Heureusement nous disposons d'une autre mémoire, la **mémoire à court terme**, qui est une mémoire « tampon » dans laquelle nous chargeons des informations nécessaires à l'action immédiate (comme les chiffres de la prochaine fréquence à contacter). Sa **capacité est limitée** (environ 8 items différents au maximum) et **sa durée aussi** (une dizaine de secondes). Il est donc nécessaire de noter les clairances du contrôle par écrit. Par contre le temps d'accès de la mémoire à court terme est quasi instantané.

Nous pouvons diminuer considérablement le temps d'accès à la mémoire à long terme en préactivant une partie de cette mémoire avec des informations utiles, comme une procédure ou un schéma. Le fait de préparer votre vol soigneusement, ou de « vivre » mentalement le décollage avant de l'exécuter, produit cet effet. Ceci explique que la performance en soit bien meilleure. Les sportifs de haut niveau l'utilisent régulièrement : ils répètent l'action mentalement avant d'agir.

L'attention

La quantité d'information à traiter pour **tout** percevoir, et tout comprendre à chaque instant serait **infinie**. Il faut donc faire un tri, se concentrer sur un sujet limité à la fois. Pour reprendre la métaphore du cinéma, le réalisateur ne peut pas tout montrer en même temps. Il est contraint de découper son film en plans successifs, qui traitent chacun d'un sujet limité. Notre cerveau oriente à chaque instant sa « caméra » sur le monde, en fonction de ce qu'il a « envie » ou besoin de savoir. Le mécanisme par lequel notre conscience se consacre de façon sélective à un sujet particulier s'appelle **l'attention**.

Par définition nous ne pouvons donc faire attention qu'à une seule chose à la fois. Nous pouvons malgré tout faire plusieurs choses à la fois. Pour cela nous appliquons de l'attention successivement et brièvement à chaque sujet. Tout l'art du cinéaste consiste à trouver les plans et le rythme d'enchaînement qui portent le message voulu. Tout l'art du pilote consiste à bien sélectionner et à bien enchaîner ses sujets d'attention. C'est pour vous aider à structurer efficacement un circuit d'attention vis-à-vis des paramètres du vol que votre instructeur vous apprend à respecter un circuit visuel qui passe successivement par les différents instruments, et par la surveillance extérieure. En effet il existe un lien étroit entre circuit visuel et circuit d'attention (néanmoins vous pouvez « regarder » un instrument sans le « voir »).

Nos **capacités d'attention** sont limitées par la capacité de traitement d'information (la « puissance de calcul ») de notre cerveau.

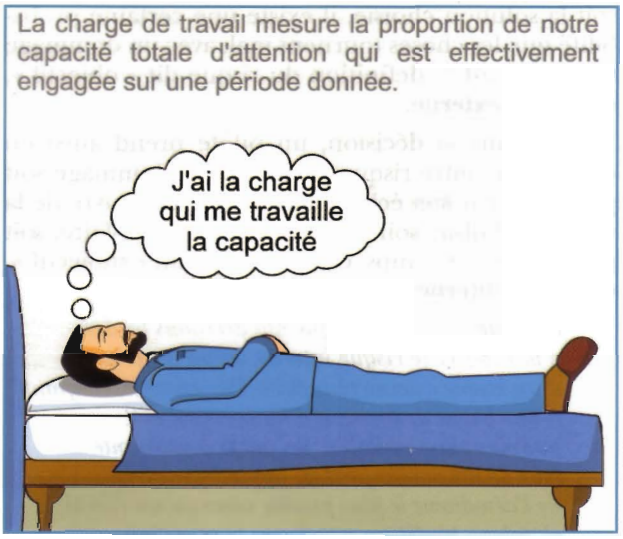


Fig. 9

S'il n'existe pas une seconde où vous ne soyez concentré sur un sujet, alors vos ressources mentales sont **saturées**.

Il se peut que votre performance soit malgré tout très bonne. Par contre vous ne tiendrez pas très longtemps à ce rythme. Et si on vous rajoutait une tâche supplémentaire, vous pourriez peut-être la prendre en compte, mais au risque d'un effondrement de la performance globale.

A l'inverse, si votre charge de travail diminue trop, votre performance diminuera aussi car votre vigilance va baisser.

Fig. 10

Les raisonnements

Pour utiliser nos connaissances et mettre en œuvre nos savoir-faire, nous disposons de la capacité de raisonnement.

Nous disposons en fait de plusieurs types de raisonnement, qui sont acquis progressivement de la petite enfance à l'âge adulte.

En particulier :

- Le **raisonnement logique**, appliqué à des objets concrets (maîtrisé vers 11-12 ans), ou de plus en plus abstraits (la logique formelle est acquise vers 16-17 ans).
- Le **raisonnement analogique**, qui permet d'appliquer à un domaine un modèle de compréhension développé ailleurs. C'est un raisonnement créatif.
- Le **raisonnement de bon sens**, basé sur l'expérience, les ordres de grandeur, les résultats habituels.

C'est celui qui vous fait dire « j'ai dû faire une erreur quelque part » quand vous trouvez un temps de vol Paris-Toulouse de 1 h 15 en préparant votre navigation en DR 400. Il se développe avec l'expérience. C'est ce qui permettra à votre instructeur de vous impressionner par sa capacité à détecter immédiatement que votre prochaine estimée est fausse !

Gestion de ses propres ressources

L'un des problèmes des pilotes est de réguler leur charge de travail pour rester dans la « plage verte » où leurs performances sont bonnes, alors que la dynamique du vol tend à imposer son rythme propre. La gestion des ressources mentales en vol utilise trois outils :

- **La planification**. Planifier, c'est d'abord **anticiper**, donc résoudre le problème à l'avance, pendant qu'on a le temps, pour s'affranchir de la contrainte du temps réel. Mais planifier, c'est aussi **simplifier** : un plan n'est jamais qu'un squelette de ce qui va se passer réellement. Simplifier en allant à l'essentiel, c'est encore une économie de ressources.
- **La confiance**. Même sur un avion très simple, tout contrôler en permanence (l'assiette, la vitesse, l'altitude, le cap, la position, le trafic extérieur, etc.) est strictement impossible. Il faut donc, en fonction des priorités du moment, naviguer efficacement entre deux risques. L'un est le risque de **manquer** une information importante entre deux contrôles si on ne surveille pas assez. L'autre est le risque de la **saturation**, des erreurs et de l'épuisement, si on essaye de tout contrôler. Le réglage de la confiance repose essentiellement sur la perception que l'on a de son propre savoir-faire.
- **L'expertise**. Nous avons vu que les experts disposent de schémas pour l'essentiel de leurs tâches, et sont donc capables de faire « sans réfléchir » ce qui demande beaucoup de concentration aux autres. L'expertise réduit donc la charge de travail.

Prise de décision et jugement

L'une des tâches essentielles du pilote est de **prendre des décisions**. Décider, c'est **choisir** entre plusieurs solutions disponibles.

Le caractère très dynamique du vol place le pilote dans un contexte de décision très « pointu ». Il faut souvent décider et agir avant un temps précis, et les décisions prises sont souvent irréversibles. La sanction de la mauvaise décision peut être dramatique.

La décision humaine est rarement entièrement rationnelle. Nos choix sont plus ou moins influencés par des critères subjectifs, des préférences, qui dépendent de la personnalité du décideur et du contexte (enjeux, risques associés). C'est vrai quand on choisit sa voiture. C'est encore vrai en vol quand on décide de se dérouter ou de poursuivre. Cela présente des inconvénients, mais aussi des avantages : cela permet des décisions intelligentes, c'est-à-dire adaptées aux circonstances, prenant en compte de façon subtile des données multiples, bien souvent floues ou même absentes.

Le **processus de décision** commence par la recherche des **informations** utiles, une **analyse** de la situation, l'inventaire des **solutions**, leur **confrontation** au savoir-faire et au temps disponibles, l'évaluation de leurs **conséquences**, le **choix** proprement dit, et le **passage à l'acte**. On désigne souvent l'ensemble de ce processus sous le terme de **jugement**.

On constate que les hommes s'écartent de façon quasi-systématique du chemin rationnel idéal.

En particulier :

- on se trompe sur la **fréquence réelle** des événements, et donc sur les risques associés : quand on est en retard, c'est bien connu, on a tous les feux rouges !
- on préfère les **solutions connues**, même si elles sont loin d'être les mieux adaptées à la situation. Ainsi on tend à emprunter un trajet déjà effectué, même s'il est inadapté à la météo du jour ;
- on recherche systématiquement les informations qui **confortent** nos décisions, et on tend à minimiser, à rejeter les signes contraires, ou à les réinterpréter (« c'est normal, c'est parce que... ») ;
- on se laisse **influencer** par l'opinion dominante du groupe auquel on appartient : on préfère admettre des idioties plutôt que de se faire marginaliser. Le bar de l'aéro-club peut être redoutable !

Ces biais de décision présentent de graves inconvénients potentiels pour la sécurité, mais aussi des **avantages**. Ils permettent une économie considérable de ressources. Le jeune pilote essaie de prendre en compte tous les aspects, se sature et ne s'en sort pas. Le pilote expert effectue un tri rapide basé sur l'expérience, ce qui lui autorise des décisions **rapides et souples**, prenant en compte de façon subtile l'essentiel d'une réalité bien souvent très complexe.

Une décision en vol est presque toujours un **calcul de risque** entre les différentes solutions. Quelle que soit la solution choisie, il existe une certaine probabilité que les choses tournent mal, avec un dommage associé. C'est la définition du risque dit « objectif », ou **risque externe**.

Mais dans sa décision, un pilote prend aussi en compte un autre risque : celui que le dommage soit provoqué par **son échec** dans la mise en œuvre de la solution choisie, soit par manque de savoir-faire, soit par manque de temps. C'est le risque dit « subjectif », ou **risque interne**.

*Des études ont montré que nos décisions tendent à **minimiser le risque interne**, même au prix d'un risque externe plus élevé. Par exemple, confronté à une baisse de pression d'huile en vol IFR par mauvaise visibilité, un pilote expérimenté (sûr de son savoir-faire en approche) atterrira ur l'aérodrome le plus proche, alors qu'un débutant cherchera plutôt un aérodrome bien équipé (ATC, ILS, radar) pour bénéficier de conditions d'approche plus faciles et d'une meilleure assistance.*

Cette prédominance du risque interne explique les difficultés de décision des pilotes ayant peu d'expérience (par exemple sur un type de machine). Ils ont du mal à **évaluer correctement leur savoir-faire**. Cela s'apprend avec le temps, en même temps que ce savoir-faire lui-même évolue.

Les statistiques d'accident montrent une augmentation très significative des risques d'accidents pour les pilotes privés entre 150 h et 300 h de vol environ.

Les **stratégies de décision** dépendent en conséquence du niveau relatif des risques internes et externes perçus. Elles oscillent entre deux opposés :

- les stratégies de **décision séquentielle**, qui consiste à découper une grande décision à long terme en une succession de décisions à court terme, en se gardant une « porte ouverte » à chaque étape intermédiaire ;

Un exemple de cette différence est fourni dans les façons d'effectuer un vol VFR avec mauvais temps sur le parcours. La première consiste à voler à basse altitude en évaluant en permanence la possibilité de poursuivre tout en préparant un dégagement vers l'aérodrome le plus proche. La seconde consiste à voler au-dessus des nuages après avoir vérifié que les conditions VFR pouvaient être maintenues pendant la montée, la croisière et la descente.

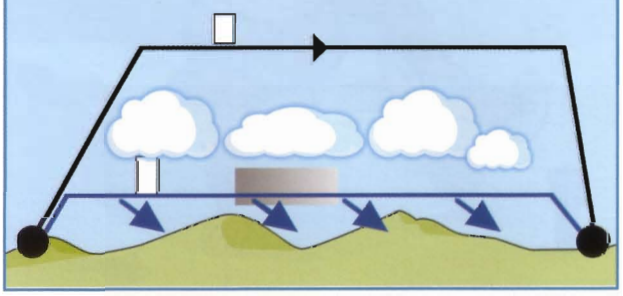


Fig. 11

- les stratégies de **décision globale**, où l'on concentre l'essentiel de l'analyse et la réflexion avant l'action, pour s'engager ensuite à fond et persévérer dans la solution retenue, qui est souvent irréversible.

*La première stratégie est plutôt celle des pilotes peu expérimentés, qui perçoivent un risque interne plus élevé (mauvaise évaluation de la météo à l'arrivée, navigation hors de la vue du sol). Le risque est une mauvaise gestion des décisions partielles, par mauvaise évaluation de l'évolution de la situation. Le pilote devient alors incapable de maintenir une porte ouverte : chaque décision partielle compromet le succès de la suivante, et le pilote s'enferme progressivement dans un entonnoir sans issue. On parle alors de « **décisions pauvres en série** ».*

*La seconde stratégie est plutôt celle des experts, suffisamment sûrs de leur savoir-faire pour construire une décision concentrée et qui anticipe beaucoup, et pour persévérer dans sa mise en œuvre. On risque en effet la **panique** (hyperactivité, viscosité mentale) si la solution retenue s'avère inapplicable comme prévue, et que le temps ou le savoir-faire manquent pour élaborer une solution de secours.*

Les stratégies de décision sont influencées par la personnalité du décideur. Une étude publiée en 1984 par l'Université de Miami (USA) faisait apparaître que les décisions dangereuses des pilotes résultent de l'influence de **5 attitudes** de base :

- **antiautoritaire** : ne me dites pas ce que je dois faire !
- **impulsif** : vite ! il faut faire quelque chose !
- **invulnérable** : ça ne peut pas m'arriver à moi ! un autre que moi se serait planté !
- **macho** : regarde-moi, tu seras impressionné !
- **résigné** : de toute façon, c'est foutu ! je le savais bien que j'ai pas de chance !

La motivation peut également modifier momentanément la relation personnelle au risque. Ainsi de nombreux accidents d'aviation générale se produisent par suite d'une obstination à poursuivre le vol malgré les évidences, du fait d'une très forte motivation pour rejoindre la destination prévue. Les raisons peuvent en être multiples : rendez-vous professionnel, refus des inconvénients (par exemple financiers) d'un déroutement, etc.

Les biais de décision sont alors amplifiés. Le pilote devient incapable de peser correctement les inconvénients certains mais mineurs d'un dégagement, et les conséquences incertaines mais dramatiques d'un accident.

La décision est au centre de votre activité de pilote. Les décisions humaines sont à la fois extraordinairement efficaces, et terriblement fragiles. Et aucune décision n'est vraiment sans importance en vol. Il suffit parfois d'un rien pour entrer dans une spirale fatale. Entraînez-vous et obligez-vous à respecter un processus de décision ordonné, structuré et sérieux. Et souvenez-vous qu'aucune décision complexe n'est possible sous une forte contrainte de temps. Alors, là encore, un seul conseil : anticipez, préparez vos vols, soyez toujours en avance sur l'avion !

VIGILANCE, SOMMEIL, FATIGUE, STRESS

La vigilance et le sommeil

Notre état de « présence au monde », c'est-à-dire notre degré d'interaction avec la réalité, est fonction du niveau d'activation de notre système nerveux central. Celui-ci peut varier de façon à peu près continue entre le sommeil profond et l'excitation extrême. On appelle vigilance l'état d'activation. Il est à noter que ce sens du mot vigilance s'éloigne du sens commun, synonyme d'attentif.

Lorsqu'on passe de l'éveil total au sommeil profond, l'activité du cerveau ne « s'éteint » pas : elle change seulement de nature. Ce changement est visible sur l'enregistrement des traces produites à la surface du crâne par l'activité électrique du cerveau, appelé électroencéphalogramme (EEG). L'activité électrique du sujet endormi se distingue de celle du sujet éveillé par la forme et surtout la fréquence des ondes. De plus le sommeil ne correspond pas à un état unique, mais comporte plusieurs stades :

- la **veille active** est caractérisée par des ondes de fréquence élevée et de faible amplitude. C'est le seul état dans lequel nous sommes capables de porter attention à un sujet particulier ;
- la **veille diffuse** est un état transitoire entre veille et sommeil. La pensée vagabonde et ne se fixe pas. Une alarme très énergique est nécessaire pour revenir à l'état de veille active ;
- le **sommeil à ondes lentes** permet la récupération de la fatigue physique accumulée pendant la période d'éveil, et la reconstitution des réserves énergétiques, y compris pour le système nerveux

Une nuit de sommeil s'organise par la succession de 4 à 6 cycles de une heure et demi à deux heures comprenant une entrée progressive dans le sommeil profond, puis un retour à un stade transitoire ou à l'éveil. En seconde partie de nuit, les cycles comprennent, de plus en plus d'épisode de sommeil paradoxal.

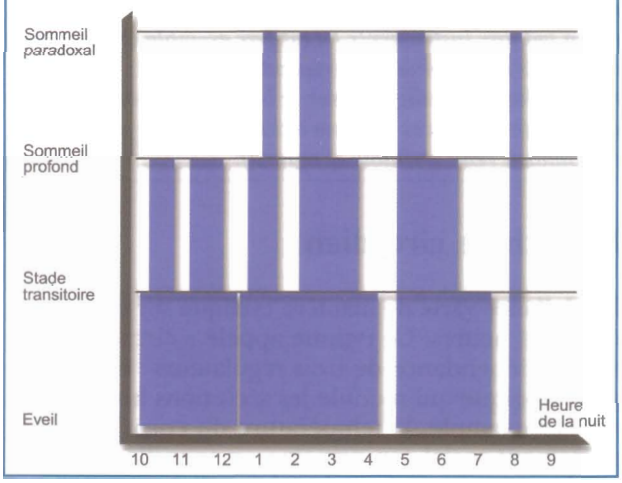


Fig. 12 – *Déroulement d'une nuit type.*

(glucogène stocké dans les cellules nutritives des neurones) ;

- le **sommeil à ondes rapides** présente un EEG similaire à celui de l'éveil et s'accompagne de mouvements oculaires rapides. Par contre, le tonus musculaire est totalement absent, d'où son autre appellation de sommeil **paradoxal**. Ce sommeil est le siège des rêves. On pense qu'il joue un rôle crucial dans la mémorisation des connaissances acquises au cours de la journée. Il permet la restructuration de la mémoire pour prendre en compte les nouvelles données, en maintenant la cohérence générale de la pensée. Un sujet privé de sommeil paradoxal perd son équilibre émotionnel, devient irritable et perd ses capacités d'attention et de jugement.

Personne ne peut se passer de dormir. Les **besoins** en durée de sommeil varient cependant d'un individu à l'autre. Les « petits dormeurs » se contentent de moins de six heures, alors que les « gros dormeurs » ont besoin de neuf heures ou plus. Mais ces deux populations représentent chacune moins de 5 % de la population globale. Environ les trois-quarts des gens dorment entre sept et huit heures.

Le besoin en sommeil est une donnée génétique individuelle. Il est plus fort pendant les premières années et diminue au cours de l'adolescence. Il reste relativement stable de l'adolescence à la vieillesse. Par contre le profil du sommeil évolue : chez le vieillard, il est plus léger et s'accompagne de multiples réveils nocturnes. On parle de « vieillissement » du sommeil. L'alcoolisme provoque un vieillissement du sommeil. L'anxiété ou la perception d'un danger perturbent également le sommeil.

Il est illusoire de vouloir réduire significativement son temps de sommeil. Toute tentative conduit à une dette qu'il faudra payer d'une façon ou d'une autre : le besoin en sommeil augmente en cas de fatigue.
Le manque de sommeil a des conséquences inévitables sur votre performance de pilote. Il provoque une sensation de fatigue physique, de tête lourde, qui s'accompagne de troubles de l'attention et de la mémoire. Vous êtes beaucoup plus vulnérable aux illusions sensorielles, tout particulièrement en vol de nuit ou en vol aux instruments (il est par exemple arrivé plus d'une fois qu'un pilote expérimenté commence un décollage en s'alignant sur le balisage de bord de piste qu'il confondait avec la ligne axiale). Enfin le manque de sommeil rend irritable et agressif.

Le rythme circadien

La **vigilance varie de manière cyclique** sur une période de 24 heures. Ce rythme appelé « circadien » est sous la dépendance de trois régulateurs : une horloge biologique qui module les sécrétions hormonales (et par exemple, la température du corps), le comportement social (en principe on travaille le jour et on dort la nuit), et le cycle solaire (l'alternance jour-nuit).

Ce rythme circadien de la vigilance se traduit par une variation de la performance de pilotage :

- les performances liées aux activités sensori-motrices (exemple : piloter une trajectoire) suivent l'évolution de la température corporelle : elles sont minimales vers 6 h du matin et maximales vers 18 h ;
- les performances intellectuelles réclamant de l'attention (comme des opérations arithmétiques ou un raisonnement logique) sont au contraire plutôt meilleures le matin.

La fatigue

La fatigue est d'abord une sensation : ses symptômes peuvent être d'ordre physique (lourdeur ou douleur musculaire) ou d'ordre psychologique (difficulté de concentration), ou les deux. La fatigue est aussi une réalité physiologique, qui correspond à la consommation des ressources énergétiques disponibles et à l'accumulation de toxines comme résultat de l'activité physique ou de l'activité intellectuelle.

La fatigue affecte la performance. Ainsi, si vous effectuez un vol de trois heures en conditions météorologiques difficiles, il est probable que vous serez très fatigué à l'arrivée. Non seulement la qualité de votre atterrissage risque d'en souffrir, mais vous êtes susceptible de commettre de grosses erreurs de jugement.

Mais la fatigue apparaît même en l'absence d'activité. On pense que le seul fait d'être éveillé déclenche la sécrétion d'une substance inductrice du sommeil, dont l'accumulation provoque la fatigue. Au-delà de huit heures d'éveil, la performance commence à se dégrader. Cette dégradation s'accélère à partir de douze heures d'éveil.

Ces effets de la fatigue se cumulent avec l'évolution de la performance due au rythme circadien. Ainsi, si vous effectuez un vol de nuit qui débute vers 21 h alors que vous êtes levé depuis 6 h du matin, votre performance sera nettement dégradée par rapport à son niveau moyen.

Le stress

Stress et adaptation

Tout être vivant a besoin, pour survivre, d'être **adapté** à son milieu. Un être vivant en rupture d'équilibre avec son environnement n'a que deux solutions : changer l'environnement ou changer son propre fonctionnement interne. Dans les deux cas, cela lui demande un effort.

Le **stress** (ce qui veut dire contrainte) est un mécanisme archaïque, qui permet cet effort d'adaptation. Il permet de mobiliser l'énergie disponible pour mettre en œuvre l'une des deux solutions les plus courantes dans la jungle : l'attaque, ou la fuite. Evidemment, ni l'une ni l'autre ne s'avère très adap-

tée dans un poste de pilotage. C'est tout le problème du stress en vol !

La notion d'adaptation dépasse les seuls paramètres physiques. Plus on monte dans la hiérarchie des espèces, plus la complexité des mécanismes d'adaptation est élevée. Les hommes sont sensibles à une infinité d'aspects de leur environnement, des choses aussi différentes qu'un changement de situation familiale, une promotion professionnelle, ou un changement du bruit du moteur de l'avion qu'ils pilotent.

Le déclenchement du stress

Le stress peut être déclenché par tout ce qui est ressenti comme une agression ou un facteur de risque. Cela dépend donc en partie de l'individu, de sa sensibilité. Ce qui est facteur de stress pour les uns peut ne pas l'être pour les autres. Parmi tous les facteurs de stress potentiels (on dit les « **stresseurs** »), on peut citer :

- les **agressions physiologiques** externes (blessures, température, humidité, bruit) ou internes (faim, soif, fatigue, manque de sommeil) ;
- les situations ou les **compétences sont perçues comme inadaptées** aux besoins : situation inattendue (et dégradée) en vol sans solution connue, test, pression temporelle, surcharge de travail, incompréhension (les faits ne correspondent plus à ce qu'on attend) ;
- les **facteurs personnels liés à la vie quotidienne** : tout changement, même volontaire, dans le quotidien provoque un stress plus ou moins fort selon les individus et les circonstances, et contribue à ce qu'on appelle le stress chronique ;
- l'**anxiété**, qui résulte de notre capacité à imaginer des risques à venir. Contrairement à la peur qui est une réaction à un danger bien identifié, l'anxiété est un sentiment diffus qui ne se réfère à rien de très précis. Mais elle provoque néanmoins un stress.

La réaction physiologique de stress

Pour toutes les espèces animales, et quel que soit le stimulus, le déclenchement de la réaction de stress se traduit par un processus physiologique identique, qui évolue en trois phases, décrites en 1954 par le canadien H. Selye :

- **phase 1 : la réaction d'alarme. L'adrénaline**, est libérée dans le sang. Elle prépare l'organisme à une action physique. Les rythmes cardiaque et respiratoire s'accélèrent, la pression sanguine augmente, les réserves de sucre du foie sont libérées. Toutes les fonctions non liées à la fuite ou à l'attaque sont ralenties, en particulier les fonctions digestives (bouche sèche), et les fonctions cérébrales supérieures ;
- **phase 2 : la phase de résistance**. Une seconde hormone, le **cortisol**, prend le relais de l'adrénaline. Elle permet la transformation rapide des graisses en sucre pour prolonger la mobilisation musculaire une fois épuisées les réserves de sucre directement disponibles. De plus on a mis en évidence un effet du cortisol sur la **mémorisation**, ce qui expliquerait la mémoire intense qui est conservée des situations très stressantes ;
- **phase 3 : l'épuisement**. Si le facteur de stress persiste, les ressources énergétiques s'épuisent, les toxines s'accumulent et l'organisme entre alors dans la phase d'épuisement, qui peut aller jusqu'à la mort.

Les effets du stress

Il existe un lien entre le niveau de stress et le niveau de performance. Pour les activités purement physiques, il semble que la performance augmente avec le stress. Dans des situations de stress intense, des individus ont accompli des actions (comme utiliser un membre fracturé, sauter un obstacle très élevé, sortir par un orifice minuscule, etc.) dont ils n'ont pas compris ensuite comment ils avaient pu en être capables.

Par contre les effets du stress sur les performances qui font appel aux fonctions supérieures du cerveau sont plus contrastées. Dans un premier temps, un stress modéré « réveille », et ses effets s'apparentent à ceux d'une augmentation de la motivation. Mais si le niveau de stress augmente, ses effets cognitifs deviennent nettement négatifs. On peut dire que globalement, un stress élevé exagère jusqu'à la caricature toutes les tendances à l'économie des ressources mentales que nous avons évoquées précédemment :

Les effets du stress :

- *la pensée devient réductive. Le sujet stressé devient incapable d'envisager d'autres hypothèses que celles de son schéma mental, dont il recherche obstinément la confirmation, parfois jusqu'à l'absurde. Sa pensée se « **tunnélise** » : il se focalise sur un détail (souvent lié au stimulus originel du stress), et perd la conscience globale de la situation. Même les raisonnements les plus simples deviennent impossibles, et les alarmes les plus évidentes sont méconnues.*
- *les comportements deviennent **hyperactifs**. Il faut agir à tout prix. On se précipite vers tout ce qui ressemble à une solution sans réflexion préalable, quitte à faire le contraire l'instant suivant. Le pilotage devient instable, désordonné.*
- *il y a **régression** vers les acquis les plus anciens et les savoir-faire les plus automatisés, les vieux réflexes. On oublie ce qu'on a appris récemment pour retrouver les gestes adaptés à un ancien avion. On oublie la phraséologie au profit de la langue quotidienne, voire de l'argot.*
- *le stress a également des effets sur les relations avec les autres (par exemple avec le contrôleur de la circulation aérienne). Certains individus deviennent **agressifs**. D'autres sombrent dans une passivité totale et suivent aveuglément toutes les suggestions qui leur sont faites.*

La gestion du stress

Dans l'ensemble, le stress est donc un mauvais compagnon de vol. Dans la mesure du possible, il faut le prévenir. Ceci concerne à la fois le stress qui survient au cours du vol lui-même, et celui qui a ses origines dans la vie quotidienne, qu'on appelle le stress chronique. En effet tous les stress s'ajoutent, même ceux dont l'origine est plutôt heureuse. Votre sécurité en vol peut être fortement dégradée parce que vous venez de gagner au tiercé ou de tomber amoureux.

La meilleure protection contre le stress, c'est le savoir-faire. Or un vol n'est jamais banal a priori. Même pour les grands professionnels, un vol peut générer un stress intense en cas de situation imprévue ou dégradée. Ne prenez donc aucun risque d'être dépassé par les événements.

- *Cherchez toujours à apprendre : restez curieux et rigoureux, racontez et discutez vos expériences, exploitez celles des autres, lisez les rapports d'accidents et d'incidents, et les revues aéronautiques qui les relatent.*
- *Préparez vos vols, anticipez les difficultés et problèmes susceptibles de se produire, tenez-vous prêts à l'inattendu. Le seul fait de ne pas vous sentir prêt déclenchera la réaction de stress et effondrera vos capacités.*
- *Adaptez la difficulté à ce que vous savez faire. Restez lucides sur vous-mêmes : ne forcez ni le destin, ni votre talent. En vol, les fanfaronnades sont meurtrières. C'est en effet la confiance en vous qui régule vos performances. Si au fond de vous, vous savez que vous ne savez pas faire, alors votre performance sera mauvaise.*
- *Conservez donc les conditions d'une confiance convenable en vous-même. Restez compétent, révisez vos connaissances, entraînez-vous de façon régulière. Si vous cessez de voler durant plusieurs mois, ou si vous ne vous sentez plus à l'aise, demandez une séance avec un instructeur : même s'il ne vous apprenait rien, ce qui serait surprenant, il vous aidera à retrouver la confiance.*
- *Ne volez pas si vous vous sentez fatigués, si vous avez mal dormi, si vous avez absorbé de l'alcool, si vous traversez une période de difficultés professionnelles ou familiales importantes.*

Et si malgré tout un jour vous êtes confrontés à une situation difficile qui déclenche un stress intense, appliquez ces conseils :

- *contrôlez votre respiration,*
- *acceptez la réalité telle qu'elle est, ne vous racontez pas d'histoires,*
- *faites simple, revenez à l'essentiel, faites d'abord voler l'avion,*
- *ne baissez pas les bras, mais n'attendez pas de miracle : il existe (presque) toujours une solution, mais c'est à vous de la mettre en œuvre,*
- *demandez de l'aide : utilisez la radio, « avouez » votre situation, l'amour-propre ou la peur de la sanction ne sont pas de mise lorsque la vie est en jeu.*

LA FIABILITÉ HUMAINE ET LES ERREURS HUMAINES

La notion d'erreur

« Erreur » est un mot simple qui cache des notions très compliquées. Par exemple, quand vous dites de quelqu'un : « **il a fait une erreur** », c'est que vous considérez qu'il n'a pas fait ce qu'il aurait du faire (du point de vue de la raison, de la logique, du règlement, etc.).

Par contre, quand vous dites « **j'ai fait une erreur** », c'est plutôt que vous n'avez pas agi conformément à votre intention.

Ce qui nous intéresse ici, c'est les conditions dans lesquelles certains de vos actes de pilotes, intentionnels ou non, peuvent mettre en cause votre **sécurité**. Pour simplifier, nous les appellerons des « erreurs ».

Les différentes composantes de la notion d'erreur

Examinons successivement les différentes composantes de la notion d'erreur :

- A la base, il y a **l'action erronée** elle-même. Ce peut être un oubli (oublier d'ouvrir l'essence, oublier de rentrer les volets après le décollage), une action à la place d'une autre (couper le contact général au lieu de couper les phares), une mauvaise exécution (afficher incorrectement une fréquence), une mauvaise séquence d'actions (actionner le démarreur avant la pompe électrique), etc.
- Cette action erronée aura, ou n'aura pas, des **conséquences pratiques** sur le vol et sa sécurité, selon les circonstances, le sujet concerné, et surtout le fait qu'elle soit ou non détectée et corrigée. Il se produit des dizaines d'erreurs dans chaque vol, sans conséquences. A l'inverse, une seule erreur peut être la bifurcation vers un scénario d'accident.
- Il n'y a pas à proprement parler de mécanisme mental propre à l'erreur. Ce sont les mêmes mécanismes qui font les performances, l'intelligence, l'économie de nos ressources, ou les ratés. « L'erreur et l'intelligence sont les deux faces de la même pièce de monnaie » (James Reason, Université de Manchester).

Ainsi nous pouvons distinguer **trois grandes familles d'erreur**, selon le mode de fonctionnement mental en œuvre dans l'action en cours :

Les **erreurs de routine** en mode de fonctionnement machinal.

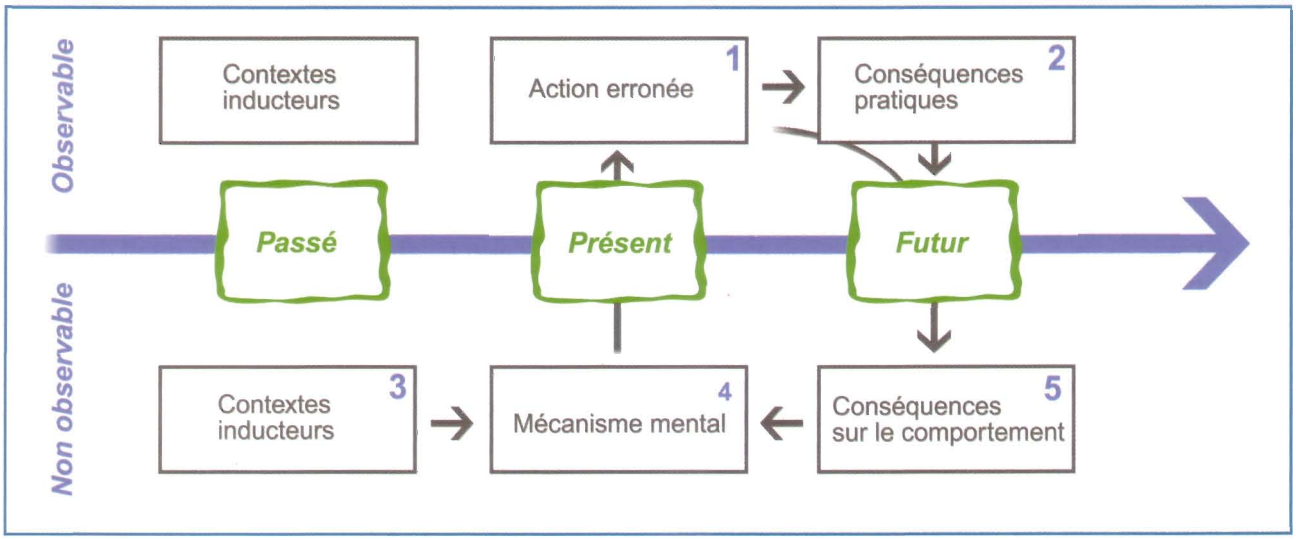


Fig. 13 *(d'après le cours de Briefings).*

Par définition les schémas vous font agir « comme d'habitude ». Ils sont un pari permanent sur le fait que le présent est conforme au passé. Mais si la situation présente est différente de l'habitude, le pari est perdu : il y a erreur.

Les erreurs de routine concernent toutes les séquences d'action que nous effectuons très régulièrement. Par exemple, les actions de préparation de la machine avant décollage ou avant atterrissage. Une simple interruption des actions en cours (exemple : par le contrôleur), une simple distraction (par un passager, un avion qui atterrit...) a toutes chances de provoquer alors un oubli, un saut, une répétition.

Nos actions de contrôle et de surveillance sont également fragiles car elles deviennent aussi routinières. Nous pouvons véritablement ***voir*** *un instrument ou une alarme dans son état habituel (par exemple, le voyant de train vert ou la jauge à essence sur plein) alors que ce n'est pas le cas. Et* ***la pression du temps décuple ces risques.***

Il faut donc à tout prix utiliser les check-lists systématiquement, en prenant son temps, en restant vigilant et conscient de ce que l'on fait et de ce que l'on vérifie, en montrant du doigt les points vérifiés, et en verbalisant chaque item même si l'on est seul pilote à bord.

Les **erreurs de règle** en mode de fonctionnement basé sur les règles (« si... alors... »). Une erreur de règle consiste soit à appliquer une procédure ou une solution inappropriée, par exemple par suite d'une erreur de diagnostic ou une erreur de raisonnement, soit à mal exécuter la bonne procédure.

Un cas classique d'erreur de règle est constitué par le traitement d'une panne moteur sur un avion bimoteur. Le risque est élevé d'appliquer la procédure d'arrêt sur le moteur sain, soit par suite d'une erreur de diagnostic sur le moteur défaillant, soit par confusion dans l'application de la procédure. Une autre famille est constituée par les corrections de sens inverse : corrections d'altimétrie, de dérive, d'interception de radial VOR, etc.

Les **erreurs de modèle** en mode de fonctionnement basé sur les connaissances.

Elles consistent à utiliser, pour comprendre la situation ou pour prendre une décision, un modèle inadéquat de la réalité. Cela peut venir du fait que nous avons des connaissances fausses ou incomplètes (« pourtant je croyais que... »), ou que nos connaissances sont inaccessibles sur le moment dans la mémoire à long terme (« bon sang, je le savais, pourtant ! »).

A la suite d'un amerrissage désastreux consécutif à une panne moteur, un pilote a déclaré : « je n'ai pas sorti les volets car j'étais vent arrière et j'ai pensé que le vent me pousserait plus vite si je les sortais. J'ai cabré le plus possible pour casser la vitesse ». Son intuition sous stress lui a ainsi fait exécuter exactement le contraire de la procédure d'amerrissage recommandée par le constructeur !

Le déclenchement des erreurs est préparé et **favorisé** par certains **contextes** d'activité. Certains aspects sont liés à l'environnement physique, comme les conditions météo.

D'autres, comme la fatigue, le stress, le manque de sommeil, une charge de travail élevée, sont des conditions mentales personnelles non observables.

On ne saurait trop insister sur les effets négatifs de la pression du temps sur la fiabilité humaine. Elle conduit très vite à dépasser les limites des ressources disponibles, et à multiplier les impasses.

Aucune action, aucune décision complexe ne sont possibles sous une forte contrainte de temps. Rappelez-vous : anticipez, préparez vos vols, soyez toujours en avance sur l'avion ! Une étude américaine a montré que 63 % des incidents ont pour origine une précipitation lors de la préparation du vol.

Le plus souvent, nous **prenons conscience** presque instantanément d'avoir commis une erreur, grâce à une auto-surveillance mentale permanente. Nous pouvons également être alertés assez vite par des incohérences entre nos actions et les résultats attendus. Certaines **alarmes** sont installées dans les avions pour renforcer ce pouvoir d'alerte dans des situations critiques (alarme de décrochage, alarme de train). Lors d'un vol, il se produit couramment plusieurs dizaines d'erreurs, dont la plupart sont immédiatement corrigées, et dont aucune ne conduit à des conséquences importantes pour la sécurité.

Par contre, le fait de prendre conscience de nos erreurs a un effet fondamental pour la sécurité : il modifie le « **réglage** » de notre comportement vis-à-vis du risque. Nous augmentons nos marges après nous être fait une « grosse chaleur ». Même les erreurs minimes sont des indicateurs inconscients de notre « point de fonctionnement » **par rapport aux limites** de notre savoir-faire. Elles régulent notre niveau d'attention, notre degré de surveillance sur tel ou tel aspect du vol.

Paradoxalement, les erreurs jouent donc aussi un **rôle positif** pour la sécurité. Sur l'instant, elles sont le « fluide » utilisé par notre « **régulateur de régime** » mental. A plus long terme, grâce à la mémorisation, elles nous « servent de leçon » et constituent une composante incontournable de tout **apprentissage**.

Erreurs de représentation

Si vous affichez 123.25 au lieu de 132.25 sur votre récepteur VHF sans vous en rendre compte, cela implique une distorsion très locale de votre représentation par rapport à la réalité. Il est probable qu'au premier contact, cette distorsion soit révélée : le contrôleur ne comprendra pas votre message. C'est sûrement la « bonne » représentation de la réalité qui l'emportera, et l'anomalie locale sera corrigée.

Mais que se passe-t-il dans le cas contraire ?

Imaginez par exemple le dialogue suivant, au terme d'une navigation VFR approximative par mauvaise visibilité :

« Blagnac Tour de F-GEHV, bonjour.

— *F-HV Blagnac Tour, bonjour.*

— *Cessna 152, F-HV en provenance de Pamiers à 3 minutes de vos installations, information Charlie reçue, pour atterrissage.*

— *F-HV Blagnac Tour, toujours la 33 droite en service, Fox Echo 987, conditions VFR spécial, reportez-vous point SE, confirmez votre estimée SE ?*

— *Blagnac Tour F-HV bien reçu la 33 droite et 987, euh, SE estimé à... euh, SE estimé dans... euh, eh bien... en fait... on a justement la piste en vue, à l'instant, là, est-ce qu'il serait possible de passer directement en étape de base ?*

— *F-HV Blagnac Tour autorisé étape de base numéro 1 pour la piste 33 droite rappelez étape de base.*

— *F-HV rappellerai étape de base* (... ouf pas mécontent d'avoir trouvé le terrain avec cette visi... mais qu'est-ce-que c'est que ça ?).

— *F-HV en étape de base, vous confirmez que je suis numéro 1 ?*

— *F-HV Blagnac Tour, affirm, autorisé à atterrir piste 33 droite, le vent du 300 16 nœuds.*

— *F-HV roger* (... ah j'ai compris le Transall doit être en finale sur la piste 33 gauche...).

— *F-HV en finale* (... vraiment pas terrible la visi, je ne vois même pas la deuxième piste... et ce VOR qui me dit n'importe quoi aujourd'hui... pas de chance).

— *F-HV Blagnac Tour, poursuivez, toujours pas de contact visuel, dernier vent du 300 degrés 15 nœuds.*

— *Blagnac Tour F-HV bien reçu, euh... le Transall se pose à gauche ?*

— *F-HV Blagnac Tour, répétez ?*

— *Le Transall se pose à gauche ?*

— *F-HV Blagnac Tour, je n'ai pas de Transall, vous confirmez la piste 33 droite en vue ?*

— *« ...»* (... évidemment que j'ai la piste en vue, qu'est-ce qu'il me raconte, là ?...).

— *F-HV Blagnac Tour ?*

— *F-HV j'écoute* (... bon qu'est-ce qui se passe là, il fait mal son boulot, il l'a oublié le Transall ou quoi, j'ai déjà assez de la mauvaise visi, moi...).

— *F-HV Blagnac Tour, je n'ai pas de contact visuel sur vous, vous confirmez phares allumés et piste 33 droite en vue ?*

— *Euh... F-HV ... je confirme les phares et piste en vue mais il y a un Transall qui se pose là devant moi, vous m'aviez annoncé numéro 1 pour la 33 droite et je...*

— *F-HV Blagnac Tour immédiatement remettez les gaz dans l'axe en montée vers 1000 pieds et immédiatement contactez Francazal sur 118.4, vous n'êtes pas à Blagnac mais à Francazal, la base militaire de Francazal ».*

Une navigation imprécise a conduit à une erreur sur l'identification de la piste aperçue, qui entraîne à son tour une erreur plus globale de positionnement, laquelle entraîne des erreurs en cascade sur l'interprétation des faits perçus (indications VOR aberrantes, un Transall en finale alors qu'on est numéro 1, pas de deuxième piste en vue, etc.).

Une erreur locale a donc « infesté » par un effet « boule de neige » une partie importante de la représentation de la situation. Celle-ci finit par basculer, pour former comme le **négatif** d'une représentation normale. Il y a **non conformité** globale, avec des points d'ancrage conformes à la réalité, perçus comme des anomalies, et qu'on cherche à réinterpréter (« ça doit être parce que... »).

On appelle cela une « **erreur de représentation** ». Cette situation est redoutable car les représentations fausses, comme les bonnes, sont extrêmement stables. Il est très coûteux en ressources de remettre en question sa représentation mentale et son projet d'action. Nos représentations reposent sur des méca-

nismes de **confirmation**, qui **filtrent les informations conformes**. Les erreurs de représentation sont donc auto-entretenues. Elles sont parfois incroyablement **résistantes** aux signaux contradictoires. Un signal rouge clignotant devant les yeux, un klaxon dans les oreilles et des messages répétés du contrôleur ne réussissent pas toujours à éviter un atterrissage sur le ventre quand le pilote vit la certitude profonde d'avoir sorti le train.

Conclusion

Il serait illusoire de vouloir supprimer les erreurs humaines. Elles ne représentent pas une anomalie de fonctionnement mental. Elles sont simplement une conséquence parmi d'autres des structures fondamentales de nos capacités mentales et de notre intelligence.

Ce qui compte est donc de prévenir leurs conséquences pour la sécurité. Cela passe par des avions et des procédures plus tolérantes à l'erreur. Cela passe aussi par l'amélioration de l'auto-détection des erreurs. La présentation des instruments et des commandes à bord peut y contribuer. Mais c'est également, dans une grande mesure, votre affaire personnelle.

Reconnaissez lucidement votre potentiel d'erreur et protégez-vous. Surveillez-vous, contrôlez le résultat de chacune de vos actions critiques, utilisez les aides disponibles, en particulier les check-lists. Reconnaissez l'erreur que vous venez de faire et réajustez votre comportement en conséquence.

On pourrait résumer ce qui précède en une seule idée : au moins vis-à-vis des erreurs, un poste de pilotage doit être un espace d'honnêteté absolue.

DESCRIPTION DE L'AVION

Vous allez débuter votre formation sur un avion, et votre premier souci sera d'avoir une connaissance claire et complète des éléments qui le constituent. Lorsque vous serez breveté, vous utiliserez d'autres avions, différents de celui sur lequel vous avez été formé, et vous devrez les connaître aussi finement.

La « Description de l'avion » que voici va nous permettre d'étudier les sujets suivants :

- la cellule,
- les commandes de vol,
- les contraintes sur la cellule.

Une bonne connaissance de ces éléments nous permettra, grâce à une simple analyse visuelle, de déterminer pour quelle utilisation cet avion a été conçu (vols courts, voyage, voltige, etc.), et de voir s'il correspond bien à l'utilisation que nous souhaitons en faire.

Nous saurons aussi comment utiliser notre avion de manière sûre et efficace, en respectant les limites des différents systèmes et en prenant les précautions adéquates.

Nous serons enfin en mesure de comprendre l'origine des pannes éventuelles qui pourraient apparaître au sol ou au cours d'un vol. La compréhension et le jugement étant les qualités principales d'un pilote, et les conditions nécessaires à la sécurité du vol, ces connaissances nous permettront une analyse des situations à la hauteur de notre fonction de commandant de bord.

LA CELLULE

La cellule est constituée de la voilure, du fuselage, du train d'atterrissage, de l'empennage horizontal et de la dérive. Les gouvernes sont étudiées en page 87 et les dispositifs d'hypersustentation en page 205.

La voilure

La voilure d'un avion est constituée de deux ailes. Elles génèrent une force aérodynamique portante qui permet la sustentation de l'avion *(voir « Pourquoi l'avion vole – la résultante aérodynamique »)*.

Caractéristiques

Les parties avant et arrière de l'aile s'appellent respectivement le **bord d'attaque** et le **bord de fuite**.

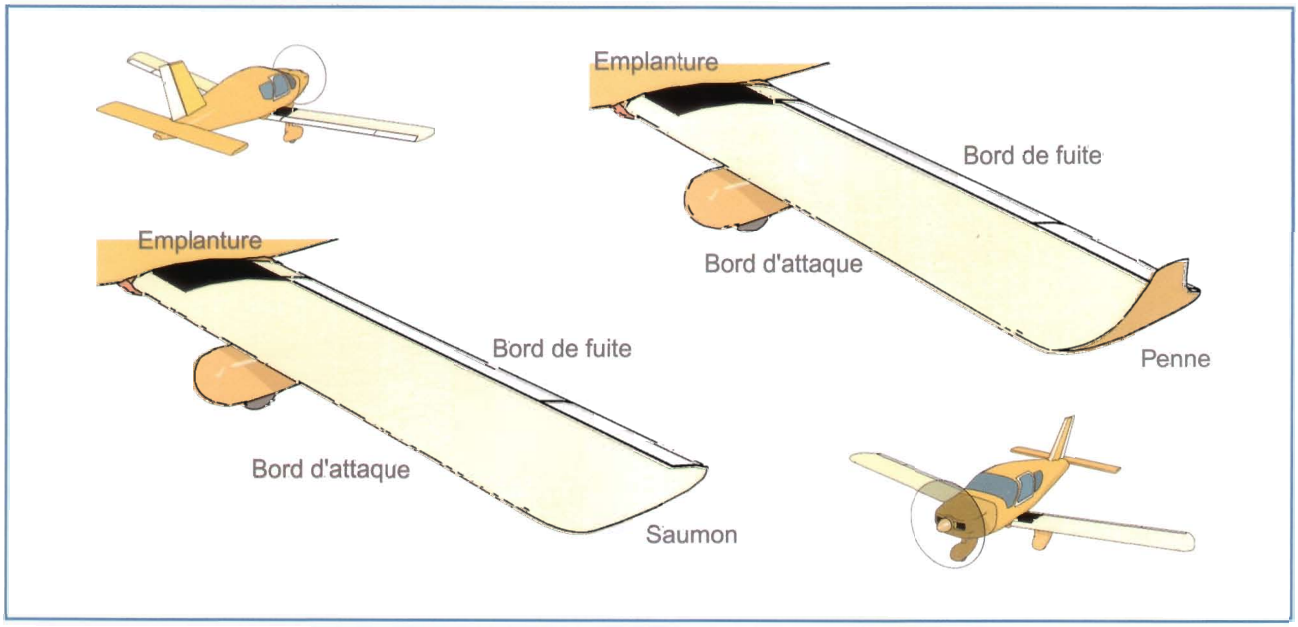


Fig. 14 – *Les bords avant et arrière de l'aile s'appellent « bord d'attaque » et « bord de fuite », les extrémités latérales sont constituées d'une « emplanture » et d'un « saumon » ou d'un « penne ».*

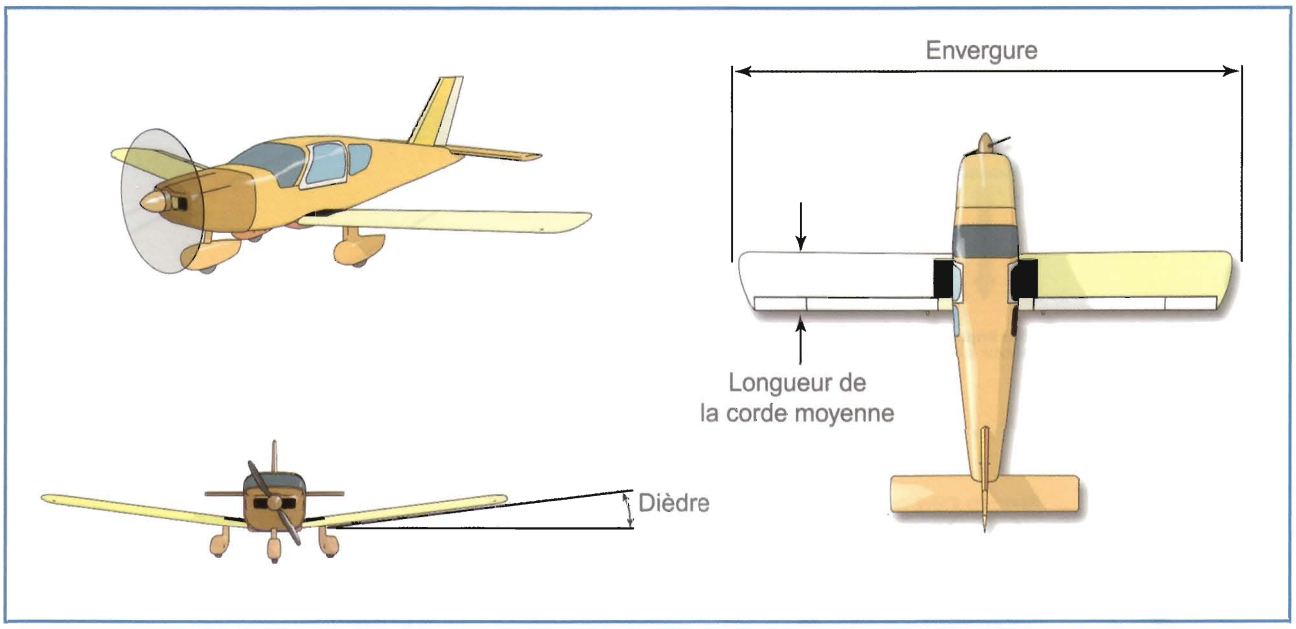


Fig. 15 – *Les paramètres qui décrivent la géométrie de la voilure.*

La partie de l'aile qui assure la jonction avec le fuselage s'appelle **l'emplanture**. L'extrémité de chaque aile est constituée d'une forme profilée appelée **saumon**. On trouve sur certains avions des dispositifs de bout d'aile appelés **pennes** (désignés parfois par le terme anglais « winglet ») ; leur rôle est de réduire la traînée induite *(voir « Pourquoi l'avion vole – La traînée induite »)* (fig. 14).

On utilise certains paramètres pour décrire la géométrie de l'aile par rapport à l'avion :

L'envergure :

C'est la distance qui sépare les deux extrémités d'ailes (fig. 15). C'est en quelque sorte la « longueur » de la voilure.

La longueur de la corde moyenne :

La corde est la droite qui joint le bord d'attaque et le bord de fuite. La corde moyenne est une corde de référence, sa longueur décrit en quelque sorte la « largeur » de l'aile (fig. 15).

L'allongement :

C'est le rapport de l'envergure sur la longueur de la corde moyenne (fig. 15) :

$$\text{Allongement} = \frac{\text{Envergure}}{\text{Longueur de la corde moyenne}}$$

Les planeurs ont des voilures à fort allongement. Les avions de voltige ont des voilures à faible allongement.

Le dièdre :

C'est l'angle que forme le longeron de l'aile avec le plan l'horizontal, lorsque l'avion est à inclinaison nulle (fig. 15).

Structure

La rigidité de la voilure est assurée par deux **longerons** (ou par un seul sur les voilures de conception ancienne). Ils supportent les **nervures** (fig. 16).

Longerons et nervures constituent le squelette de la voilure, sur lequel est fixé le revêtement.

Les matériaux utilisés sont de trois types :

- le métal, couramment utilisé sur les avions actuels ;
- le bois et la toile, utilisés sur les avions de conception ancienne ou les reconstitutions d'avions de collection ;
- les matériaux composites (alliant généralement la fibre de verre ou de carbone, le Kevlar et des résines synthétiques), dont l'utilisation n'est pas encore généralisée.

L'espace libre laissé entre les nervures est souvent utilisé pour loger les réservoirs de carburant. Cela permet, en même temps, d'utiliser un espace libre

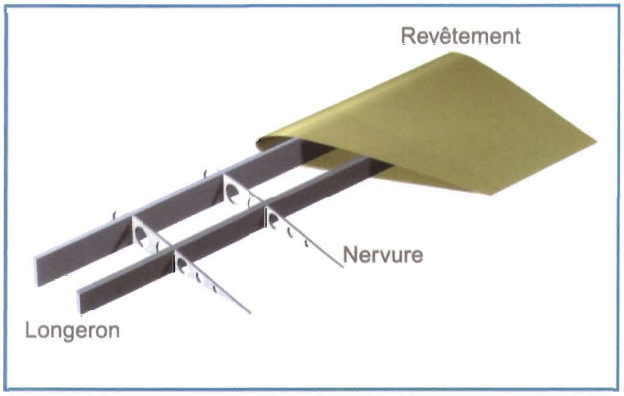


Fig. 16

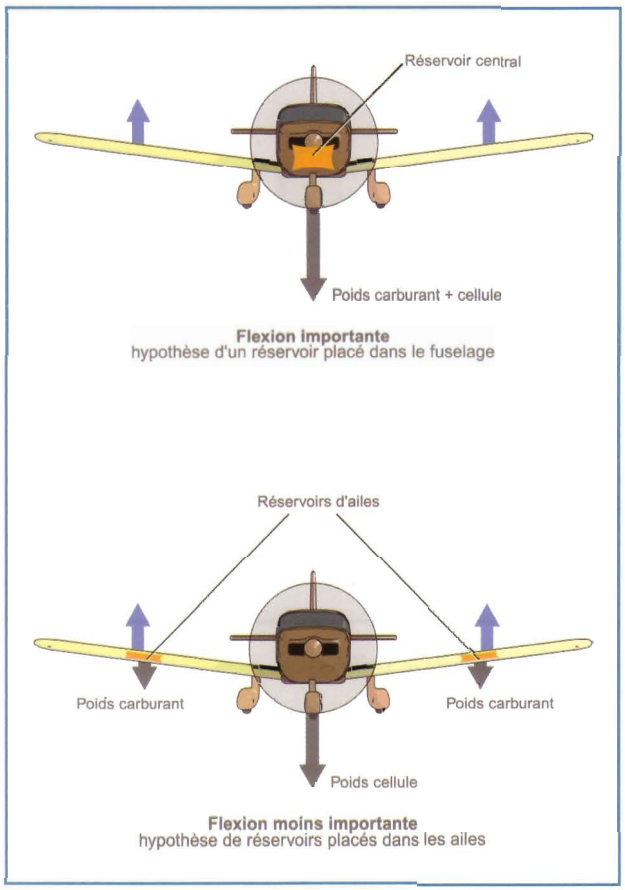


Fig. 17 – *Placer les réservoirs de carburant dans les ailes permet de diminuer le moment de flexion à l'emplanture des ailes.*

et de diminuer l'effort de flexion à l'emplanture de l'aile (fig. 17).

On trouve parfois au niveau de l'emplanture de l'aile un profil aérodynamique destiné à optimiser l'écoulement de l'air (fig. 18). Ce profil est appelé **karman**.

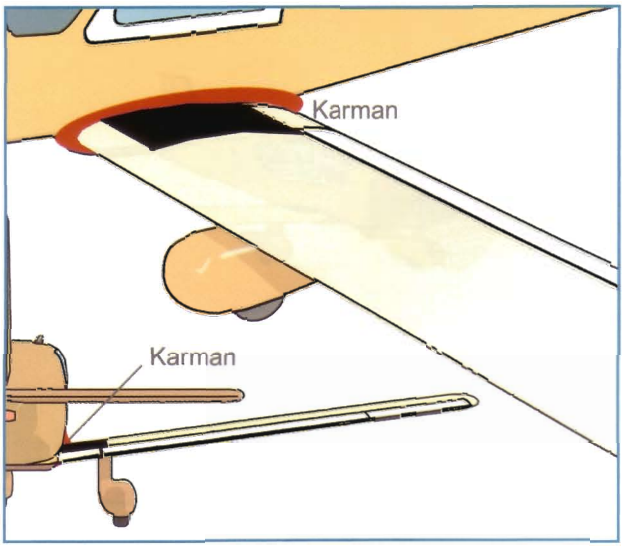


Fig. 18 – *Le karman optimise l'écoulement à l'emplanture de l'aile.*

Le fuselage

Le fuselage est un caisson dont la rigidité est assurée par des couples et des raidisseurs (fig. 19). De même que pour l'aile, les matériaux utilisés peuvent être :

- les matériaux composites, ou le plastique ;
- le métal ;
- le bois (pour les couples et raidisseurs) et la toile (pour le revêtement).

L'emplanture de l'aile peut prendre place (fig. 20) :

- au point haut du fuselage : l'avion est dit à « ailes hautes » ;
- en position intermédiaire : l'avion est dit à « ailes médianes » (avions de voltige) ;
- au point bas du fuselage : l'avion est dit à « ailes basses ».

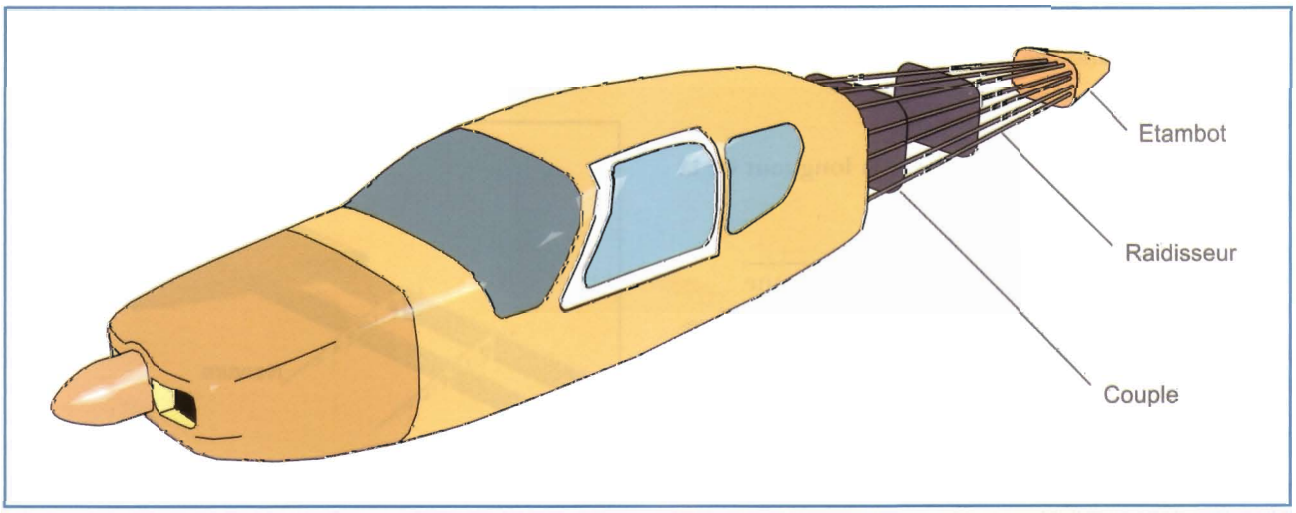


Fig. 19 – *Le fuselage a une structure de caisson constituée de couples et de raidisseurs.*

Photo Daniel Gay

Fig. 20 – *Avion à « ailes basses » et train rétractable.*

Fig. 21 – *Avion à « ailes hautes ».*

Fig. 22 – *Avion à « ailes basses » et train fixe.*

Beech Starship 2000A – Avec l'aimable autorisation de Raytheon Aircraft Company

Fig. 23 – *Empennage horizontal à l'avant : configuration « canard ».*

Les empennages

L'empennage vertical est plus couramment appelé « **dérive** ». Il se trouve à l'arrière du fuselage. L'empennage horizontal s'y trouve également le plus souvent. Certains avions comportent néanmoins une configuration dite « canard », dans laquelle l'empennage horizontal est placé à l'avant de l'appareil (fig. 23).

A l'arrière de la dérive se trouve la **gouverne de direction** *(voir « Les gouvernes »)* (fig. 24).

L'empennage horizontal peut être constitué d'un plan fixe et d'une **gouverne de profondeur** mobile.

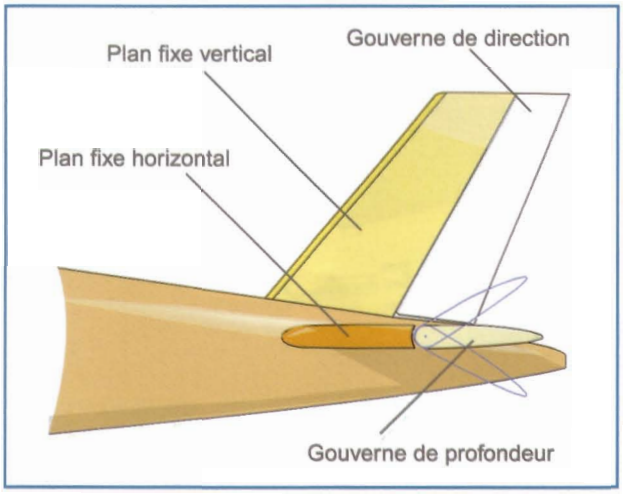


Fig. 24 – *Empennage horizontal avec plan fixe.*

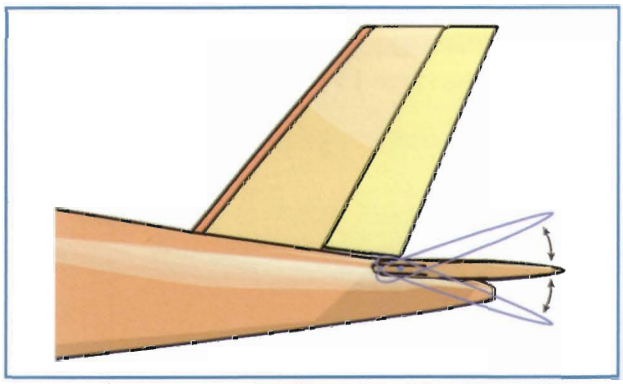


Fig. 25 – *Empennage horizontal monobloc.*

Sur certains avions, il est constitué d'une seule surface entièrement mobile, on dit qu'il est « monobloc » : il remplit alors le rôle de gouverne de profondeur (fig. 24 et 25).

On trouve des empennages de trois types (fig. 26 à 28) :

- les empennages cruciformes, les plus répandus ;
- les empennages en T ;
- les empennages en V, que l'on rencontre assez peu.

Dans le cas des empennages en V, les surfaces inclinées assurent ensemble et de manière combinée les fonctions de gouvernes de profondeur et de direction.

Photo ESMA

Fig. 26 – *Empennage en T.*

Photo Daniel Gay

Fig. 27 – *Empennage en V.*

Fig. 28 – *Empennage cruciforme.*

Le train d'atterrissage

Son rôle est de permettre les déplacements de l'avion au sol et d'amortir les efforts subis lors de la prise de contact avec la piste au moment de l'atterrissage.

Il existe deux types de train : le train tricycle et le train classique. Dans les deux cas, le train peut être fixe ou rentrant.

Le train tricycle

Il comprend un atterrisseur principal et une roulette de nez qui permet une conduite aisée de l'avion au sol (fig. 29).

La roulette de nez est commandée par les palonniers, commande mue par les pieds du pilote, et non par le manche. Au sol, on conduit donc l'avion avec les pieds.

Sur certains avions, il n'y a pas de liaison mécanique entre les palonniers et la roulette de nez, qui s'oriente librement. Le roulage s'effectue à l'aide des freins de chaque jambe du train principal.

Le train classique

De moins en moins répandu sur les avions de tourisme car d'utilisation moins facile au roulage, il est composé d'un atterrisseur principal disposé sous la voilure ou sous le fuselage, de part et d'autre de la cabine, ainsi que d'une roulette de queue orientable qui permet de diriger l'avion au sol (fig. 30).

L'orientation de la roulette s'effectue comme le train tricycle grâce aux palonniers.

Le système de freinage

Les freins sont disposés sur le train principal. La commande des freins est le plus souvent montée sur les palonniers, ils sont parfois commandés par une poignée située sur le tableau de bord.

Dans le cas d'une commande aux palonniers, la pédale de droite commande le frein de la roue droite, et la pédale de gauche commande le frein de la roue gauche. Il est donc possible de freiner d'un seul côté, par exemple pour raccourcir le rayon de braquage de l'avion au sol, on utilise alors un freinage dit « différentiel ».

Juste avant l'atterrissage sur une piste bitumée, il faudra veiller à ne pas avoir les pieds sur les freins (lorsque ceux-ci sont disposés sur le palonnier), on risquerait en effet de provoquer l'éclatement d'un pneu lorsque les roues entreront en contact avec la piste.

Fig. 29 – *Le type de train d'atterrissage le plus répandu : le train tricycle.*

De même au décollage, il est indispensable de ne pas avoir les pieds sur les freins, pour ne pas dégrader les performances de l'appareil.

Le système d'amortissement du train d'atterrissage

Les efforts et les chocs liés au roulage ou à l'atterrissage sont absorbés par les amortisseurs de type oléopneumatique ou mécanique, ou encore plus simplement par la flexion du train principal lorsque celui-ci est constitué de lames métalliques.

Certains avions peuvent être équipés d'atterrisseurs différents permettant l'atterrissage sur neige ou sur l'eau (fig. 31).

L'utilisation sur l'eau ou sur la neige requiert la détention :

- d'une qualification de classe relative aux hydravions *(cf. FCL 1 – Sous-partie E)* ;
- d'une qualification particulière prévue par la réglementation française *(cf. arrêté du 31/07/81 Non professionnels)*.

Fig. 30 – *Le train classique.*

Fig. 31 – *Avions permettant l'atterrissage sur neige ou sur eau.*

Description du poste de pilotage

Le manche et les palonniers constituent les commandes de vol (fig. 32). Le manche est parfois remplacé par un volant. Le tableau de bord supporte les instruments et certaines commandes (commande de train rentrant, parfois commande des gaz, frein de parc, phares, etc.).

Lorsqu'elle existe, la console centrale, appelée pylône (fig. 32), supporte les commandes du moteur (réglage des gaz, de la richesse du mélange air-essence, et sur certains avions du calage de l'hélice).

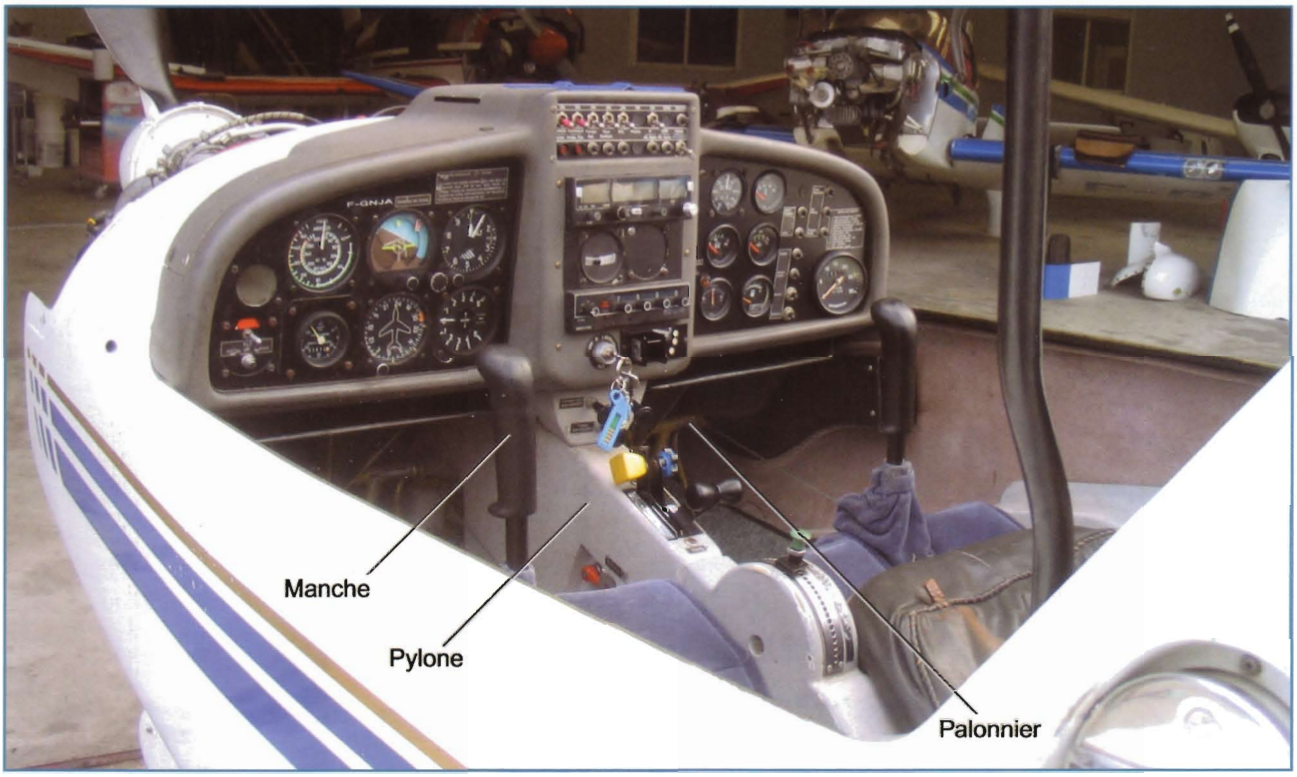


Fig. 32 – *Le poste de pilotage.*

Le tableau de bord

Bien que chaque avion ait un tableau de bord qui lui soit propre, on retrouve certaines constantes :

- le panneau groupant les instruments de pilotage ;
- les instruments de contrôle et de conduite moteur.

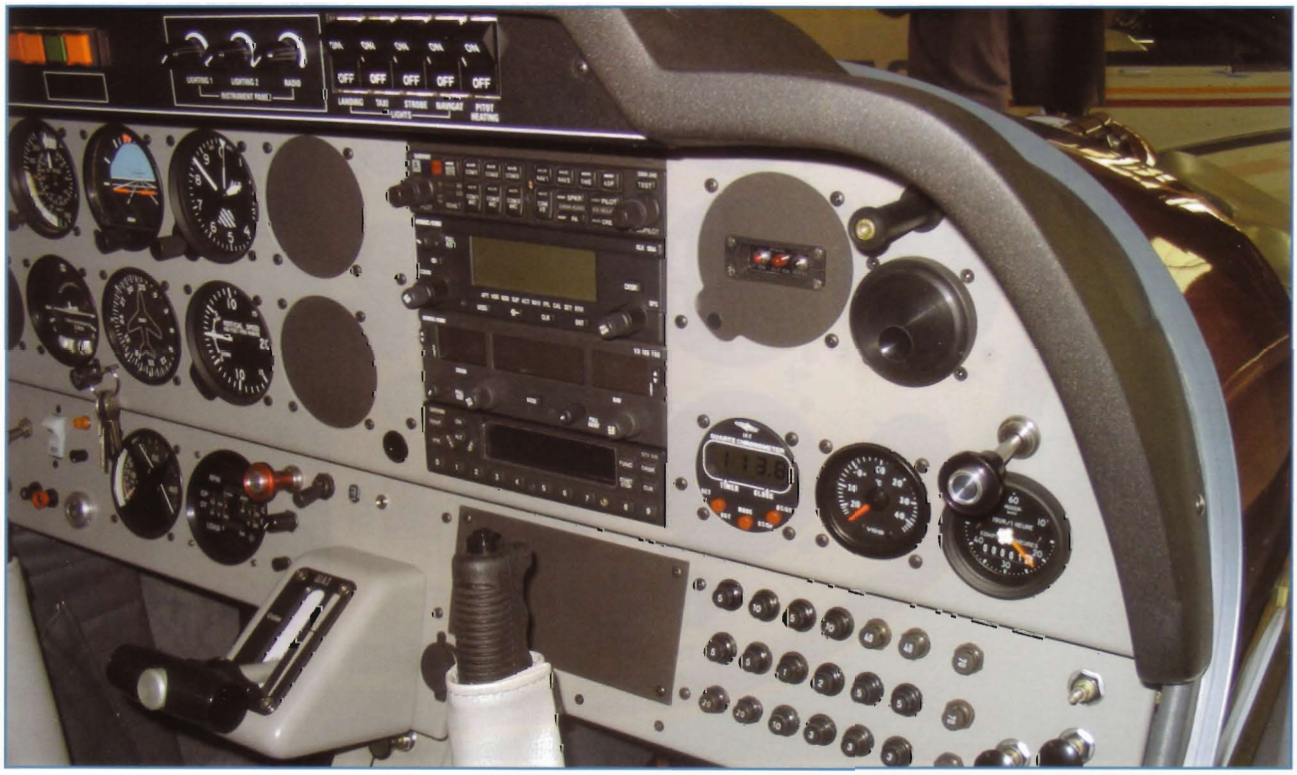


Fig. 33 – *Tableau de bord de Robin 135 CDI.*

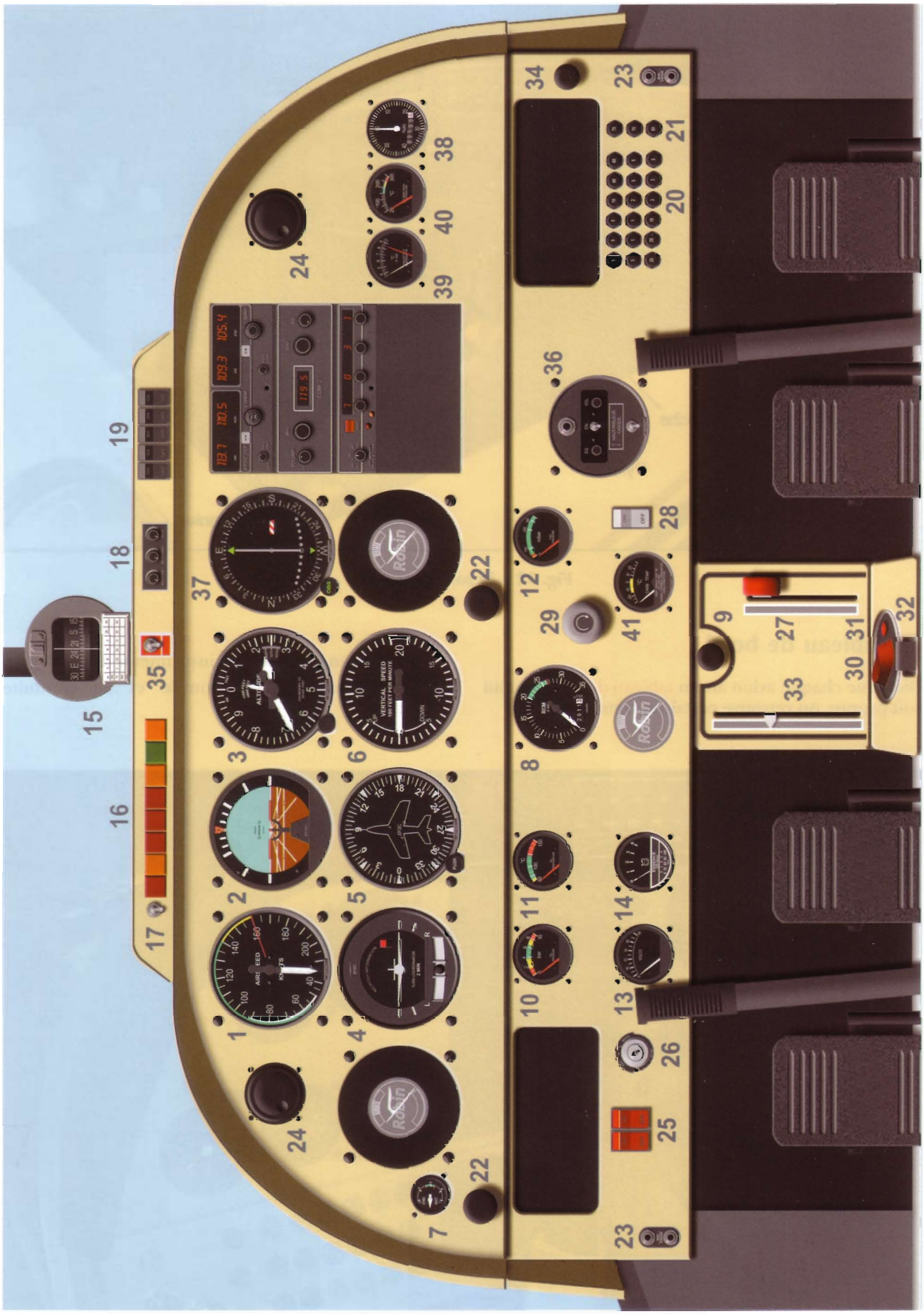


Fig. 34 – *Tableau de bord inspiré du Robin DR 400.*

1 Anémomètre (km/h – kt)
2 Horizon artificiel (pneumatique)
3 Altimètre sensible (ft – mb)
4 Coordinateur de virages, électrique
5 Conservateur de cap, pneumatique
6 Variomètre, ft/min
7 Indicateur de dépression
8 Tachymètre
9 Bouton de commande de frein de parc
10 Pression d'huile
11 Température d'huile
12 Pression d'essence
13 Voltmètre
14 Jaugeur essence
15 Compas magnétique
16 Voyants d'alerte : pression d'huile, pression d'essence, bas niveau essence, charge, démarreur engagé, volets sortis (2 voyants libres)
17 Test voyants et inverseur jour / nuit
18 Éclairage planche de bord : éclairage 1 (sous visière), éclairage 2 (projecteurs plafonnier), radio (éclairage avionique intégré)
19 Interrupteurs-disjoncteurs (de G à D) : phare d'atterrissage, phare de roulage, feu anticollision, feux de navigation (un interrupteur libre)
20 Fusibles (radio)
21 Disjoncteurs réarmables
22 Commande de gaz (double)
23 Prise micro/casque
24 Aérateurs orientables
25 Interrupteurs disjoncteurs batterie et excitation alternateur
26 Sélecteur magnétos
27 Commande de mixture
28 Pompe électrique (interrupteur disjoncteur)
29 Commande de réchauffage carburateur
30 Commande de robinet essence
31 Bouton de démarreur
32 Volant de commande de trim de profondeur
33 Indicateur de position de trim
34 Commandes de chauffage/désembuage
35 Télécommande de balise de détresse
36 Interphone de bord
37 Indicateur VOR/LOC
38 Horamètre
39 EGT (indicateur de température des gaz d'échappement)
40 CHT (température culasse)
41 Température d'air carburateur

LES COMMANDES DE VOL

Pénétrons à l'intérieur de la cabine. Sur les avions à ailes hautes, l'accès au poste de pilotage se fait directement tandis que sur les avions à ailes basses, il est nécessaire de monter sur l'aile. Une partie de celle-ci est alors recouverte d'un revêtement antidérapant habituellement noir.

La résistance de cette surface est calculée pour supporter la charge d'une personne, ce qui n'est pas le cas du reste de la voilure, qui est conçue pour résister à des charges réparties et non des charges ponctuelles. Il ne faudra donc marcher que sur la surface antidérapante.

Le pilote occupe généralement le siège de gauche. C'est de cette place qu'est assuré l'accès à toutes les commandes. Le plus souvent, les commandes sont doublées pour permettre l'entraînement avec un instructeur.

Description des commandes vol

Le volant, ou le manche, peut se déplacer d'avant en arrière. Il commande dans ce cas la gouverne de profondeur, à l'aide de câbles ou de systèmes de biellettes et de tubes :

Utilisé latéralement de gauche à droite, il commande les ailerons.

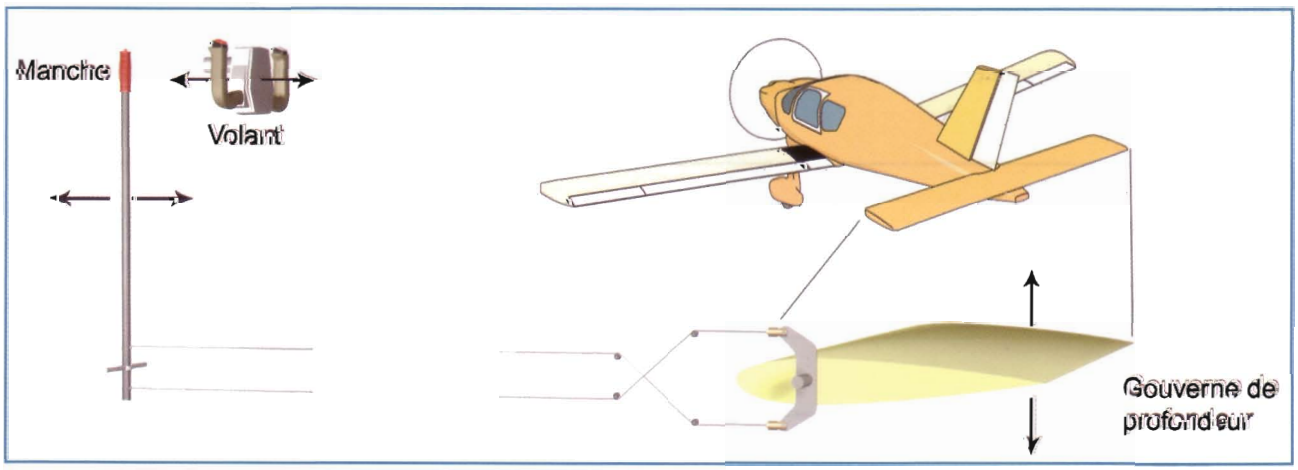


Fig. 35 – *La gouverne de profondeur est actionnée par le mouvement d'avant en arrière du volant ou du manche (ici avec de câbles).*

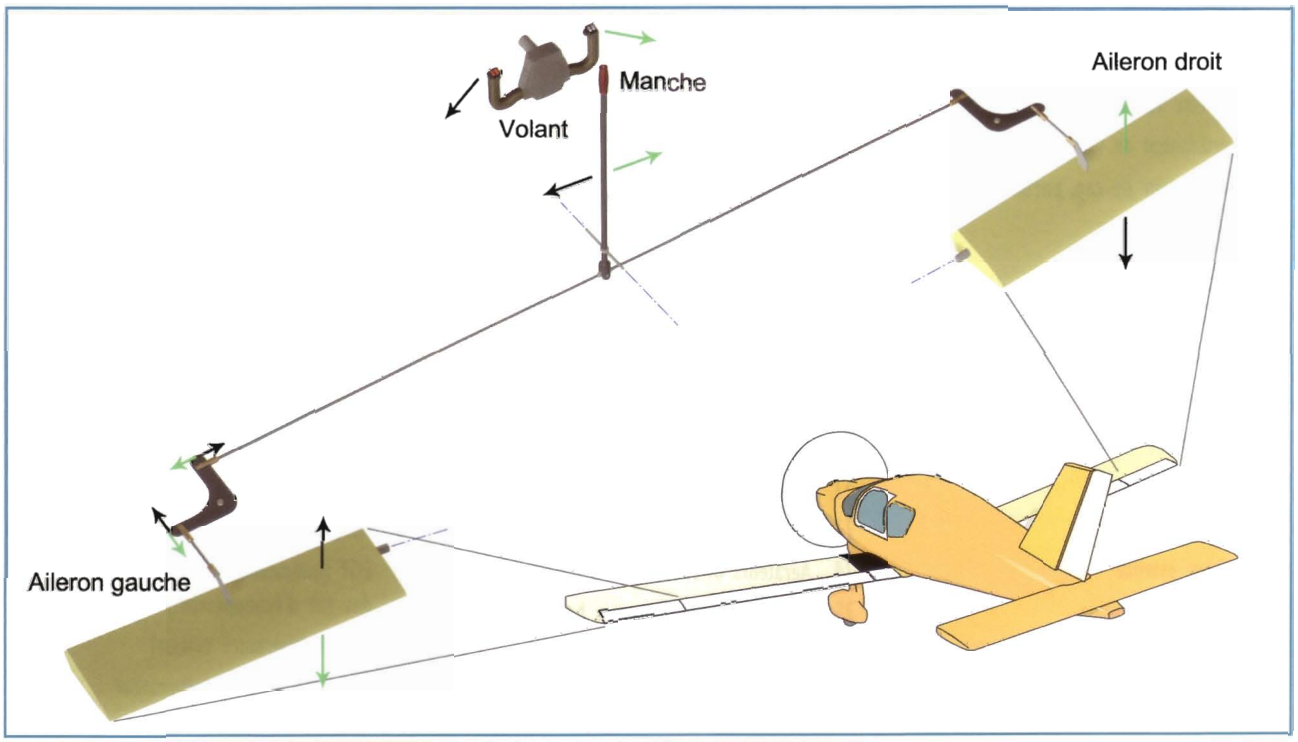


Fig. 36 – *Les ailerons sont actionnés par le mouvement vers la gauche ou la droite du volant ou du manche.*

Les palonniers, qui commandent la gouverne de direction, sont généralement couplés avec la roulette de nez (train tricycle) ou de queue (train classique). Ils permettent de contrôler l'avion au sol et d'effectuer un contrôle autour de l'axe de lacet en vol.

CONTRAINTES SUR LA CELLULE

La cellule et plus particulièrement la voilure sont soumis à des efforts de torsion, de flexion, de traction et de compression. En fonction des phases du vol (roulage, décollage, ressource, virage, etc.), certaines parties de la cellule subissent plus d'efforts que d'autres.

En outre, le vieillissement, que l'on appelle « fatigue », diminue la résistance des matériaux.

En aucun cas les efforts appliqués ne doivent dépasser les limites pour lesquelles l'avion a été conçu.

Nous allons voir quels dommages pourraient entraîner un dépassement du domaine d'utilisation de l'avion, quels sont les effets de la fatigue des matériaux, et comment prendre en compte ces contraintes dans l'utilisation de l'avion.

Limite élastique – Rupture

Lorsqu'ils sont soumis à un effort (une flexion par exemple), les matériaux comme le métal ou le bois, qui sont utilisés en aviation légère, se déforment. Suivant l'intensité de l'effort subi, trois types de déformation peuvent apparaître :

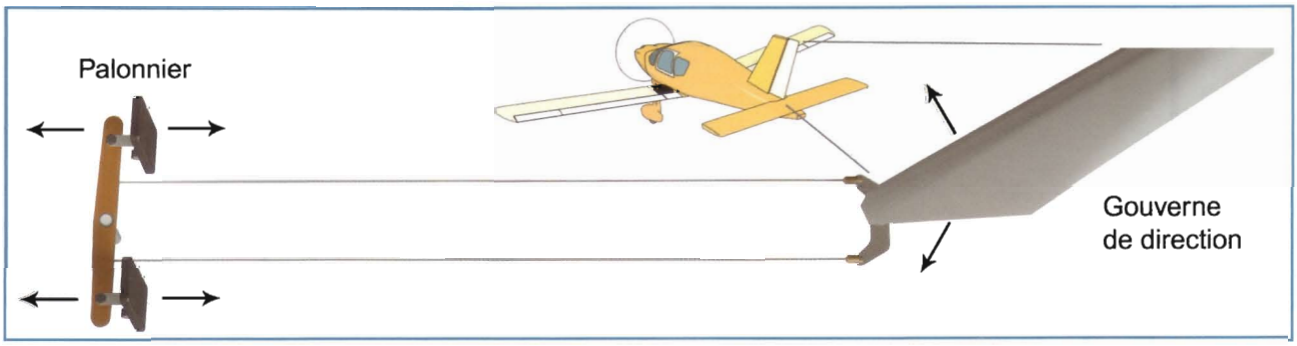


Fig. 37 – *La gouverne de direction est actionnée par le mouvement de rotation du palonnier.*

- le matériau se déforme, puis reprend sa forme initiale lorsque l'effort cesse, c'est la déformation élastique ;

- le matériau se déforme mais ne reprend pas sa forme initiale, la déformation est alors permanente ;

- le matériau se déforme puis casse, c'est la rupture.

En aéronautique, seule la déformation élastique est tolérée. Comment faire pour être sûr de rester dans les limites élastiques de l'avion ?

Le manuel de vol donne des vitesses limites en fonction de la configuration de l'avion (volets sortis ou rentrés, etc.), et donne aussi des facteurs de charge limites. On trouve ces valeurs dans la section « Limitations » (fig. 38).

Ces limites ont été calculées, en appliquant une marge de sécurité, pour que les différents constituants de l'avion (ailes, fuselage, gouvernes) restent dans leur domaine élastique. Il ne faudra donc jamais les dépasser.

SECTION 2 LIMITATIONS — SOCATA MODELE TB 9

PLAQUETTES

(1) Bien en vue du pilote, en avant des plafonniers.

CET AVION DOIT ETRE UTILISE EN CATEGORIE NORMALE OU UTILITAIRE CONFORMEMENT AUX PLAQUETTES, INSCRIPTIONS ET MANUEL DE VOL

CATEGORIE NORMALE ET UTILITAIRE :

MASSE MAXIMALE	1060 kg
VITESSE DE MANŒUVRE V_A	227 km/h - 122 kt
VITESSE LIMITE V_{NE}	306 km/h - 165 kt
VITESSE MAXI VOLETS SORTIS V_{FE}	176 km/h - 95 kt

FACTEUR DE CHARGE LIMITE DE CALCUL :

CATEGORIE "N"	VOLETS RENTRES	$-1,5 \leq n \leq +3,8$
	VOLETS BRAQUES	$0 \leq n \leq +2$
CATEGORIE "U"	VOLETS RENTRES	$-1,8 \leq n \leq +4,4$
	VOLETS BRAQUES	$0 \leq n \leq +2$

TOUTE MANŒUVRE ACROBATIQUE EST INTERDITE EN CATEGORIE "N"

EN CATEGORIE "U", SEULES LES MANŒUVRES ACROBATIQUES SUIVANTES SONT AUTORISEES :

	VITESSE D'ENTREE
CHANDELLES	240 km/h - 130 kt
HUIT LENTS	230 km/h - 124 kt
VIRAGES SERRES	200 km/h - 108 kt
DECROCHAGES	

LA VRILLE EST INTERDITE EN CATEGORIE NORMALE ET UTILITAIRE.

LES REPERES, PLAQUETTES ET INSCRIPTIONS CORRESPONDENT A L'UTILISATION EN CATEGORIE NORMALE ET UTILITAIRE.

CONDITIONS DE VOL : VFR DE JOUR
CONDITIONS GIVRANTES INTERDITES

2.12 — 30 Septembre 1989

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 38 – *Les limitations.*

Vieillissement – Notions de fatigue des matériaux

Outre les limites d'utilisation données dans le manuel de vol, il nous faudra tenir compte d'un autre élément qui abaisse la limite élastique des constituants de notre avion : c'est la fatigue des matériaux.

On constate que lorsqu'un matériau est soumis à des contraintes répétées, il casse même si ces contraintes sont en dessous de la contrainte amenant à la rupture. Tous les matériaux ont donc une durée de vie.

Cette durée de vie peut être très longue si les contraintes sont très faibles par rapport au dimensionnement des pièces. C'est le cas du bâtiment, où la longévité des constructions est prioritaire par rapport à la masse structurale, et où l'on dimensionne les structures pour que leur durée de vie soit pratiquement infinie.

En aéronautique, on est limité par la masse de l'avion, les constituants auront donc une durée de vie limitée. C'est pourquoi il sera indispensable de contrôler périodiquement les constituants des avions.

C'est la vocation de la visite d'entretien périodique, qu'il faut scrupuleusement respecter, faute de quoi l'on s'expose à avoir des avions dont certains constituants ont dépassé leur durée de vie théorique, ce qui sous-entend qu'ils peuvent casser même sous l'action d'une contrainte normale.

Efforts subis

Au roulage

C'est surtout le train d'atterrissage qui supporte les efforts dus au roulage. Ceux-ci sont dirigés :

- vers l'arrière pendant le freinage ;
- vers la droite ou la gauche pendant les virages.

Le dimensionnement du train d'atterrissage est le fruit d'un compromis entre son poids, qui doit être le plus faible possible (la vocation d'un avion étant de voler plutôt que de rouler), et sa résistance aux efforts.

Il s'agira donc de veiller à ne pas entraîner des efforts qui pourraient dépasser son domaine d'utilisation :

- prendre garde aux freinages saccadés et brutaux ;
- éviter de tourner avec une vitesse trop importante et un rayon de virage faible.

En évolution

C'est la voilure qui supporte les efforts principaux : elle génère une force aérodynamique quasiment égale et opposée au poids de l'avion, pour permettre sa sustentation.

En virage ou en ressource, la charge sur la voilure augmente par accroissement du facteur de charge *(voir « Pilotage de base – Facteur de charge »)*. Cette charge double en virage à forte inclinaison (60 °), et peut tripler ou plus en ressource brutale. Si l'avion n'est plus très jeune, un pilotage doux s'impose.

Lorsque la vitesse de l'avion est importante (proche de la vitesse maximale), et que l'air est turbulent, on ressent de grandes secousses, parfois très violentes (capable d'assommer un passager ou le pilote, s'ils ne sont pas attachés…).

Ces efforts saccadés et violents sont aussi ressentis par la voilure et par toute la cellule. Il conviendra d'en tenir compte et de réduire la vitesse pour ne pas entraîner des déformations permanentes sur la cellule. Le manuel de vol donne une vitesse limite à ne pas dépasser en atmosphère turbulente : la V_{NO} (pour « Velocity Normal Operating » – vitesse en conditions normales). Il indique aussi une **vitesse de manœuvre V_A** qui est la vitesse maximale permettant de braquer complètement les gouvernes sans dépassement de facteur de charge ; cette vitesse est parfois désignée « V_p » dans certains manuels (à ne pas confondre avec la « vitesse propre » dont il est question dans l'Unité d'Instruction II-3 relative à la navigation). Lors de vol en turbulence moyenne ou sévère ; la vitesse doit être inférieure à la V_A pour ne pas risquer des dépassements de facteur de charge.

En descente

Outre les précautions qu'il faut prendre quant au refroidissement du moteur, et que nous verrons plus loin, nous devons nous préoccuper de ne pas dépasser la vitesse limite que supporte la cellule : la V_{NE} (pour « Velocity Never Exceed » – vitesse à ne jamais dépasser). En effet, même en atmosphère calme, les efforts subis par la cellule au-delà de la V_{NE} peuvent entraîner des déformations permanentes (vrillage du fuselage, etc.) ; ils peuvent aussi entraîner la rupture d'un élément de la cellule même si celui-ci n'a dépassé sa durée de vie théorique. Plus encore, au-delà de la V_{NE}, on risquerait de provoquer le développement de vibrations aéro-élastiques appelées « flutter » (qui veut dire « battement » en anglais), susceptibles d'entraîner très rapidement la rupture d'organes ou de pièces essentielles. Jusqu'à V_{NO}, l'organisme de certification dit : « la probabilité de détruire l'avion est faible ». De V_{NO} à V_{NE} : « Cela peut se produire si des conditions se trouvent réunies ». Au-delà de V_{NE} : « C'est l'inconnu hors du domaine des essais ».

A l'atterrissage

Le train d'atterrissage est encore une fois sollicité lors de l'atterrissage. C'est lui qui amortit le choc du contact des roues avec le sol. C'est pourquoi il sera nécessaire de veiller à ne pas se poser de manière trop brutale (on dit « se poser dur »).

Le train principal est dimensionné pour supporter des vitesses verticales d'au plus 600 ft/min (ce qui constitue déjà un choc très important). En cas d'atterrissage dur, c'est tout l'ensemble de la cellule, les fixations du moteur, etc., qui supportent le choc, et qui voient leur durée de vie diminuer.

En raison des risques de rupture que nous avons vus plus haut, il conviendra de prévenir systématiquement, ou de faire prévenir, le personnel chargé de l'entretien de l'avion en cas d'atterrissage brutal. Celui-ci vérifiera en effet qu'aucune pièce importante ne comporte de « crique », signe d'une rupture proche. C'est la vie des personnes qui utiliseront l'avion après vous que vous sauvegardez de cette manière.

Dans le cas d'un train tricycle, la roulette de nez n'est pas conçue pour amortir le choc de l'atterrissage. Il est par conséquent très important de ne pas se poser sur la roulette de nez, car elle risque de se replier sous le fuselage si le choc est violent (on dit alors qu'elle « s'efface »). On évite cette mésaventure en présentant l'avion, pour l'atterrissage, à une assiette telle que ce soit le train principal qui touche le sol en premier : c'est « l'arrondi », que l'on réalise en cabrant légèrement l'avion.

L'ATMOSPHÈRE TYPE

L'atmosphère terrestre est la couche de gaz qui entoure notre planète. Sa structure verticale est divisée en plusieurs épaisseurs qui se superposent : la troposphère, la stratosphère...

Description de l'atmosphère

Composition et structure verticale de l'atmosphère

Composition

L'atmosphère est un mélange de plusieurs gaz, la plupart en proportion sensiblement constante, à l'exception de quelques gaz rares et de la vapeur d'eau dont la teneur varie en fonction de l'altitude et de l'époque.

Ses composants principaux sont, par ordre d'importance, au niveau de la mer :

- **l'azote**, qui représente en volume 78 % de l'air que nous respirons ;
- **l'oxygène**, à hauteur d'environ 21 % du volume de l'air ;
- **le dioxyde de carbone et l'argon**, qui représentent à eux deux un peu moins de 1 % de l'air (non pollué) ;
- **des gaz dits « rares »**, que l'on ne trouve que sous forme de traces, mais qui, comme l'ozone, peuvent être en proportion plus importante à des altitudes élevées ;
- **la vapeur d'eau**, en proportion faible mais très variable, à l'origine de très nombreux phénomènes météorologiques.

Structure verticale

On divise l'atmosphère en plusieurs couches successives, dont la taille varie avec les conditions météorologiques.

Celle qui nous intéresse le plus, la **troposphère**, s'étend du sol jusqu'à une altitude moyenne d'environ 11 000 mètres (8 000 m aux pôles 17 000 à l'équateur). C'est dans cette couche qu'évoluent la majorité des avions civils (à l'exception du supersonique Concorde qui, en croisière, évolue dans la stratosphère), et que se produisent la presque totalité des phénomènes météorologiques.

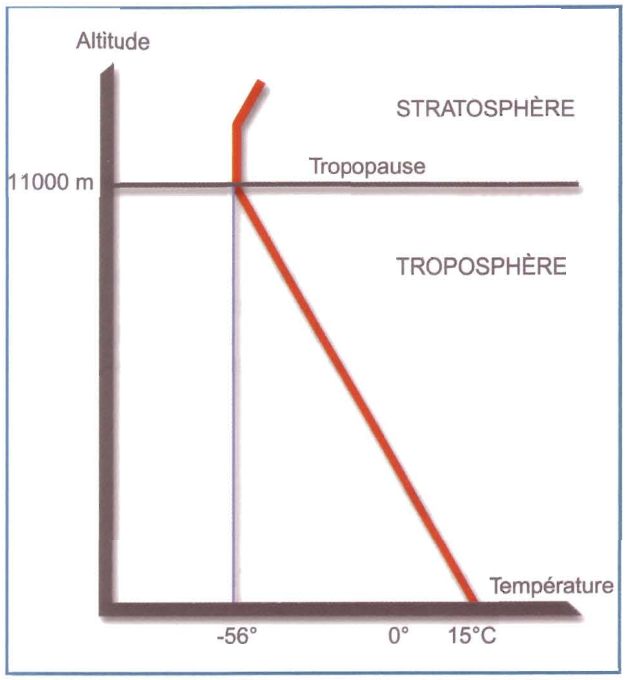


Fig. 39 – *Atmosphère standard : l'évolution de la température en fonction de l'altitude.*

Sa limite supérieure, la **tropopause**, la sépare de la couche qui la surplombe, que l'on appelle stratosphère.

La troposphère se caractérise par une température qui diminue jusqu'à atteindre une valeur moyenne d'environ – 56 °C. La température se stabilise ensuite à cette valeur : c'est la tropopause (fig. 39).

Puis elle augmente jusqu'aux environs de 0 °C : c'est la **stratosphère**. Notons que ce réchauffement est dû à la présence d'ozone qui filtre le rayonnement ultraviolet en provenance du soleil. C'est l'absorption de cette énergie par l'ozone qui réchauffe la stratosphère.

Paramètres caractéristiques de l'atmosphère

L'atmosphère, dans laquelle évolue notre avion, est caractérisée par plusieurs paramètres, certains étant fréquemment utilisés dans la vie courante, d'autres moins :

La température

Elle traduit la sensation de chaud ou de froid, elle s'exprime en France le plus souvent en degré Celsius, ou °C, mais son unité internationale est le Kelvin (K), (°K = 273 + °C), °F aux USA.

La pression

Elle exprime le poids exercé par la masse de l'air situé au-dessus de la surface de mesure (expérience de Torricelli), son unité est **l'hectopascal** (hPa).

La densité

C'est le rapport entre la masse d'1 m^3 d'air, à une pression et à une température donnée, et la masse d'1 m^3 d'air au niveau de la mer (qui vaut 1,225 kg à 15 °C). C'est donc un nombre sans dimension (sans unité).

Le degré hygrométrique

Il traduit l'humidité relative de l'air.

Ces paramètres varient lentement d'un jour à l'autre et, à un même instant, suivant la position géographique, mais ils varient rapidement, en fonction de l'altitude, si l'on s'élève à la verticale d'un lieu.

On appellera « **surface isobare** » l'ensemble des points de l'atmosphère étant à la même pression (fig. 40), et « **surface isotherme** » l'ensemble des points étant à la même température.

Représentation dans l'espace des surfaces isobares correspondant à 3 valeurs de la pression atmosphérique (P1, P2 et P3).

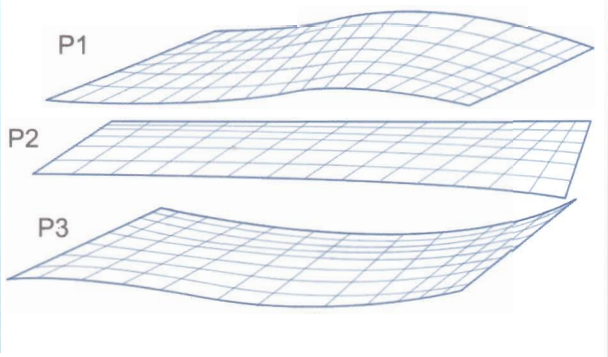


Fig. 40 – *Les surfaces isobares.*

Le modèle de l'atmosphère type

Dans leur étude statistique de l'atmosphère les météorologistes ont établi des valeurs moyennes de la température, la pression, la densité au sol et en altitude. On a donc créé un modèle d'atmosphère théorique appelé atmosphère type ou atmosphère standard ayant les critères principaux suivants :

- la pression au niveau de la mer (donné en France par un repère situé dans le port de Marseille), est de **1 013,25 hPa** ;
- la température au niveau de la mer est de **+ 15 °C**.

D'autres conditions sont prises en compte, à savoir :

- l'air est sec (0% d'humidité relative), est un gaz parfait et sa composition chimique est constante ;
- la masse volumique est de 1,225 kg/m3.

Seules la pression et la température vous seront utiles en raison de leur variation en fonction de l'altitude (voir tableau page suivante) ; cette variation obéit aux lois suivantes :

Température

Abaissement continu de la température de 2 °/1 000 ft, ou 6,5 °/1 000 m, jusqu'à atteindre – 56,5 °C à 11 000 m.

Pression

Abaissement continu mais non linéaire (décroissance de moins en moins prononcée à mesure que l'on s'élève). Ainsi, la pression diminue de 1 hPa par 27,31 ft au du niveau de la mer, mais seulement de 1 hPa par 73 ft aux environs de 30 000 ft.

Il faut bien garder à l'esprit que l'atmosphère-type n'est qu'un modèle théorique. Ce modèle n'en est pas moins très utile : il est en effet simple de dire si les paramètres qui caractérisent l'atmosphère réelle (température, pression, etc.) sont voisins ou éloignés de l'atmosphère-type.

C'est donc une **référence** qui permet au pilote de se faire une idée de l'état de l'atmosphère en la comparant à une atmosphère théorique pour laquelle certains résultats sont connus (par exemple l'indication de l'altimètre).

Exemple d'utilisation de l'atmosphère-type comme référence

Si, à 2 000 ft, un pilote constate que la température extérieure T vaut + 5 °C, alors qu'il peut lire sur une table d'atmosphère-type que la température standard Tsd à cette altitude est de + 11 °C, il constatera qu'il se trouve dans de l'air froid, on dira alors « en conditions standard – 6 ° ».

L'air étant plus froid donc plus dense, l'altitude réelle sera inférieure à l'altitude lue, il y a donc DANGER et une correction doit être éventuellement envisagée pour franchir un relief (*cf. Informations pratiques en page 103*).

Altitude		Pression	Température
ft	m	hPa	°C
45 000	13 716	148,2	– 56,5
44 000	13 411	155,4	– 56,5
43 000	13 106	163,0	– 56,5
42 000	12 802	171,0	– 56,5
41 000	12 497	179,4	– 56,5
40 000	12 192	188,2	– 56,5
39 000	11 887	197,5	– 56,5
38 000	11 582	207,1	– 56,5
37 000	11 278	217,3	– 56,5
36 000	10 973	228,0	– 56,2
35 000	10 668	239,1	– 54,2
34 000	10 363	250,6	– 52,3
33 000	10 058	262,6	– 50,3
32 000	9 754	275,1	– 48,3
31 000	9 449	288,1	– 46,3
30 000	9 144	301,5	– 44,4
29 000	8 839	315,4	– 42,4
28 000	8 534	329,9	– 40,4
27 000	8 230	344,9	– 38,4
26 000	7 925	360,4	– 36,5
25 000	7 620	376,5	– 34,5
24 000	7 315	393,2	– 32,5
23 000	7 010	410,5	– 30,5
22 000	6 706	428,3	– 28,5
21 000	6 401	446,8	– 26,6
20 000	6 096	466,0	– 24,6
19 000	5 791	485,8	– 22,6
18 000	5 486	506,3	– 20,6
17 000	5 182	527,5	– 18,7
16 000	4 877	549,4	– 16,7
15 000	4 572	572,1	– 14,7
14 000	4 267	595,5	– 12,7
13 000	3 962	619,6	– 10,7
12 000	3 658	644,6	– 8,8
11 000	3 353	670,4	– 6,8
10 000	3 048	696,9	– 4,8
9 000	2 743	724,4	– 2,8
8 000	2 438	752,7	– 0,8
7 000	2 134	781,9	+ 1,1
6 000	1 829	812,0	+ 3,1
5 000	1 524	843,1	+ 5,1
4 000	1 219	875,1	+ 7,1
3 000	914	908,1	+ 9,1
2 000	610	942,1	+ 11,0
1 000	305	977,2	+ 13,0
0	0	1013,2	+ 15,0
– 1 000	– 305	1050,4	+ 17,0
– 2 000	– 610	1088,7	+ 19,0

POURQUOI L'AVION VOLE

Les connaissances théoriques qui permettent de répondre à ces questions vont vous être d'une grande utilité : vous allez pouvoir, grâce à elles, élaborer des techniques qui vous permettront de contrôler votre avion et de voler en toute sécurité.

Nous étudierons l'avion dans son entier, en le considérant comme un ensemble indissociable, et non comme un puzzle dont les pièces (ailes, fuselages, empennage, etc.) seraient indépendantes.

Modélisation

Contrairement à un ballon à air chaud, un avion à l'arrêt reste au sol : pour voler, il faut qu'il se déplace par rapport à l'air ambiant. Ce déplacement crée sur les surfaces de l'avion (ailes, fuselage, empennage, dérive) des forces qui lui permettent de décoller et de se maintenir en l'air.

Pour pouvoir étudier ces forces sans être obligés de nous accrocher aux roues d'un avion en vol, nous allons placer un avion à l'arrêt dans un fort courant d'air. En effet, un avion se déplaçant par rapport à l'air ambiant avec une certaine vitesse se comporte, du point de vue aérodynamique, comme un avion à l'arrêt sur lequel souffle un vent de même vitesse. C'est ce principe qui est utilisé dans les souffleries.

On parle ainsi de **vent relatif** : les raisonnements sur un avion en déplacement ou un avion « soufflé » sont voisins.

On peut modéliser l'écoulement de l'air autour de l'avion par des « tubes de courant ». Ce sont des sortes de tuyaux d'air de section variable, dont la forme « suit » l'écoulement. On arrive à les matérialiser dans une soufflerie par de fins jets de fumée placés en amont de l'avion (fig. 35).

Écoulement d'air autour d'un objet

Pour les besoins de notre étude, considérons un avion placé dans un courant d'air et observons ce qui se passe autour de son aile (fig. 41).

Nous constatons que l'air contourne l'aile par le haut et par le bas.

Nous appellerons « extrados » la partie supérieure de l'aile, et « intrados » la partie inférieure.

Nous parlerons aussi de « bord d'attaque » pour désigner le point extrême avant de l'aile, et de « bord de fuite » pour parler de point extrême arrière (fig. 42).

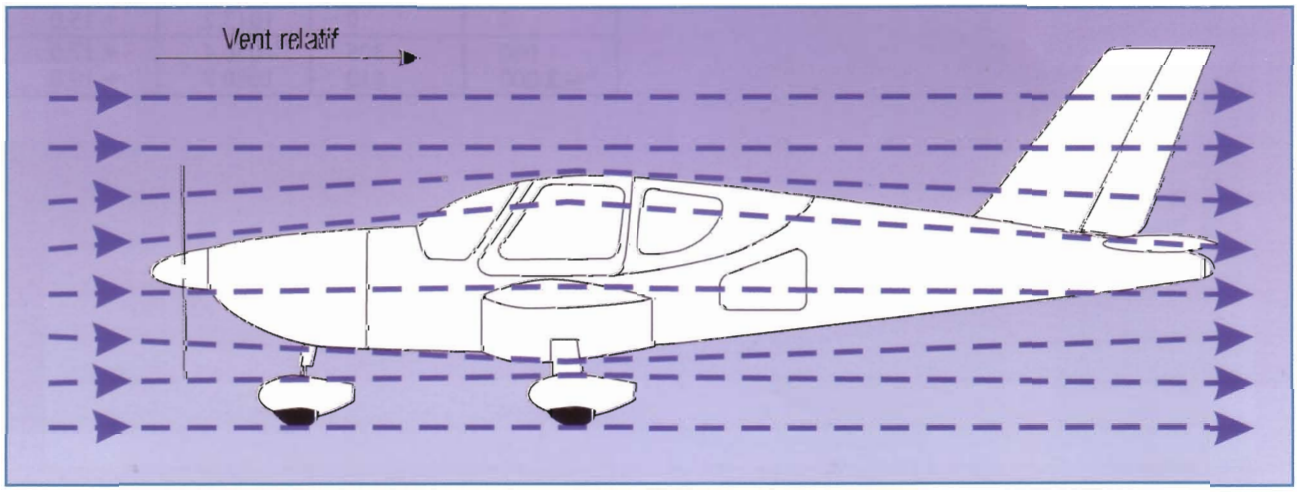


Fig. 41 – *Les jets de fumée matérialisent les tubes de courants.*

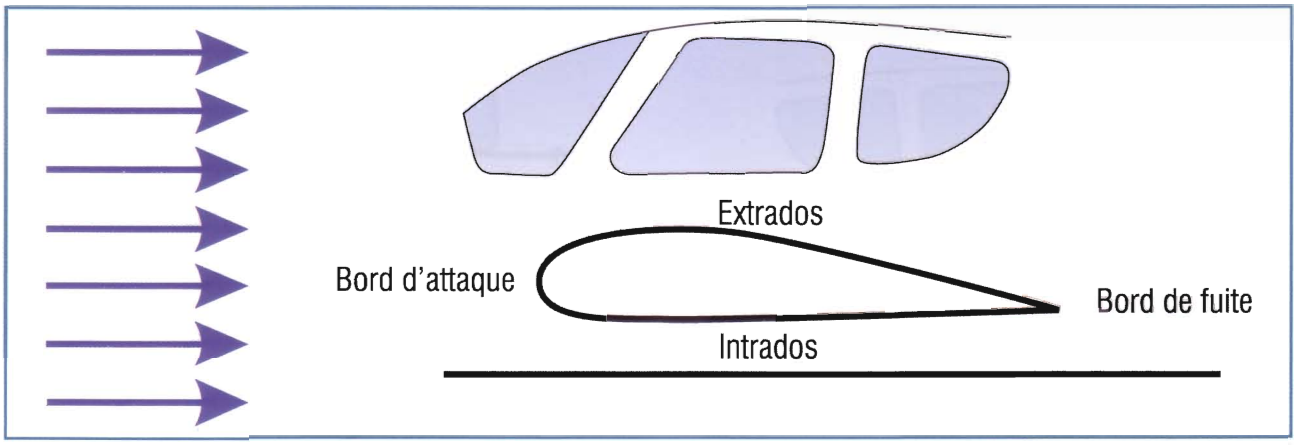


Fig. 42 – *Les points caractéristiques d'un profil d'aile.*

Force agissant sur un profil : la résultante aérodynamique

Relation vitesse-pression dans un tube de courant

On constate que la pression prise perpendiculairement à l'écoulement (pression statique) diminue lorsque la vitesse d'un fluide augmente dans un tube de courant.

Ce phénomène est facilement mis en évidence grâce à l'expérience schématisée à la figure 43.

Ainsi, la pression statique varie dans le sens inverse de la vitesse : plus un fluide accélère, plus la pression statique de ce fluide diminue.

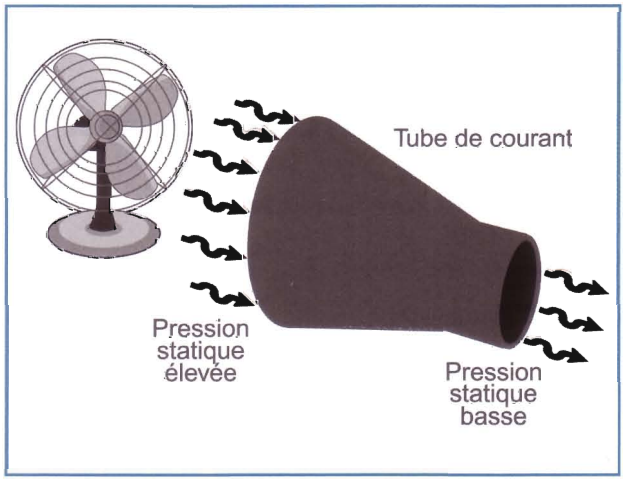


Fig. 43 – *Dans un tube de courant, la pression statique diminue lorsque la vitesse augmente.*

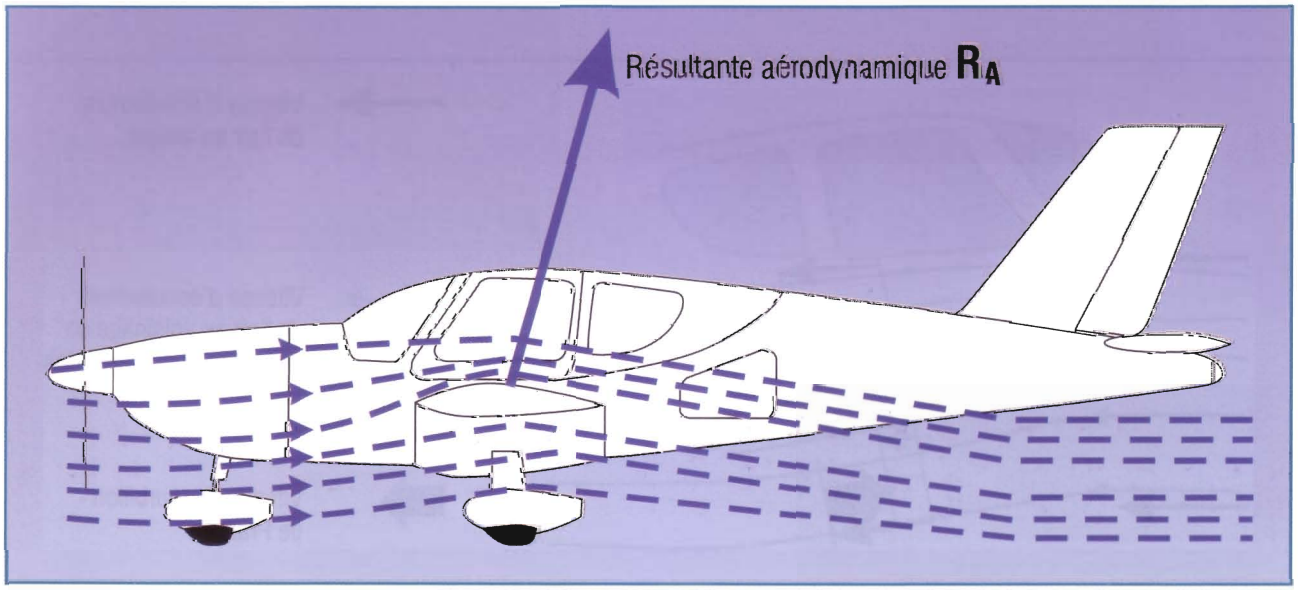


Fig. 44 – *L'air contourne l'aile par l'extrados, et génère ainsi une force portante.*

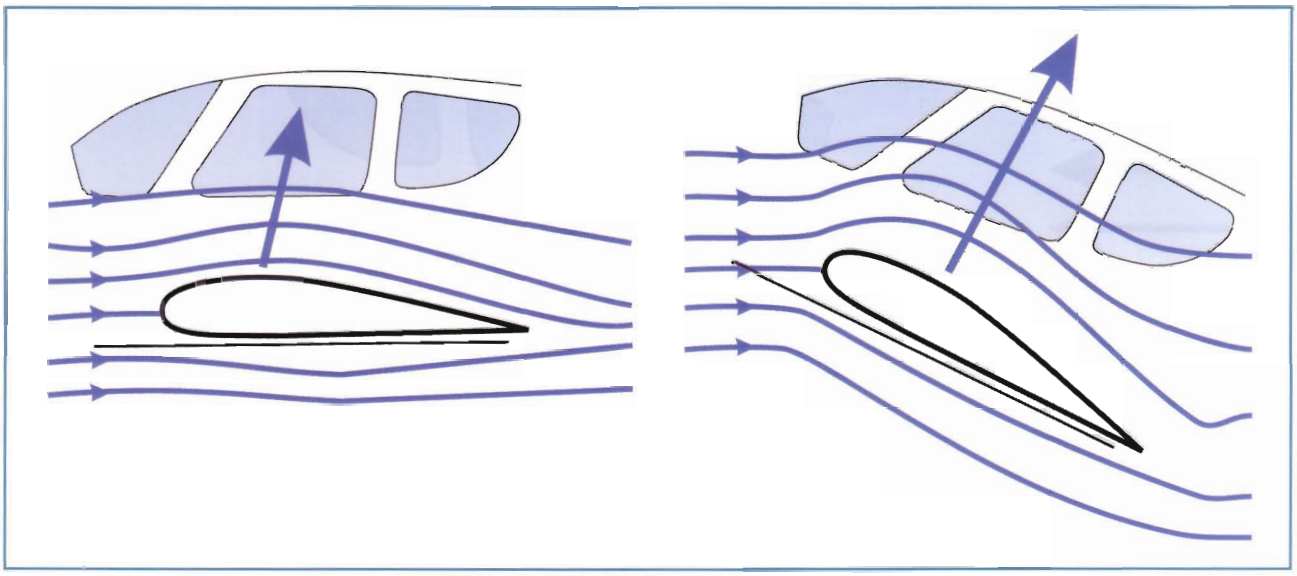


Fig. 45 – *Résultante aérodynamique et incidence sont liées.*

Comment créer une force portante ?

La résultante aérodynamique

Considérons notre avion dans un écoulement d'air.

Que constate-t-on ?

L'air à l'extrados de l'aile est contraint à un parcours plus long, donc à une plus grande vitesse. Il règne donc une pression plus faible sur l'extrados.

Réciproquement, sur l'intrados, la vitesse d'écoulement de l'air est ralentie et la pression légèrement plus élevée.

L'air est dévié vers le bas à l'arrière du profil.

La dépression sur l'extrados, la pression sur l'intrados et la déviation de l'air vers le bas engendrent une force portante sur l'aile, dirigée vers le haut (fig. 44 et 45).

Cette force est appelée « **résultante aérodynamique** ».

L'incidence

La déformation des tubes de courant au voisinage de l'aile est génératrice de la dépression à l'extrados et de la pression à l'intrados. Elle est d'autant plus grande que l'angle formé entre l'aile et le vent relatif est important (fig. 45). La résultante aérodynamique est donc d'autant plus grande que cet angle, appelé « incidence », est plus grand.

Par convention, nous appellerons « corde du profil » la droite joignant le bord d'attaque et le bord de fuite.

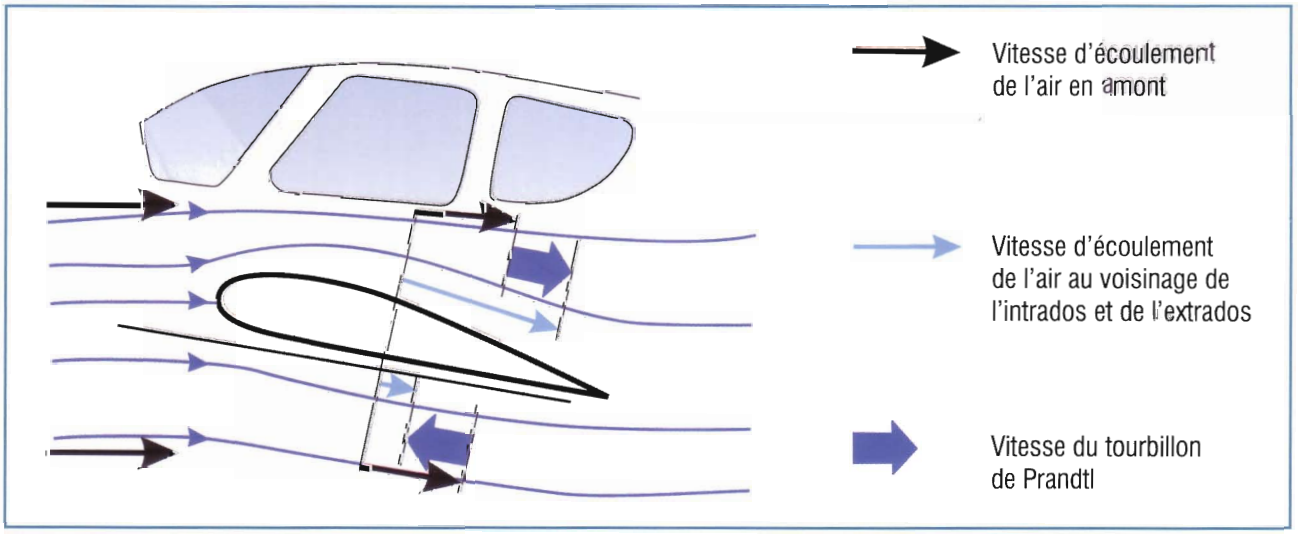


Fig. 46 – *Dissymétrie d'écoulement et tourbillon de Prandtl.*

Au regard de cette convention, l'incidence est l'angle formé par la corde de profil et la direction du vent relatif. Cet angle peut être positif, nul, ou négatif.

Dans la pratique, la corde de profil n'étant pas concrètement matérialisée, l'incidence est comptée à partir d'une référence liée à l'avion grâce à un axe défini par rapport au fuselage.

Pour en savoir plus :
l'incidence et le Tourbillon de Prandtl

L'écoulement de l'air autour de l'aile est dissymétrique, un peu à cause de la forme de l'aile, mais surtout dès lors que l'incidence n'est pas nulle. L'analyse mathématique de l'écoulement montre que cette dissymétrie est équivalente à un tourbillon (fig. 46), qui est appelé « tourbillon de Prandtl », du nom de l'aérodynamicien allemand qui, le premier, l'a décrit.

Cette dissymétrie de l'écoulement est la cause de l'apparition de la résultante aérodynamique. Les trois phénomènes, augmentation de l'incidence, augmentation de la force portante et augmentation du tourbillon de Prandtl sont intimement liés, et indissociables.

Ce tourbillon explique la forme particulière ue revêt la turbulence créée par les avions. On verra dans le paragraphe « Conséquences du tourbillon de Prandtl » une mise en évidence de ce phénomène.

La résultante aérodynamique décomposition en portance et traînée

Un avion placé dans un écoulement subit la résultante aérodynamique.

Cette force peut être portante si le profil de l'aile a la forme et la position adéquates.

La résultante aérodynamique est orientée vers le haut, et légèrement vers l'arrière (fig. 47).

Nous voyons donc que la résultante aérodynamique agit de deux manières sur l'avion :

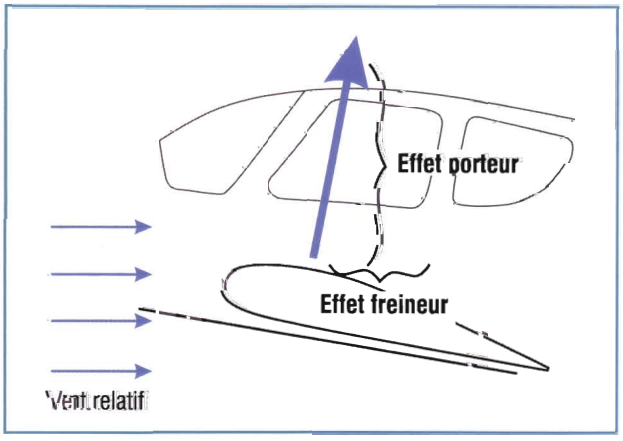


Fig. 47 – *Effet porteur et freineur de la résultante aérodynamique.*

Rappel :

– sur un planeur $\frac{X_A}{Z_A} = \frac{1}{60}$

– sur un avion $\frac{X_A}{Z_A} = \frac{1}{15}$

Sur ce schéma, X_A a été volontairement agrandi pour faciliter la compréhension.

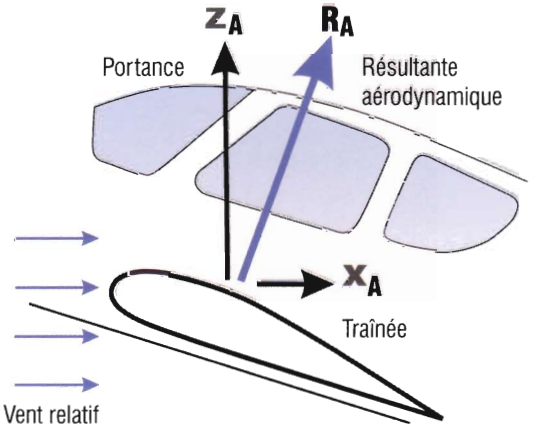


Fig. 48 – *La résultante aérodynamique se décompose en portance et traînée.*

- elle a un effet porteur,
- elle a un effet freineur.

Nous décomposerons **conventionnellement** la résultante aérodynamique R_A en deux forces correspondant à ces deux effets (fig. 48) :

- La **portance Z_A, perpendiculaire au vent relatif**, qui permet la sustentation,
- La **traînée X_A, parallèle au vent relatif**, qui s'oppose au déplacement.

Remarquons que la portance est perpendiculaire au vent relatif, et qu'ainsi elle n'est pas toujours verticale : imaginons par exemple un avion de voltige en montée très accentuée (avec une pente de montée très forte).

Dans ce cas, le vent relatif est presque vertical (puisque la trajectoire est elle aussi pratiquement verticale), la portance est alors très proche de l'horizontale (fig. 49).

Conséquences du tourbillon de Prandtl

Chaque fois qu'il y a portance, il y a nécessairement tourbillon autour du profil. Nous avons vu la différence de vitesse d'écoulement entre l'extrados et l'intrados. Et nous avons vu aussi comment cette dif-

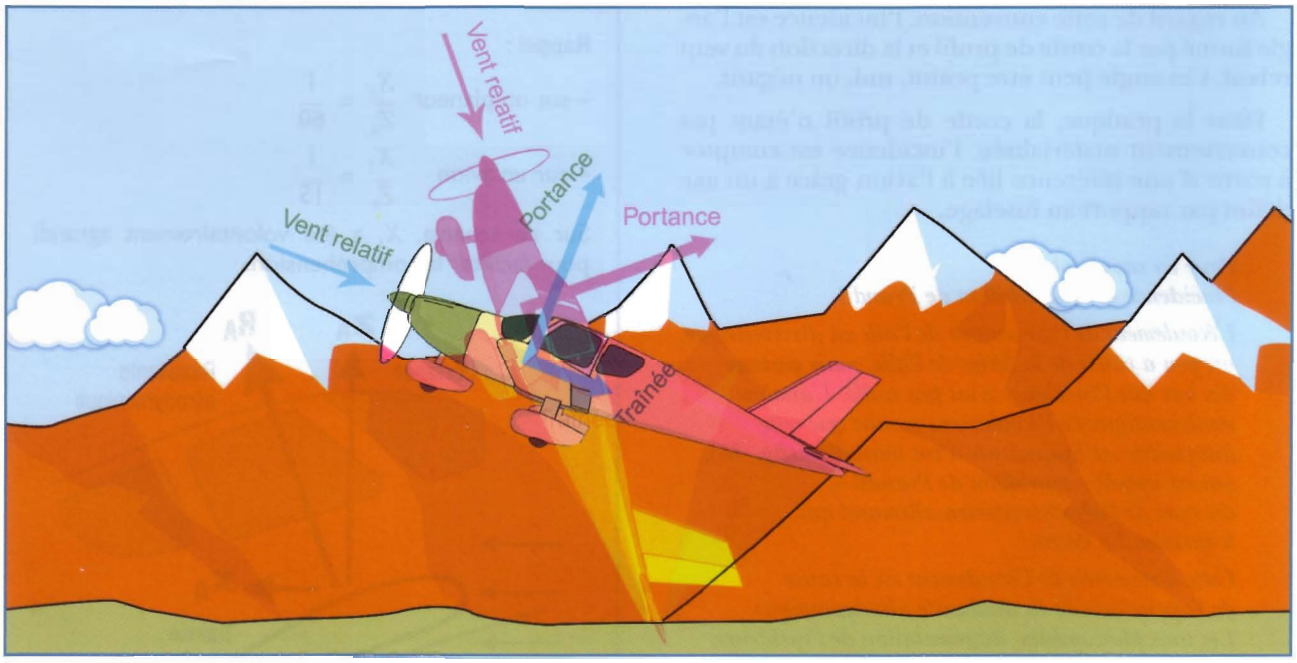


Fig. 49 – *La portance est perpendiculaire au vent relatif.*

férence de vitesse engendre la résultante aérodynamique. Mais ce tourbillon est aussi responsable de certaines nuisances.

Que se passe-t-il en bout d'aile ?

Ne rencontrant plus de surface qui le « guide » dans le sens de l'écoulement, le tourbillon se replie en bout d'aile sous l'effet du vent relatif (fig. 50).

Cette partie du tourbillon est appelé « **tourbillon marginal** ». Il a deux conséquences :

La traînée induite

Le tourbillon marginal génère une traînée appelée « traînée induite ».

Le vortex que nous voyons en figure 50 correspond à la mise en mouvement d'une grande quantité d'air. Pour mettre en mouvement une telle masse d'air, il faut dépenser beaucoup d'énergie. Cette dépense se traduit par une résistance à l'avancement de l'avion, donc à une traînée. C'est la traînée induite.

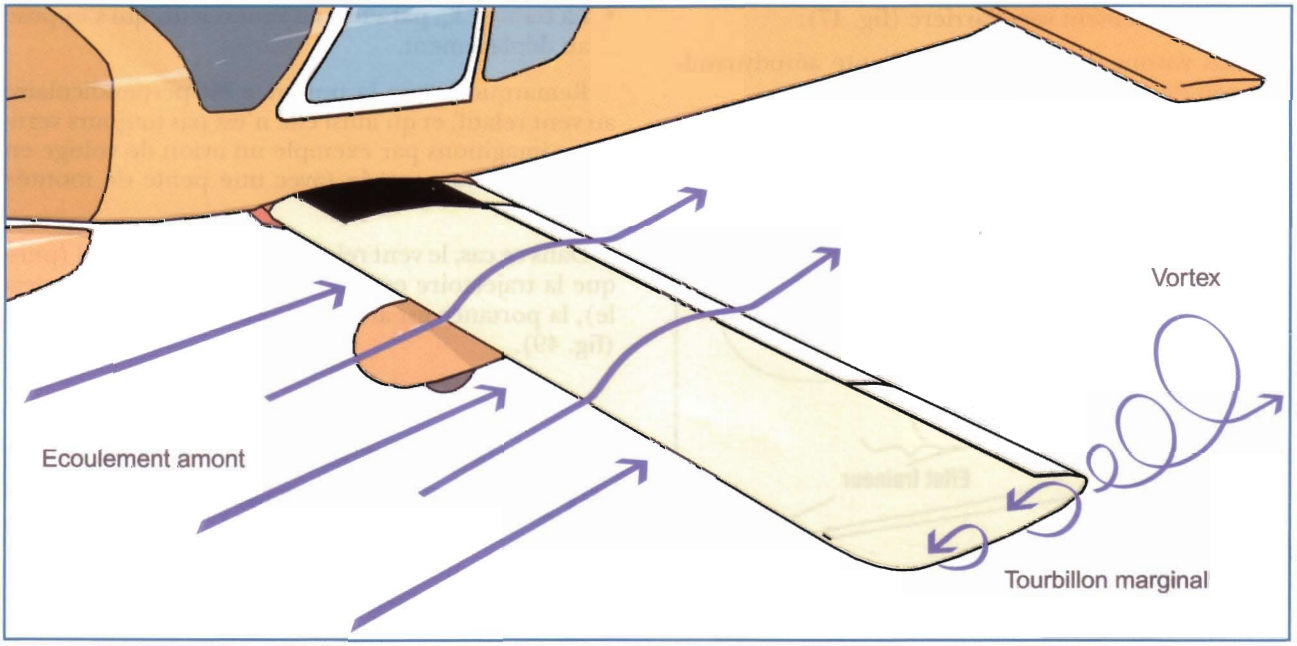


Fig. 50 – *Le tourbillon de Prandtl se replie en bout d'aile.*

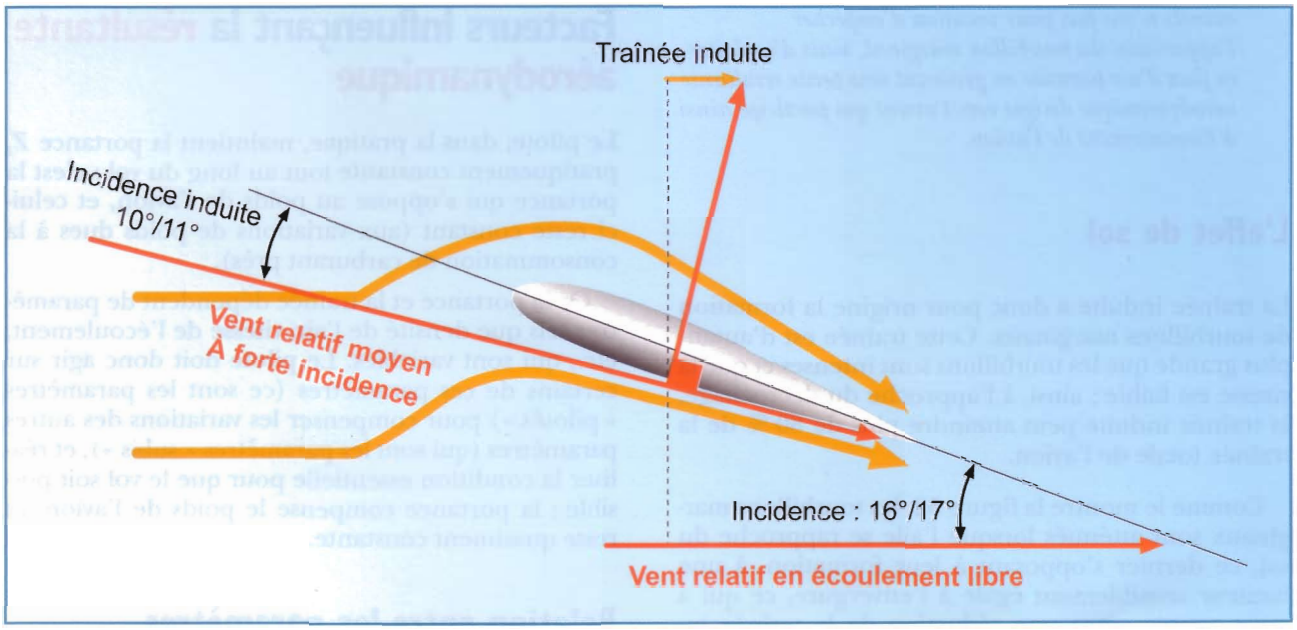


Fig. 51 – *La portance, toujours perpendiculaire au vent relatif, génère une traînée induite.*

Notons que la traînée totale d'un avion est en fait l'addition de trois traînées d'origines différentes :

- la traînée induite, parce qu'elle est une conséquence directe et incontournable du tourbillon de Prandtl, et qu'elle est donc « induite », curieusement, par la portance ;
- la traînée dite « de frottement », causée par le frottement de l'air sur toute la peau de l'avion ;
- la traînée « de profil », dont la description est plus complexe, et qui est générée par la zone turbulente existant au voisinage du bord de fuite.

Pour en savoir plus : la traînée induite

Les tourbillons marginaux évoqués plus haut provoquent une déviation de l'air vers le haut en avant de l'aile et vers le bas derrière celle-ci. Une aile en vol horizontal et à basse vitesse est à une incidence proche de l'incidence du C_z max. Mais la déviation des filets d'air ramène cette incidence à une valeur nettement inférieure du fait de la direction du vent relatif moyen (fig. 51).

Comme la portance est perpendiculaire à l'écoulement amont et que celui-ci s'incline vers le bas, la portance s'incline vers l'arrière. Sa composante arrière s'oppose à l'avancement de l'avion : elle a les caractéristiques d'une traînée. C'est la traînée induite.

Plusieurs remèdes sont utilisés pour diminuer la traînée induite, la solution générale étant de réduire l'influence du tourbillon marginal.

Les planeurs, par exemple, utilisent des ailes de grand allongement.

On pourrait penser à la solution consistant à placer de petites ailettes verticales en bout d'aile. En fait, ces petites ailettes que l'on appelle « winglets » et que l'on rencontre sur les avions de transport

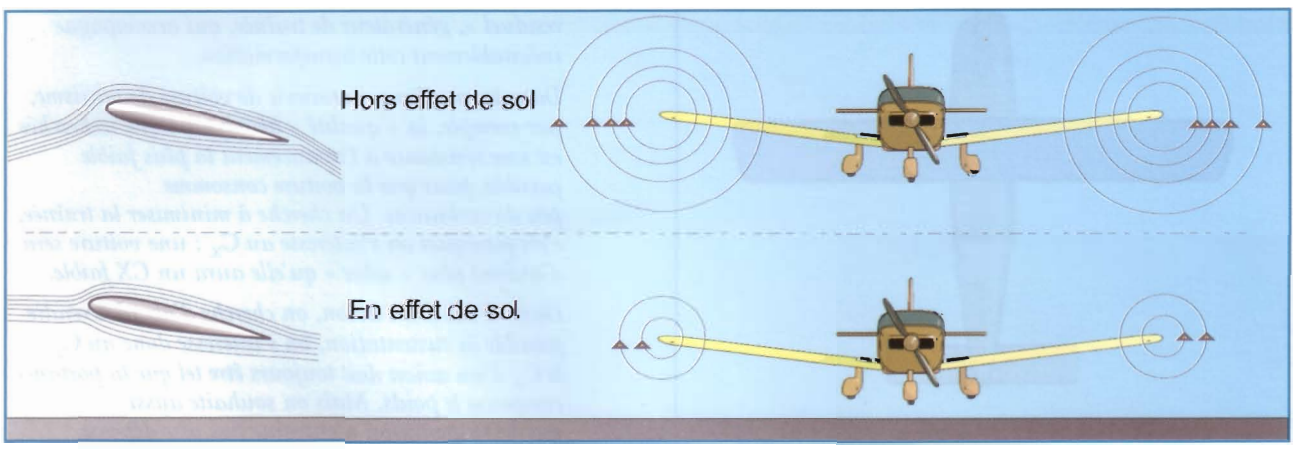


Fig. 52 – *Mise en évidence de la déviation de l'effet de sol.*

actuels n'ont pas pour vocation d'empêcher l'apparition du tourbillon marginal, mais d'exploiter ce flux d'air parasite en générant une petite résultante aérodynamique dirigée vers l'avant qui participe ainsi à l'avancement de l'avion.

L'effet de sol

La traînée induite a donc pour origine la formation de tourbillons marginaux. Cette traînée est d'autant plus grande que les tourbillons sont intenses et que la vitesse est faible ; ainsi, à l'approche du décrochage, la traînée induite peut atteindre plus de 80 % de la traînée totale de l'avion.

Comme le montre la figure 52, les tourbillons marginaux sont atténués lorsque l'aile se rapproche du sol, ce dernier s'opposant à leur formation, à une hauteur sensiblement égale à l'envergure, ce qui a pour conséquence une réduction de la traînée induite modifiant ainsi les performances au décollage et à l'atterrissage. Les conséquences sur les performances sont détaillées dans les chapitres consacrés à ces manœuvres. Notez que les avions à aile basse vont bénéficier de l'effet de sol bien plus que les avions à aile haute.

La turbulence de sillage

Enfin, une autre conséquence des tourbillons marginaux est l'apparition du vortex en bout d'aile, sorte de tourbillon qui s'enroule sur lui-même et dont le diamètre augmente au cours du temps.

Ce phénomène, de faible importance sur les avions légers, peut prendre des proportions considérables dans le cas d'avions plus lourds : un avion de faible masse qui suivrait un tel appareil risquerait d'être emporté par le vortex jusqu'à se retrouver « sur le dos », sans que le pilote ne puisse s'y opposer.

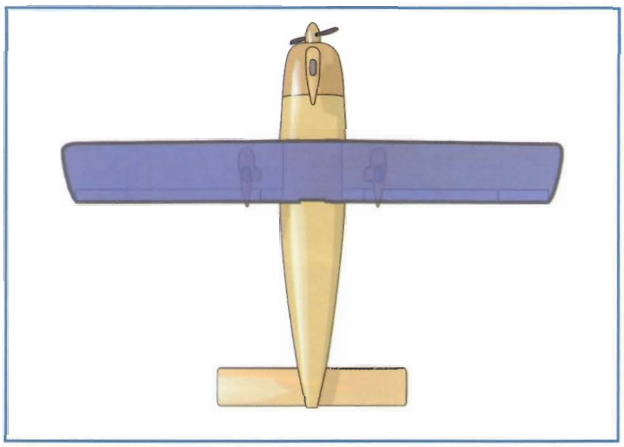


Fig. 53 – *La surface alaire comprend aussi une partie du fuselage.*

Facteurs influençant la résultante aérodynamique

Le pilote, dans la pratique, maintient la portance Z_A pratiquement constante tout au long du vol : c'est la portance qui s'oppose au poids de l'avion, et celui-ci reste constant (aux variations de poids dues à la consommation de carburant près).

Or la portance et la traînée dépendent de paramètres tels que densité de l'air, vitesse de l'écoulement, etc., qui sont variables. Le pilote doit donc agir sur certains de ces paramètres (ce sont les paramètres « pilotés ») pour compenser les variations des autres paramètres (qui sont les paramètres « subis »), et réaliser la condition essentielle pour que le vol soit possible : la portance compense le poids de l'avion, et reste quasiment constante.

Relation entre les paramètres

L'expérimentation montre que la portance Z_A et la traînée X_A dépendent :

- de la masse volumique de l'air ρ (rhô),
- de la vitesse d'écoulement de l'air V,
- de la surface alaire S (fig. 53),
- de coefficients aérodynamiques que l'on note C_Z et C_X, par analogie avec Z_A et X_A, et qui varient avec l'incidence, la forme de l'aile, son état de surface,

Ces paramètres sont liés par les deux relations suivantes :

relation donnant la portance : $Z_A = 1/2\ \rho\ V2\ S\ C_Z$

relation donnant la traînée : $X_A = 1/2\ \rho\ S\ V2\ C_X$

Pour en savoir plus : Les coefficients aérodynamiques C_Z et C_X

Ces coefficients sont le reflet des qualités aérodynamiques d'un volume placé dans un écoulement.

Le C_Z traduit l'aptitude du volume (par exemple une aile d'avion) à transformer en portance les pressions exercées sur lui par les tubes de courant qui le contournent. Le C_X est le coefficient de « défaut résiduel », générateur de traînée, qui accompagne inévitablement cette transformation.

Dans le cas d'une carrosserie de voiture de tourisme, par exemple, la « qualité » aérodynamique recherchée est une résistance à l'avancement la plus faible possible, pour que la voiture consomme peu de carburant. On cherche à minimiser la traînée, c'est pourquoi on s'intéresse au C_X : une voiture sera d'autant plus « sobre » qu'elle aura un CX faible.

Dans le cas d'un avion, on cherche d'abord à rendre possible la sustentation, on s'intéresse donc au C_Z : le C_Z d'un avion doit toujours être tel que la portance compense le poids. Mais on souhaite aussi que la sustentation n'entraîne pas une dépense d'énergie telle qu'il faudrait embarquer un moteur trop lourd. On cherchera par conséquent à minimiser

les défauts générateurs de traînée : on fera en sorte que le C_X soit le plus faible possible.

Le C_Z est le reflet de l'aptitude d'un avion à se maintenir en l'air malgré son poids : sa dégradation (une forte diminution) compromet cette aptitude.
Le C_X traduit l'importance du « défaut résiduel » générateur de traînée : une forte augmentation du C_X entraîne une incapacité du moteur à fournir l'énergie nécessaire au vol.

Les paramètres subis

Ce sont la masse volumique de l'air, la forme de l'aile et son état de surface (poussière, neige, etc.)

La masse volumique de l'air

Elle varie en fonction de l'altitude et de la température : elle diminue lorsque l'altitude augmente et elle diminue aussi lorsque la température augmente.

Une diminution de la masse volumique de l'air entraîne une diminution de la résultante aérodynamique. C'est par exemple le cas lorsque vous arrivez en courte finale sur une piste chaude (par forte chaleur). Ce phénomène, appelé « gradient de température », a les effets suivants : la masse volumique de l'air étant plus faible à cet endroit, l'avion s'enfonce. Le pilote contrera ce phénomène en augmentant l'incidence : il compensera ainsi une diminution d'un des paramètres (la masse volumique) par l'augmentation d'un autre paramètre (l'incidence).

Surface alaire et allongement

La surface alaire S

C'est la surface totale de la voilure, y compris celle qui traverse le fuselage. Lorsque les autres paramètres restent constants, la résultante aérodynamique Ra est proportionnelle à la surface alaire (fig. 54).

Notons que sur certains avions, il est possible de modifier la surface de l'aile, grâce à l'utilisation de volets particuliers, appelés volets Fowler.

L'allongement

C'est le rapport de l'envergure de l'aile (longueur mesurée d'une extrémité d'aile à l'autre) sur la longueur de la corde moyenne (rappelons que la corde est la distance séparant le bord d'attaque du bord de fuite) :

Comment évolue la résultante aérodynamique en fonction de l'allongement ?

Nous avons déjà abordé cette question dans « Conséquences du tourbillon de Prandtl » : nous nous étions rendu compte qu'un tourbillon marginal apparaît à l'extrémité d'aile et qu'il est générateur d'une traînée appelée traînée induite. En réduisant la longueur de la corde d'extrémité d'aile, on réduit les effets de ce tourbillon, c'est-à-dire cette traînée.

Augmenter l'allongement, c'est précisément diminuer la longueur de la corde de l'aile par rapport à

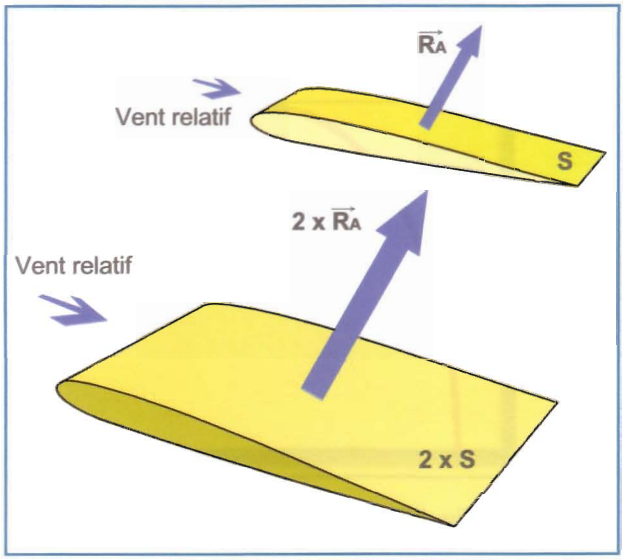


Fig. 54 – *La résultante aérodynamique est proportionnelle à la surface alaire.*

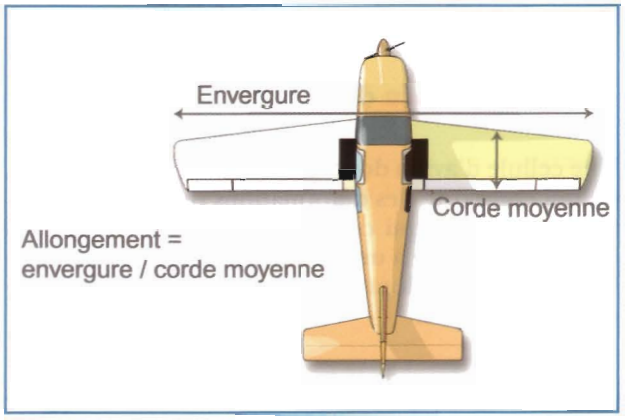


Fig. 55 – *Définition de l'allongement.*

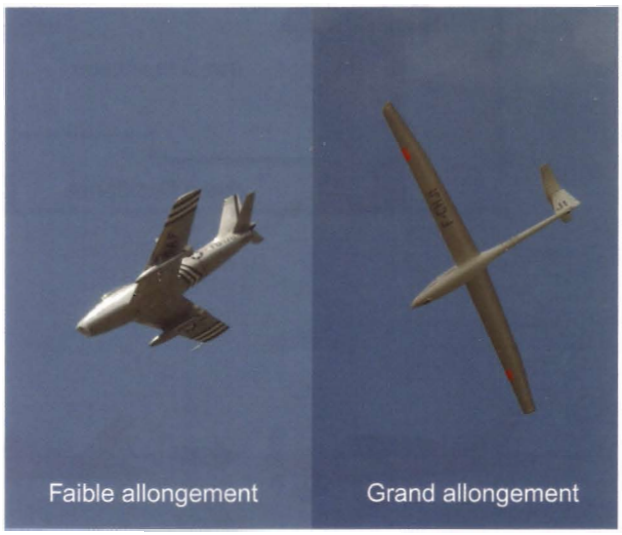


Fig. 56 – *L'allongement est choisi en fonction des performances souhaitées.*

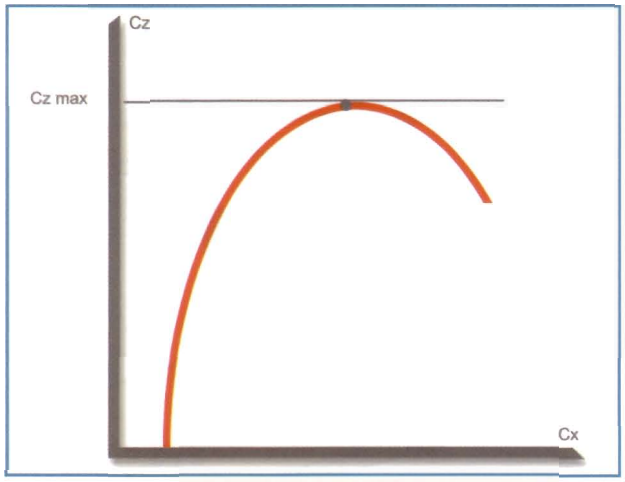


Fig. 57 – *Évolution de C_Z et C_X avec l'incidence : la polaire.*

l'envergure totale. Ainsi, l'augmentation de l'allongement entraîne une diminution de la traînée induite. C'est d'ailleurs ce phénomène qui conduit à l'extrême allongement des ailes des planeurs.

L'état de surface de la cellule

Une cellule d'avion dont la surface est rugueuse, sale, ou qui comporte des déformations dues au vieillissement ou même qui comporte un dépôt de gouttes d'eau ou de glace a une traînée plus importante que la même cellule dont l'état de surface est de bonne qualité et propre.

Les paramètres pilotés

Ce sont la vitesse, l'incidence et la courbure (éventuellement conjuguée avec la surface) de l'aile.

La vitesse

La résultante aérodynamique est proportionnelle au carré de la vitesse. Si le pilote doublait la vitesse sans modifier aucun autre paramètre, la résultante aérodynamique serait multipliée par 4, ce qui n'est pas envisageable dans la pratique puisque la portance reste quasiment constante pendant tout le vol (y compris en montée ou en descente).

Ainsi, à chaque modification de vitesse, le pilote agit sur un autre paramètre piloté (l'incidence, par exemple) pour maintenir la portance constante.

L'incidence

Lorsque l'incidence augmente, les coefficients C_Z et C_X augmentent aussi. C_Z passe par une valeur maximum pour une incidence de l'ordre de 15 ° à 18 ° pour les avions légers ($C_{X\,MAX}$), puis décroît brusquement (fig. 57). On dit alors que l'aile décroche. Dans le même temps, C_X augmente.

Dans la réalité du pilotage des avions, la vitesse et l'incidence sont intimement liées l'une à l'autre, du fait de la portance constante.

En effet, en palier, c'est-à-dire en vol horizontal, la portance reste quasiment constante car elle compense le poids de l'avion. Si la vitesse augmente, la

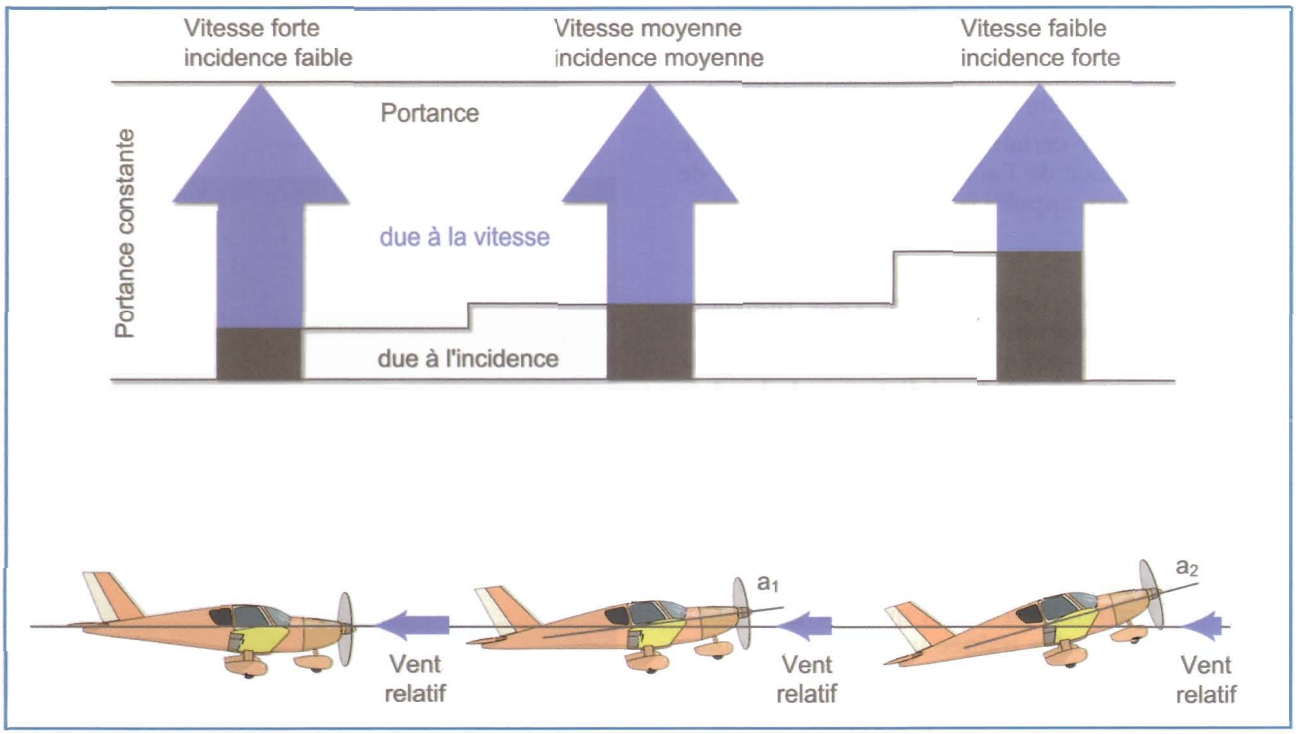


Fig. 58

portance va augmenter. Le pilote, qui souhaite que son avion reste en palier, doit maintenir la portance constante. Il doit donc diminuer l'incidence. Autrement dit, lorsque la vitesse augmente, le pilote diminue l'incidence pour maintenir l'avion en palier. Et réciproquement, lorsque la vitesse diminue, le pilote augmente l'incidence pour rester en palier (fig. 58).

Étude de la polaire Décrochage – Finesse

Description et intérêt de la polaire

La polaire, que nous avons évoquée plus haut, présente l'intérêt de mettre en évidence certains « points de fonctionnement » particulièrement importants de l'avion.

Pour la tracer, on augmente l'incidence et on reporte sur un graphique les valeurs de C_z et C_x mesurées. A chaque valeur de l'incidence correspond une valeur de C_z et une valeur de C_x (fig. 59).

Le décrochage

On constate que C_z connaît un maximum pour une incidence donnée (fig. 59). Lorsque ce maximum est dépassé, et que l'incidence augmente encore, le C_z décroît : la valeur de la portance chute. Elle ne peut plus compenser le poids de l'avion et la condition essentielle du vol n'est plus remplie : l'avion décroche.

Cette situation arrive par exemple lorsque la vitesse diminue en deçà d'une certaine limite. Le pilote doit, pour maintenir la portance constante, compenser la diminution de vitesse en agissant sur un des autres paramètres pilotés : l'incidence. Il augmente donc l'incidence.

Lorsque l'incidence a dépassé l'incidence de portance maximale (fig. 59), la portance ne compense plus le poids et l'avion « s'enfonce ». C'est le décrochage.

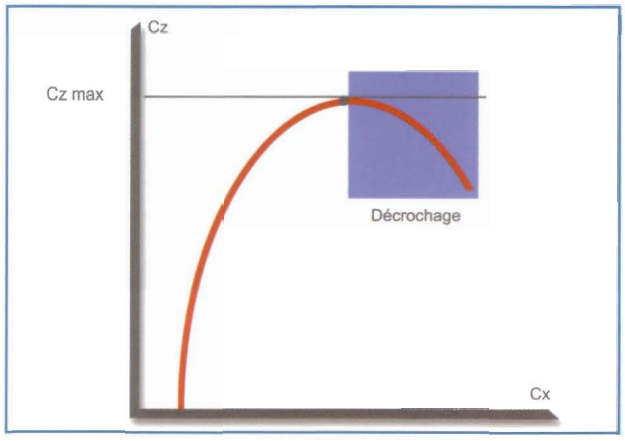


Fig. 59 – *Il existe une valeur limite de l'incidence pour laquelle le C_z est maximal.*

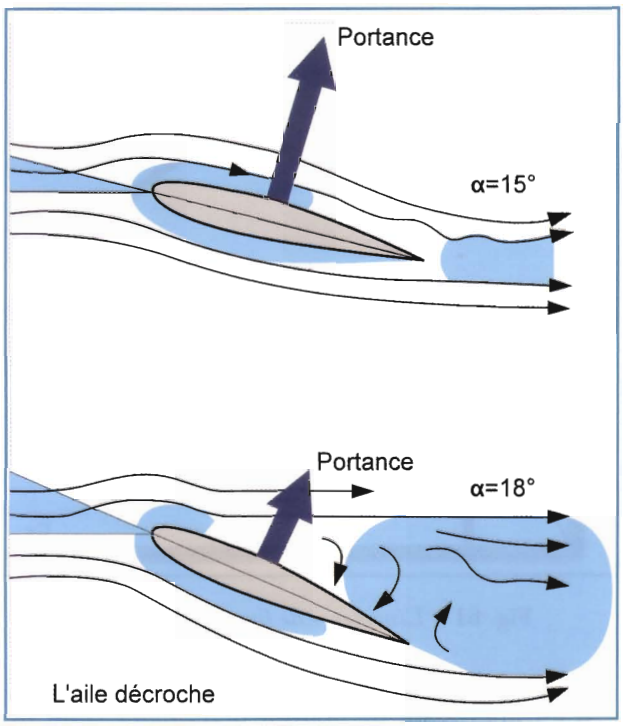


Fig. 60 – *Le décrochage.*

La valeur de l'incidence étant importante juste avant le décrochage, l'écoulement est tourbillonnaire en aval des ailes (fig. 60). La gouverne de profondeur peut se trouver dans un air turbulent, et des vibrations se font alors sentir dans les commandes. Ces vibrations sont, sur certains avions, mais pas sur tous, l'un des premiers symptômes de l'approche du décrochage.

Le geste qui sauve : pour se sortir du décrochage, il s'agit de retrouver une portance qui compense efficacement le poids. On agira en même temps sur deux paramètres (liés au demeurant) qui sont à l'origine du phénomène de décrochage : l'incidence et la vitesse. On augmentera la puissance tout en diminuant l'incidence. On affichera la puissance maximale tout en diminuant l'incidence ; une assiette correspondant à celle adoptée en cas d'approche interrompue permettra une perte minimale de hauteur (*cf. UI N° III.2 page 204*)

La finesse

En faisant le rapport entre les deux coefficients C_z et C_x, on dispose d'un bon moyen de quantifier les performances aérodynamiques d'un avion.

En effet, en construisant un avion, on cherche à fabriquer un système capable de créer une force portante qui s'oppose à son poids tout en ne consommant pas trop d'énergie, autrement dit un système qui crée de la portance, et qui ne génère pas trop de traînée.

La finesse varie en fonction de l'incidence et connaît une valeur maximale que l'on appelle « finesse max » pour une certaine valeur de l'incidence.

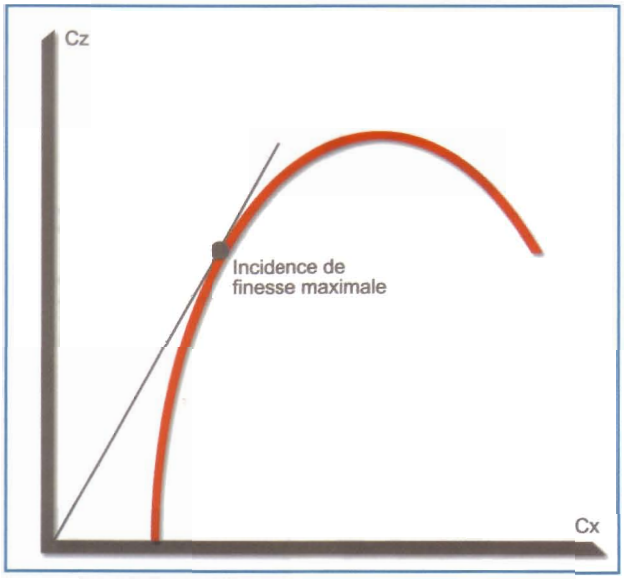


Fig. 61 – *L'incidence de finesse maximale.*

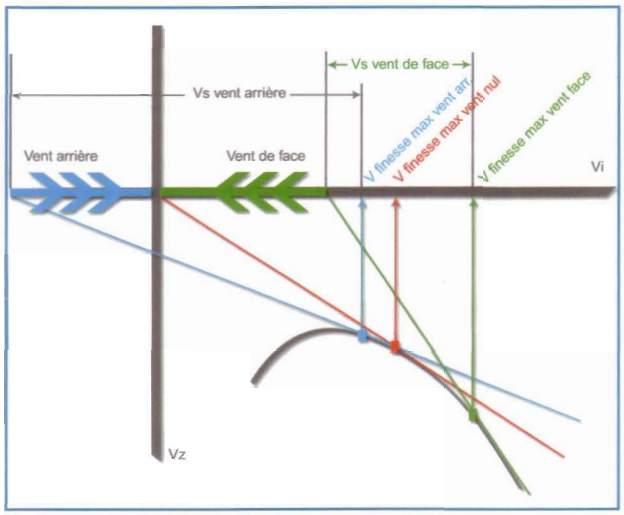


Fig. 63 – *Vitesse de finesse max en fonction du vent.*

Il est intéressant de pouvoir déterminer cette valeur de l'incidence. Cela est possible grâce à la polaire, sur laquelle on peut lire la valeur de l'incidence de finesse max : la droite représentée en figure 61 est tangente à la courbe au point d'incidence de finesse max.

Nous verrons que lorsque le moteur est en panne, on choisit (par vent nul) d'adopter une vitesse correspondant à l'incidence de finesse max : on parcourt ainsi la plus grande distance possible en plané (fig. 62). Vous trouverez cette valeur de vitesse caractéristique à chaque avion dans son manuel de vol.

Cette incidence de finesse max doit varier légèrement selon que nous avons une composante de vent arrière ou de face (fig. 63) ; ainsi avec un **vent arrière**, l'**incidence** doit être **plus forte** et la **vitesse** de finesse max est légèrement **plus faible** que sans vent ; par contre, par **vent de face**, l'**incidence** doit être **plus faible** et la **vitesse** de finesse max légèrement **plus forte** que sans vent.

Les avions légers les plus courants ont une finesse maximale égale à 8 ou 12 : ils sont capables de franchir en plané une distance égale à 8 ou 12 fois leur hauteur. Les meilleurs planeurs de compétition ont une finesse maximale qui peut dépasser 60 !

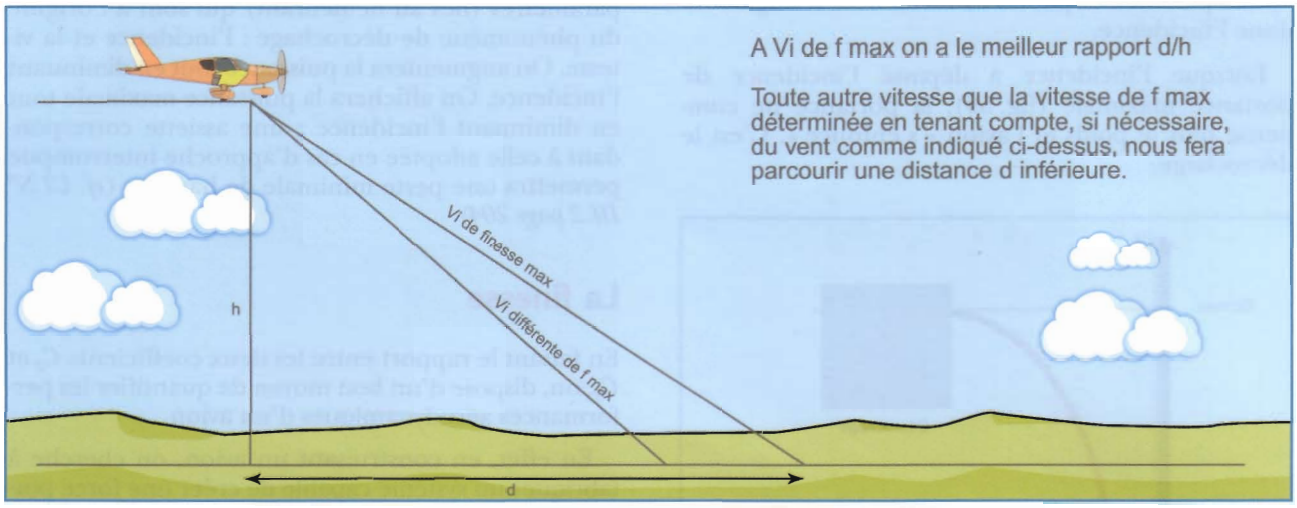


Fig. 62 – *Finesse/Distance parcourue.*

LES GOUVERNES

Avant de débuter, précisons que l'on entend par « gouverne » les surfaces mobiles commandées par les commandes de vol :

- la gouverne de profondeur,
- les ailerons,
- la gouverne de direction,

} gouvernes primaires

Principe de fonctionnement des gouvernes

Lorsque vous faites l'expérience de lancer un bout de bois à votre animal domestique préféré, vous vous rendez sûrement compte que son mouvement se décompose en une trajectoire en cloche et un mouvement de rotation autour de lui-même.

Ce mouvement de rotation autour de lui-même présente une particularité : quelles que soient la manière et la force avec laquelle vous lancez votre morceau de bois, le centre de rotation de l'objet est le même.

Il en va de même pour l'avion. Toutes les rotations sur lui-même se font autour d'axes principaux. Ces trois axes de rotation, roulis, tangage, et lacet, sont concourants en un point unique : le centre de gravité (fig. 64).

Toute évolution de l'avion (virage, montée, descente, etc.) débute par une rotation, ou plusieurs rotations combinées, autour d'un ou plusieurs de ces trois axes.

Pour provoquer ces rotations, il faut faire apparaître un **moment**, donc une force dont la droite d'action se trouve à une certaine distance de l'axe de rotation. C'est le rôle des gouvernes.

Comment créer un tel moment ?

Le point d'application de la force doit être le plus loin possible de l'axe de rotation, pour que le moment soit le plus efficace possible. C'est pourquoi on place la gouverne de tangage et la gouverne de direction en bout de queue, et les ailerons en bout d'aile (fig. 64).

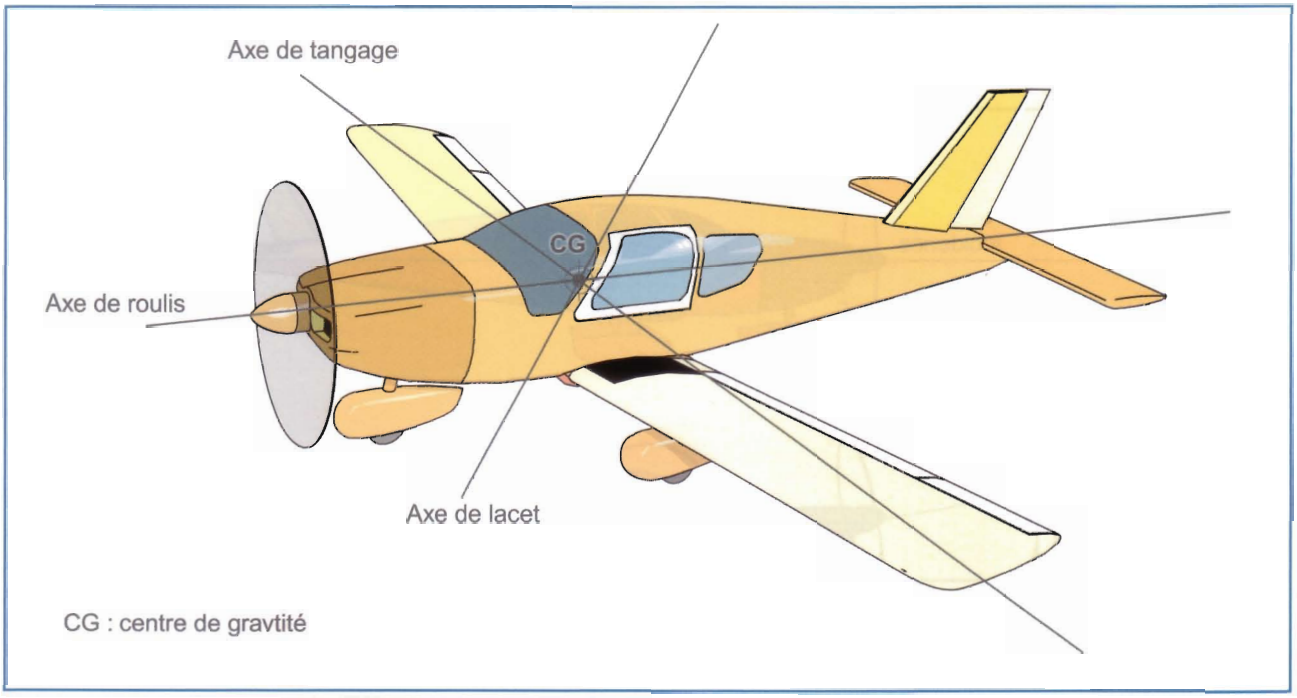


Fig. 64 – *Les trois axes de l'avion (roulis, tangage, lacet) passent par le centre de gravité.*

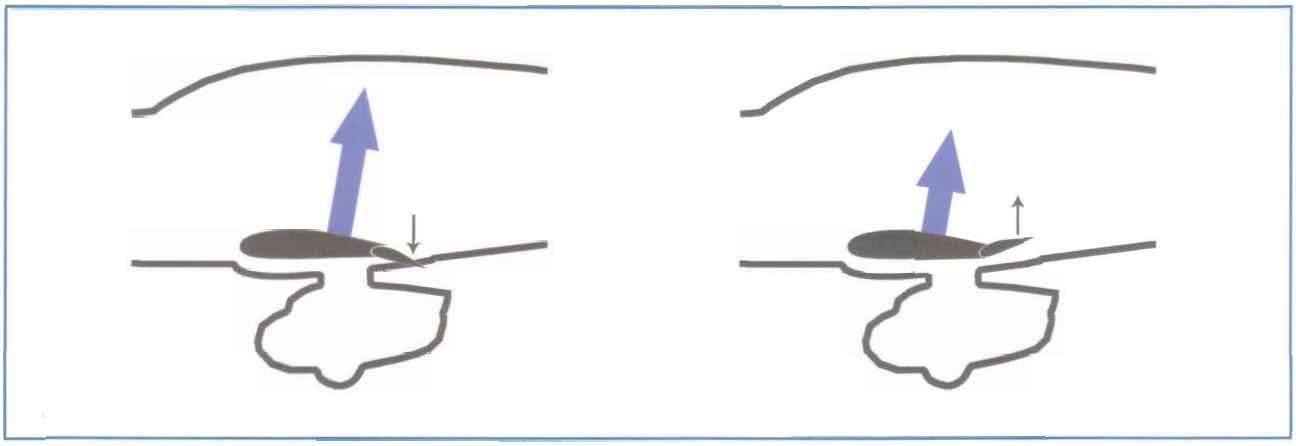


Fig. 65 – *Les gouvernes modifient la force aérodynamique créée par les surfaces de l'avion en faisant varier leur courbure*

Il s'agit ensuite de créer la force qui engendrera la rotation. Il suffit de faire apparaître des petites forces aérodynamiques.

Le principe général est d'utiliser une propriété des profils que nous avons abordée dans « Les facteurs influençant la résultante aérodynamique » : la résultante aérodynamique augmente avec la courbure du profil.

Nous allons donc modifier la courbure des profils aux endroits où nous avons placé les gouvernes, c'est-à-dire au niveau de la queue et en bout d'aile. Les gouvernes seront des surfaces orientables placées en bout de profil (fig. 65).

Pour toute modification de trajectoire, vous devez respecter le gestuel suivant :

- **Action** : agir sur les commandes afin de provoquer la rotation autour de son axe (ou des axes) selon le mouvement désiré ;
- **Quantification** : apprécier le dosage de son action en fonction de l'importance du mouvement ;
- **Neutralisation** : agir sur les commandes de façon a stabiliser l'avion lorsqu'il atteint l'attitude voulue ;
- **Maintien** : agir sur les commandes pour que l'avion reste sur sa nouvelle trajectoire.

La gouverne de profondeur : le tangage

Lorsque le pilote tire le manche, la gouverne de profondeur crée une force aérodynamique vers le bas. Cette force oriente le nez de l'avion vers le haut, ce qui a pour effet d'augmenter l'incidence de l'avion c'est-à-dire l'angle entre l'axe longitudinal de l'avion et la direction d'où vient le vent relatif (fig. 66).

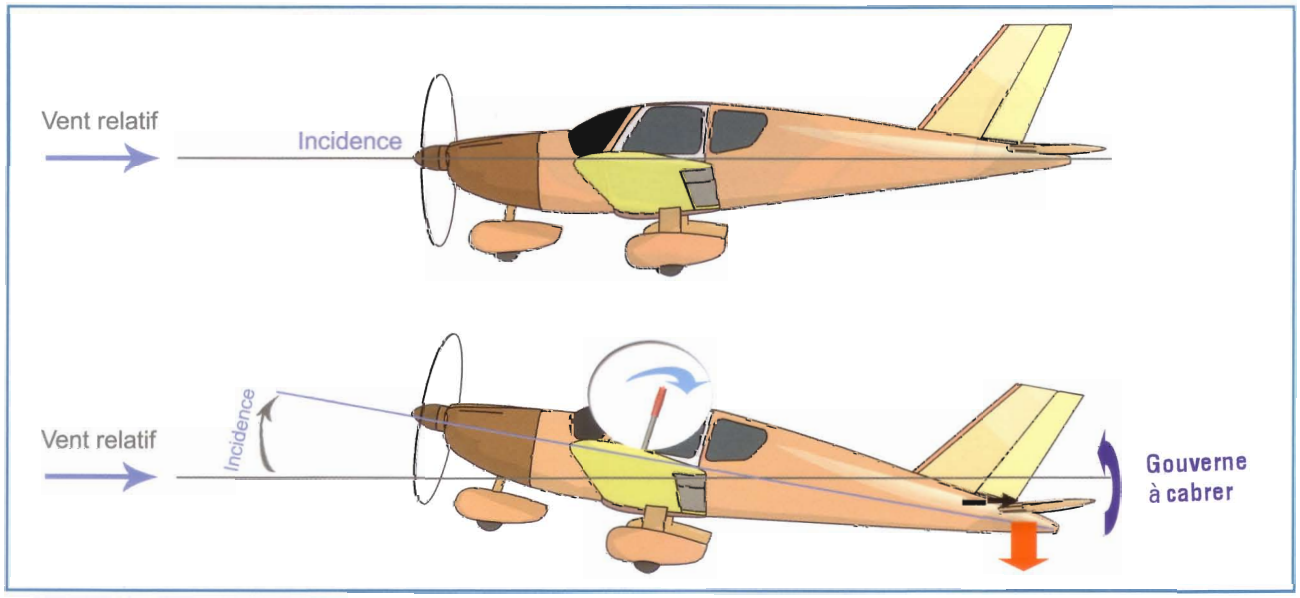


Fig. 66 – *La gouverne de profondeur fait varier l'incidence.*

Ces deux effets de la gouverne sont inséparables : une action du pilote sur la gouverne de profondeur entraîne simultanément une variation d'incidence et un réalignement de la portance et du poids. Ainsi, le pilote peut modifier sa trajectoire, déplacer à l'intérieur de l'avion des charges importantes (une lourde sacoche, par exemple) et modifier ainsi la position du CG de l'avion, ou voir le poids de son avion varier en vol (à cause de la consommation du carburant), tout en maintenant l'équilibre de la portance et du poids.

La gouverne de profondeur à donc pour rôle de faire varier l'incidence pour que la portance équilibre toujours le poids, et pour permettre au pilote de modifier sa trajectoire vers le haut ou vers le bas *(voir la relation Assiette-Incidence-Trajectoire en début de phase 2)*.

Les ailerons : le roulis

Ils modifient la courbure de l'extrémité de chaque aile. Ainsi, la portance augmente du côté de l'aileron baissé et diminue du côté de l'aileron levé (fig. 67).

Dans notre exemple figure 68, la portance de l'aile droite augmente : l'aile s'élève. La portance de l'aile gauche diminue : l'aile s'abaisse. La conjonction de ces deux actions induit une inclinaison de l'avion, et donc une inclinaison de la portance, qui provoque le virage.

L'inclinaison est l'angle que fait l'axe de tangage et l'horizon, ou l'angle compris entre la verticale et le plan de symétrie de l'avion comme indiqué sur la figure 68.

La gouverne de direction : le lacet

Le principe de fonctionnement aérodynamique de la gouverne de direction est le même que celui des gouvernes précédemment étudiées : elle provoque la courbure du profil de la dérive générant ainsi une force aérodynamique qui crée un moment par rapport à l'axe de lacet.

Nous avons vu dans le précédent chapitre que la gouverne de direction ne sert précisément pas à diriger l'appareil vers une direction souhaitée. Pour

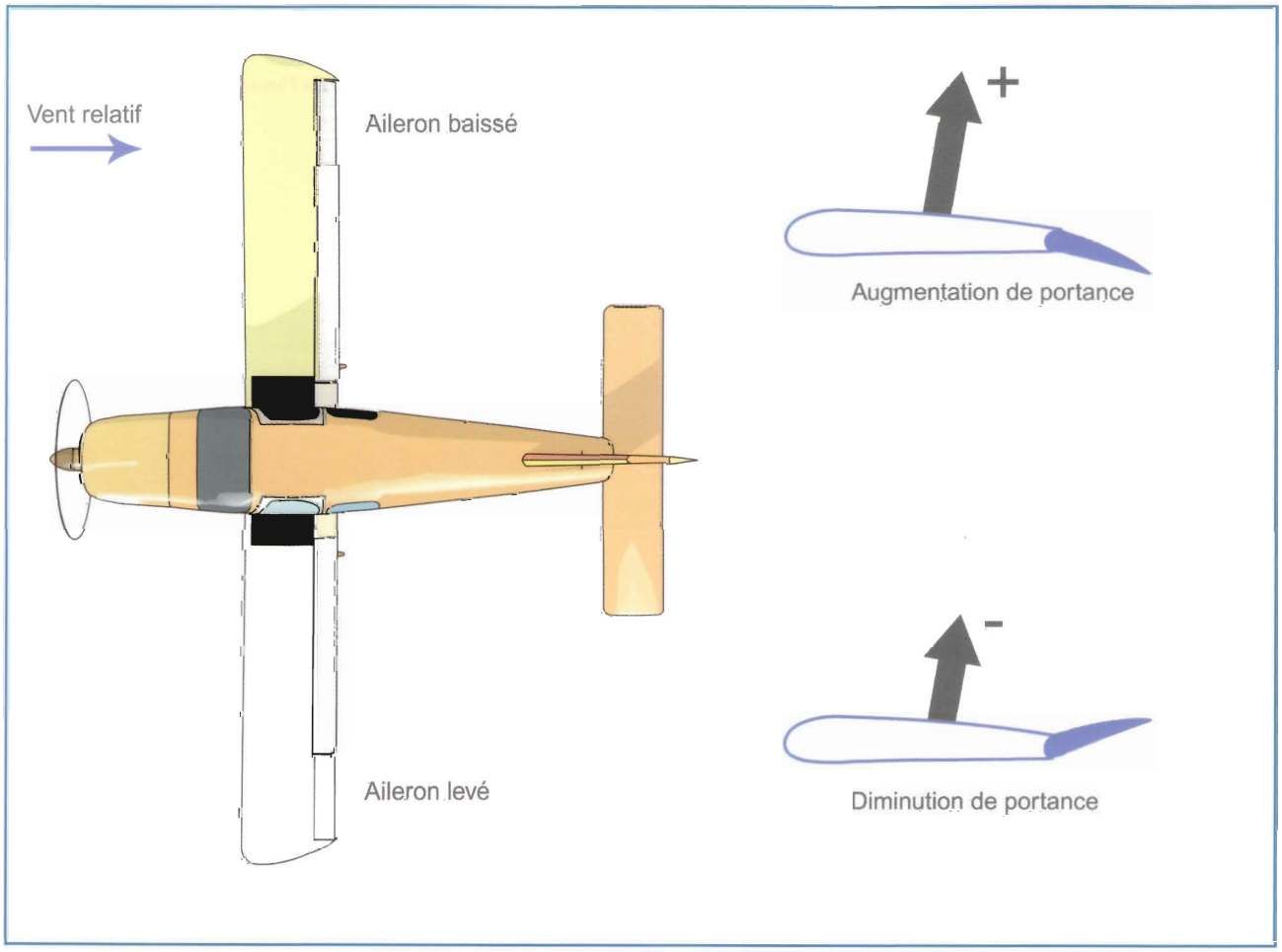


Fig. 67

modifier la direction de l'avion, nous utilisons les ailerons.

Le rôle de la gouverne de direction n'en reste pas moins utile : elle permet de maintenir le plan de symétrie de l'avion dans le vent relatif. L'écoulement des filets d'air se fait ainsi symétriquement de part et d'autre du fuselage.

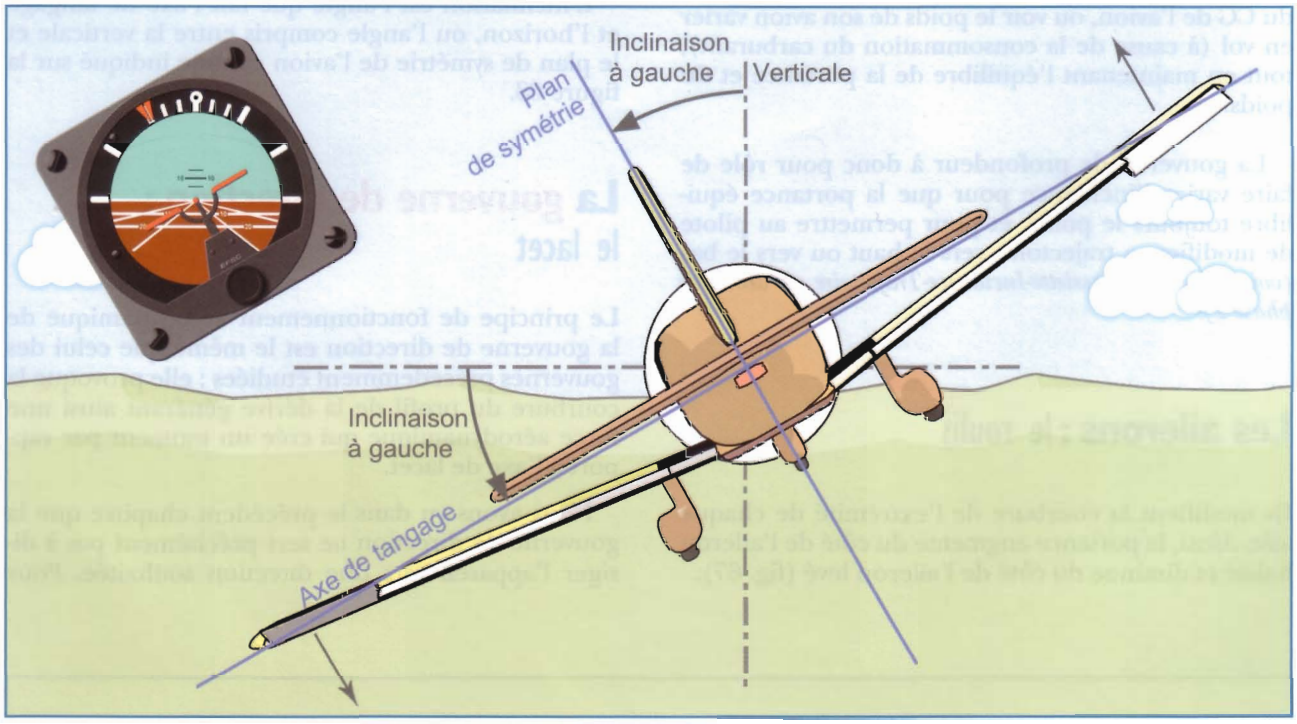


Fig. 68 – *Le mouvement opposé des deux ailerons entraîne l'inclinaison de l'avion.*

Objectif de la phase :

Cette phase est une découverte progressive de l'environnement aéronautique et une approche globale des problèmes posés par le pilotage d'un avion.
Elle est divisée en trois Unités d'Instruction.
A chaque Unité d'Instruction est associée une progression en vol qui n'est donnée qu'à titre indicatif. Votre instructeur sera fréquemment amené à adapter cette progression aux conditions du jour et à votre rythme d'apprentissage.

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.1**

Les circuits électriques anémométriques et de dépression 93
Les instruments de bord 96
Le groupe motopropulseur 109
La conduite du moteur 126
La mise en œuvre de l'avion – le roulage – L'arrêt du moteur 130

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.2**

Le pilotage de base 134

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.3**

L'aérodrome 151
La radiotéléphonie 166
La circulation aérienne 170
Météo : la pression et la température 175

PHASE II

UNITÉ D'INSTRUCTION N° II.1

LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES, ANÉMOMÉTRIQUES ET DE DÉPRESSION

Le circuit électrique

Le circuit électrique d'un avion est constitué de trois groupes d'éléments :

- les éléments qui produisent de l'énergie électrique ;
- les éléments qui consomment cette énergie ;
- les éléments qui relient les producteurs aux consommateurs.

Les producteurs d'électricité

Ce sont comme sur une automobile la **batterie** de bord et l'**alternateur**. La batterie fournit l'énergie électrique nécessaire au démarrage, et en cas de faiblesse de l'alternateur, elle subvient aux besoins immédiats (instruments de bord, éclairage).

En utilisation normale, elle n'est utilisée que pour le démarrage. En particulier, elle n'intervient pas dans le circuit électrique d'allumage (constitué des magnétos, des bougies et du commutateur de coupure), qui est indépendant du circuit électrique de bord.

L'alternateur est identique, dans son principe, aux alternateurs de moteurs de voiture : un ensemble rotatif lié au moteur (le rotor) tourne dans un ensemble fixe (le stator). Les échanges électromagnétiques entre le rotor et le stator intervenant lors de cette rotation produisent de l'énergie électrique. Rappelons qu'à l'inverse des voitures, l'alternateur des avions n'alimente pas le circuit d'allumage des bougies. Il n'alimente que les instruments de bord, les servitudes (moteurs de volets, volets, train d'atterrissage, pompe électrique de carburant, etc.) et la batterie qu'il recharge.

La panne de l'alternateur, indiqué par un voyant d'alarme orange (nouvelle norme) ou rouge (ancienne norme) et par l'indicateur de charge, n'a aucune incidence sur le fonctionnement du moteur. Mais les accessoires, instruments de bords et servitudes ne sont plus alimentés que par la batterie. Il faudra donc la ménager si certains éléments essentiels (les volets ou le train d'atterrissage) nécessitent de l'énergie électrique. Pour cela, vous couperez l'alimentation des moyens de radionavigation (VOR et ADF) si vous ne les utilisez pas. Sachez aussi que le moyen radio qui consomme le plus d'électricité est la VHF en fonction « émission ». Limitez donc au maximum vos échanges radio. Vérifiez enfin que vos phares sont bien éteints si vous n'en avez pas besoin.

La panne de batterie survient parfois. La batterie peut être aussi faiblement chargée, rendant le démarrage avec le démarreur électrique impossible. Vous pouvez dans ce cas demander au service de maintenance un « groupe auxiliaire de démarrage », appelé aussi « groupe de parc ». C'est un moteur à essence entraînant une génératrice d'électricité, qui peut remplacer la batterie pour le démarrage.

S'il n'y a pas de groupe de parc disponible, il est généralement possible de mettre en route le moteur en lançant l'hélice à la main. Ne vous risquez pas à cette opération délicate et dangereuse si vous n'y avez pas été formé par un opérateur compétent. Sachez **qu'un pilote doit dans tous les cas être aux commandes**, la manœuvre étant dirigée par celui qui lance l'hélice.

Les consommateurs d'électricité

Le plus gros consommateur est le démarreur, qui nécessite un courant important (intensité élevée). Cependant, cette consommation est brève, puisqu'elle ne se fait en principe qu'au début du vol. Nous avons vu qu'il peut être alimenté par un groupe de parc si la batterie est déchargée.

Sur certains avions, la sortie des volets et du train se fait de manière électrique. Si la génération électrique est en panne, il est toujours possible de sortir le train d'atterrissage à l'aide d'une manivelle ou bien par gravité.

Parmi les accessoires de gros consommateurs d'électricité : citons le radar météorologique, et dans une moindre mesure les phares et le réchauffage du « tube de Pitot » dont nous parlerons prochainement.

Les éléments reliant les producteurs aux consommateurs

Outre le faisceau de fils conducteurs, on trouve un régulateur de tension et un disjoncteur qui se trouve entre l'alternateur et la batterie, qui la protège d'une surtension.

Des fusibles et des disjoncteurs thermiques sont placés entre l'alternateur et les consommateurs d'électricité. Ils ont pour vocation de protéger le cir-

cuit des conséquences d'un éventuel court-circuit. En effet, celui-ci induit une très forte augmentation du courant qui provoque un échauffement intense des conducteurs. Cet échauffement peut conduire à l'incendie.

On trouve enfin des instruments de contrôle de l'alternateur : l'ampèremètre (mesure l'intensité) et le voltmètre (mesure la tension), voyants d'alarme, et un contact général qui ouvre ou ferme le circuit.

Le circuit anémométrique Le circuit de dépression

Le circuit anémométrique

Il fournit une pression dite « totale » et une pression dite « statique » aux instruments qui en ont besoin : les instruments donnant la vitesse horizontale de l'avion (anémomètre ou « badin »), sa vitesse verticale (variomètre ou « vario »), et sa position dans le plan vertical (l'altimètre). Il est constitué :

- de capteurs de pression ;
- d'indicateurs des informations de pression (les instruments anémo-barométriques) ;
- de canalisations d'air qui ont pour vocation de transmettre les pressions mesurées aux instruments.

La pression totale, représentative de la vitesse d'un écoulement d'air, est mesurée à l'aide d'un capteur de pression appelé « tube de Pitot », du nom de l'ingénieur et physicien français (1695-1771) a qui l'on doit ce système. Le tube de Pitot est placé dans l'écoulement (fig. 69).

Le tube de Pitot peut être réchauffé électriquement, pour empêcher que la sonde ne se couvre de glace en cas de conditions givrantes. Le système de réchauffage du Pitot est commandé par un interrupteur situé dans le cockpit.

La pression « statique » est la pression d'un gaz lorsqu'il est au repos : par exemple, la pression atmosphérique est une pression statique. Elle est mesurée grâce à une prise de pression située sur le côté du fuselage, placée perpendiculairement à l'écoulement (fig. 70). C'est un petit trou directement relié au circuit anémométrique.

Par construction, elle ne peut pas être placée de manière idéale dans toutes les phases du vol. Ce défaut de position, qui est inévitable, induit une erreur (au demeurant faible) dans le circuit anémométrique et par voie de conséquence aux instruments qu'il alimente. Cette erreur est appelée « erreur de statique ». Ce n'est pas une erreur instrumentale puisqu'elle n'est due qu'à la position de la sonde de pression statique, et en aucune manière aux instruments eux-mêmes.

Si cette sonde venait à être bouchée par des poussières ou de la glace, une commande de prise statique de secours existe sur certains avions. Elle ouvre une valve qui relie le circuit de pression statique à l'intérieur de la cabine.

Nous verrons dans le chapitre « Instruments de bord » comment les pressions statiques et dynamiques sont utilisées pour élaborer les informations de vitesse et de position dans le plan vertical.

Le circuit de dépression

Certains instruments utilisent une force de succion pour fonctionner : il s'agit de l'horizon artificiel et

Fig. 69 – *Le tube pitot est placé dans l'écoulement de l'air.*

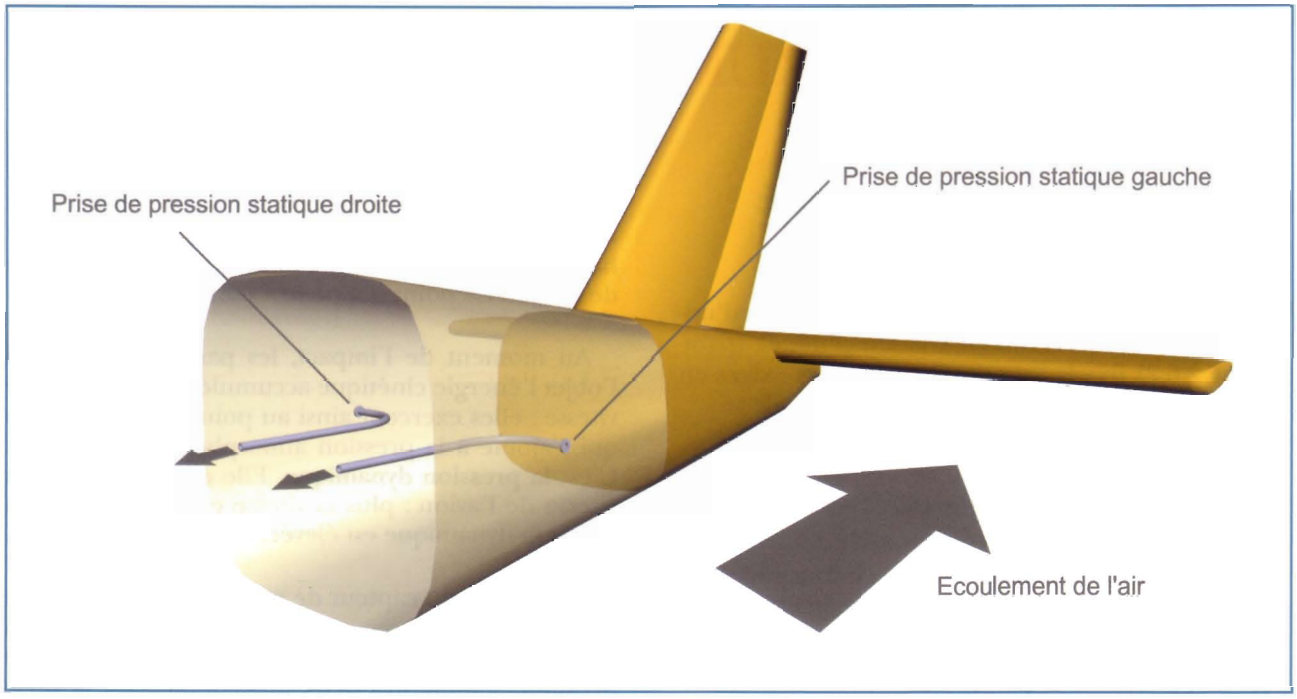


Fig. 70 – *La prise de pression statique est placée perpendiculairement à l'écoulement.*

du conservateur de cap que nous décrirons dans le paragraphe suivant. Le circuit de dépression fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de ces instruments.

Il est composé :

- d'une pompe à vide entraînée par le moteur ;
- d'un clapet régulateur ;
- d'un filtre à air installé entre le tableau de bord et la cloison pare-feu ;
- d'un manomètre de contrôle indiquant la dépression du circuit ;
- des instruments.

Après la mise en route du moteur, on vérifie que la pompe à dépression fonctionne bien à l'aide du manomètre.

Toutes les indications concernant ce circuit figurent dans le manuel de vol de l'avion, à la section « Description ».

LES INSTRUMENTS DE BORD

ÉQUIPEMENT MINIMAL EXIGÉ EN VFR DE JOUR

L'Arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale (paragraphe 2.6.2) fixe la liste des équipements exigés en VFR de jour. Votre aéronef doit être équipé de :

- Un anémomètre ;
- Un indicateur de virage ;
- Un altimètre sensible et ajustable si vol en EAC ;
- Un compas magnétique compensable ;
- Un VOR ou un ADF automatique en fonction de la route prévue ou un GPS homologué de classe A, B ou C si l'aéronef vole sans contact visuel du sol ou de l'eau ;
- Un variomètre pour les planeurs ;
- Un enregistreur de facteur de charge pour catégorie « acrobatique » ;
- Une montre marquant les heures et minutes (montre-bracelet acceptée).

Par ailleurs, les Règles de l'air (RDA) prévoient qu'un aéronef doit être en mesure d'établir une liaison radioélectrique avec les organismes de la circulation aérienne lors d'un vol sans contact visuel du sol ou de l'eau ainsi que l'emport d'un transpondeur dans certaines conditions (*Cf. Obligations d'emport de transpondeur en page 350*).

Des équipements supplémentaires sont également exigés en VFR de nuit (Cf. Chapitre particulier relatif au VFR de nuit page 409).

L'ANÉMOMÈTRE

Pression dynamique et pression totale

Faisons une expérience : plaçons un objet dans un écoulement d'air et matérialisons les filets d'air par des jets de fumée (fig. 71). On constate que l'air contourne l'objet par le haut et par le bas.

En un point précis de l'objet noté A sur la figure, les particules d'air ne contournent l'objet ni par le haut ni par le bas : elles sont arrêtées par la surface de l'objet. Ce point s'appelle « point d'arrêt ».

Au moment de l'impact, les particules cèdent à l'objet l'énergie cinétique accumulée à cause de leur vitesse : elles exercent ainsi au point A une pression qui s'ajoute à la pression atmosphérique ambiante. C'est la **pression dynamique**. Elle est fonction de la vitesse de l'avion : plus la vitesse est grande, plus la pression dynamique est élevée.

Si on place un capteur de pression en ce point, on ne pourra y mesurer que la somme de la pression atmosphérique et de la pression dynamique. Cette pression, somme des deux précédentes, est la **pression totale**.

Ainsi, si l'on veut connaître la pression dynamique pour déterminer la vitesse de l'avion, on devra retrancher à la pression totale mesurée en A la pression atmosphérique, que l'on appelle aussi pression statique (c'est la pression de l'air au repos).

Principe de fonctionnement de l'anémomètre

L'anémomètre effectue la soustraction entre la mesure de la pression totale et la mesure de la pression statique : c'est un manomètre (car il mesure des pressions) différentiel (car il effectue la différence entre deux pressions). Le résultat de cette soustraction est la pression dynamique, qui est nous l'avons vu fonction de la vitesse de l'avion.

Pour que l'anémomètre affiche une vitesse, il suffit de faire correspondre à chaque pression dynamique obtenue une vitesse, grâce à un système de graduation sur le cadran.

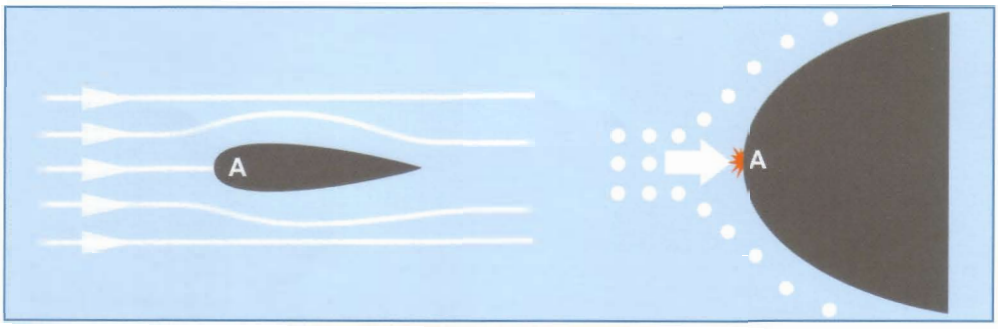


Fig. 71 – *Au point d'arrêt A, les particules d'air sont arrêtées par l'objet.*

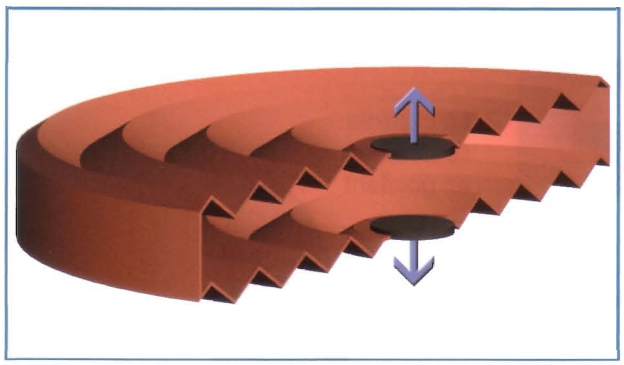


Fig. 72 – *Éclaté de la capsule.*

Comment l'anémomètre effectue-t-il la différence entre la mesure de la pression totale et la mesure de la pression statique ?

Cette opération se fait mécaniquement par l'intermédiaire d'une capsule conçue pour se déformer sous l'effet de ces deux pressions (fig. 72). L'intérieur de la capsule est raccordé au capteur de pression totale, appelée aussi « tube de Pitot », l'extérieur est raccordé au capteur de pression statique. La pression totale tend à faire se gonfler la capsule, la pression statique tend à l'écraser (fig. 73).

La déformation de la capsule est le résultat de ces deux pressions. Elle est transmise à une aiguille qui se déplace devant le cadran de l'anémomètre qui est gradué en vitesse. Lorsque l'avion accélère, la pression totale mesurée avec le tube de Pitot augmente. La capsule gonfle sous l'effet de l'augmentation de la pression totale, et l'aiguille se déplace devant le cadran en indiquant une vitesse plus élevée (fig. 74).

Système de graduation de l'anémomètre Vitesse conventionnelle

Unités

L'anémomètre est gradué en nœuds (kt) ou en kilomètres/heure (km/h). Lorsque l'on se déplace à 1 **nœud**, on parcourt 1 **mille marin** (NM) par heure.

La correspondance entre les kt et les km/h est la suivante :

1 kt = 1,852 km/h

Graduation de l'anémomètre Vitesse conventionnelle

L'anémomètre mesure des **pressions**. Pour que le pilote dispose d'une information de vitesse, il a fallu trouver une loi de correspondance pression-vitesse, de manière à graduer le cadran en kt ou km/h.

Les lois de la mécanique des fluides ne permettent pas directement d'établir cette correspondance. Les constructeurs d'anémomètres ont donc choisi d'adapter l'équation de physique qui se rapproche le plus de la correspondance pression-vitesse, en fixant certains de ses paramètres.

En 1948, ils ont ainsi décidé de fixer conventionnellement les paramètres « densité », « pression statique » et « température » en les prenant égaux à :

- densité : 1 ;
- pression : 1 013,25 hPa ;
- température : 15 °C.

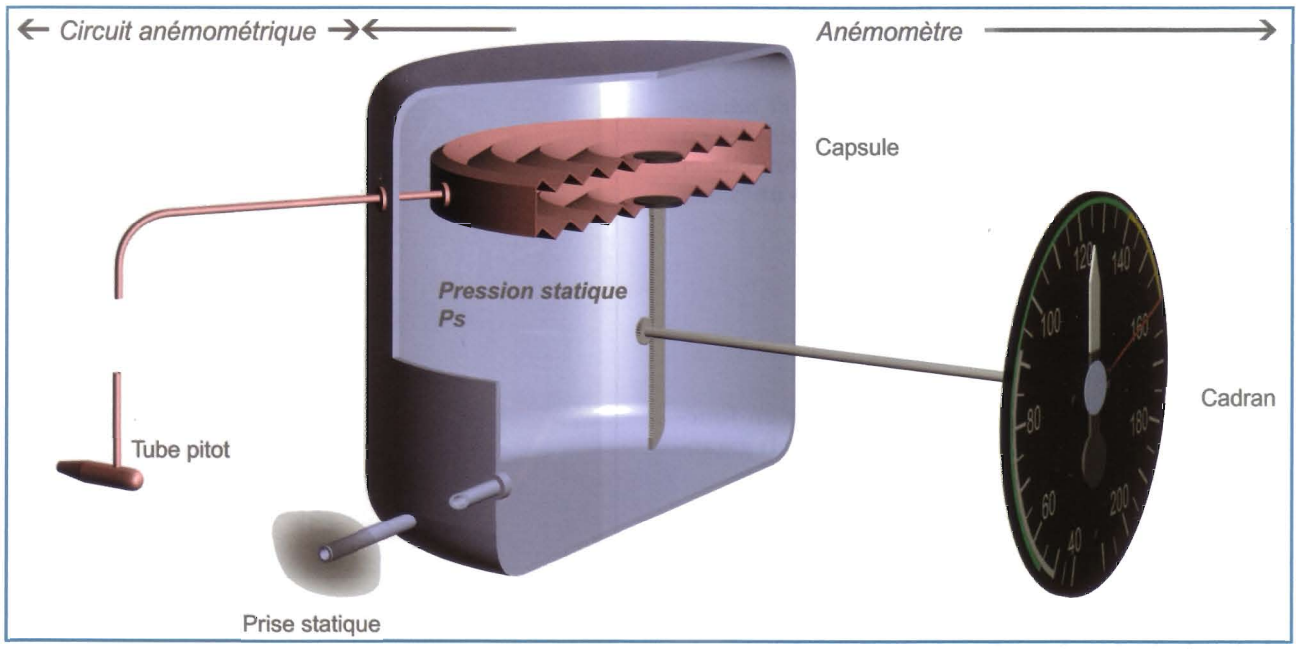


Fig. 73 – *L'anémomètre et le circuit anémométrique.*

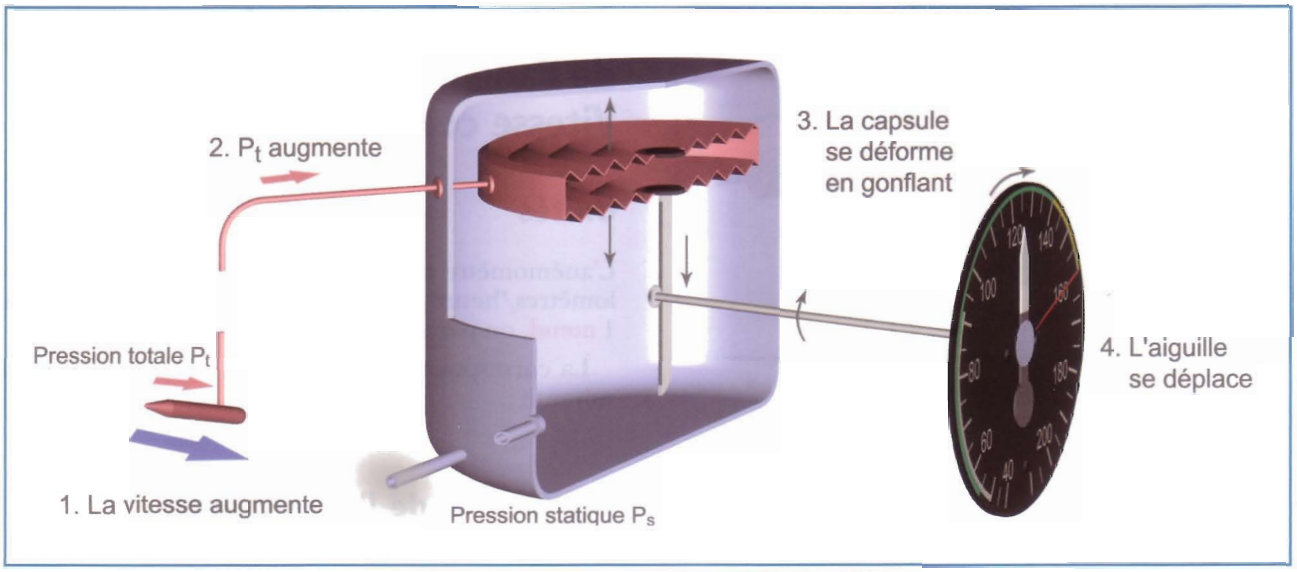


Fig. 74 – *L'anémomètre transforme l'augmentation de pression totale en déplacement de l'aiguille du cadran.*

Grâce à cette convention adoptée par la norme internationale ISO, la loi exprime directement la pression dynamique en fonction de la vitesse et permet de graduer les anémomètres.

Mais la vitesse obtenue grâce à cette graduation n'est pas la vitesse propre de l'avion : c'est celle qu'aurait l'avion si la densité de l'air valait 1, avec une pression de 1 013,25 hPa et une température de 15 °C, ce qui, il faut bien le dire, est assez rare… Cette vitesse est appelée « vitesse conventionnelle » V_C, car elle est obtenue à l'aide de la convention ci-dessus. Elle n'est égale à la vitesse propre que si l'avion évolue dans les conditions d'altitude, pression et température citées plus haut.

Retenons que la notion de vitesse conventionnelle, très utilisée en anémométrie, n'est liée qu'à la graduation de l'anémomètre pour laquelle il a fallu fixer une convention.

Dans le chapitre *« Navigation – Principes de navigation – La vitesse »*, on donne les vitesses employées en aviation (vitesse indiquée, vitesse conventionnelle et vitesse propre) et les moyens de passer des unes aux autres.

Utilisation des couleurs
Plage des vitesses

Le respect des plages de vitesse (utilisation en fonction de la configuration ou de la phase de vol) garantit la sécurité en établissant des marges :

- par excès par rapport au décrochage ;
- par défaut par rapport à la résistance structurale de l'avion.

Sur l'anémomètre, on a figuré ces plages à l'aide de couleurs représentées en figure 75 :

Arc jaune

Zone interdite en atmosphère turbulente, limitée par la vitesse à ne pas dépasser en atmosphère agitée (appelée V_{NO} pour « Velocity Normal Operating ») et la vitesse à ne jamais dépasser V_{NE} (« Velocity Never Exceed »), qui est indiquée par un trait rouge. Il faut savoir qu'une manœuvre ou une rafale brusque subie par l'avion alors qu'il vole à une vitesse supérieure à la V_{NO}, c'est-à-dire dans l'arc jaune, peut induire des déformations permanentes de la cellule. Au-delà de la V_{NE}, le risque de rupture des éléments de la cellule devient important car les risques de flutter ne sont pas connus.

Fig. 75 – *Les trois arcs figurant sur l'anémomètre.*

Arc vert

Zone d'utilisation normale limitée par la vitesse de décrochage en configuration lisse (appelée V_{S1} pour « Velocity Stall 1 », « stall » voulant dire décrochage, le 1 voulant dire que l'avion est dans tout autre configuration que la configuration atterrissage et masse maximale), et la V_{NO}.

Arc blanc

Zone d'utilisation normale en configuration atterrissage, entre la vitesse de décrochage volets et train sortis V_{S0} (« Velocity Stall », « 0 » indiquant la configuration atterrissage à la masse maximale), et la vitesse maximale d'utilisation des volets $\mathbf{V_{FE}}$ (« Velocity Flaps Extended », « flaps » voulant dire « volets »).

Il existe d'autres vitesses limites :

- La V_{LE}, ou « Velocity Landing gear Extended », c'est-à-dire la vitesse limite train sorti. C'est la vitesse maximale à laquelle on peut voler lorsque le train d'atterrissage est sorti.
- La V_{LO}, ou « Velocity Landing gear Operating », c'est-à-dire la vitesse limite de manœuvre du train d'atterrissage. C'est la vitesse maximale à laquelle on peut le sortir ou le rentrer.
- La V_{FO}, ou « Velocity Flaps Operating », c'est la vitesse limite de manœuvre des volets.

Contrôle du fonctionnement de l'anémomètre par le pilote

Il s'effectue généralement au moment du décollage : le pilote vérifie que l'anémomètre est actif et qu'il indique bien que l'avion accélère. Notons qu'un système de dégivrage du tube de Pitot est très souvent installé sur les avions.

L'ALTIMÈTRE – L'ALTIMÉTRIE

L'altimétrie est la mesure des altitudes. Pour être à l'aise avec les calculs et les interprétations propres à l'altimétrie, il faut avoir compris le principe de fonctionnement de l'instrument de mesure : l'altimètre.

L'altimètre

Il ne mesure pas directement l'altitude mais mesure une pression. C'est une correspondance **pression-altitude** (effectuée mécaniquement) qui permet d'en déduire l'information d'altitude par rapport à une référence choisie par le pilote : niveau de la mer, du sol, calage 1 013,25.

L'altimètre est donc un baromètre gradué en pieds (parfois en mètre, pour les planeurs) qu'il vous faudra savoir interpréter.

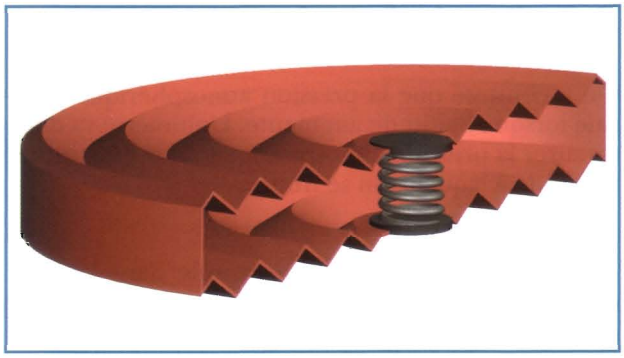
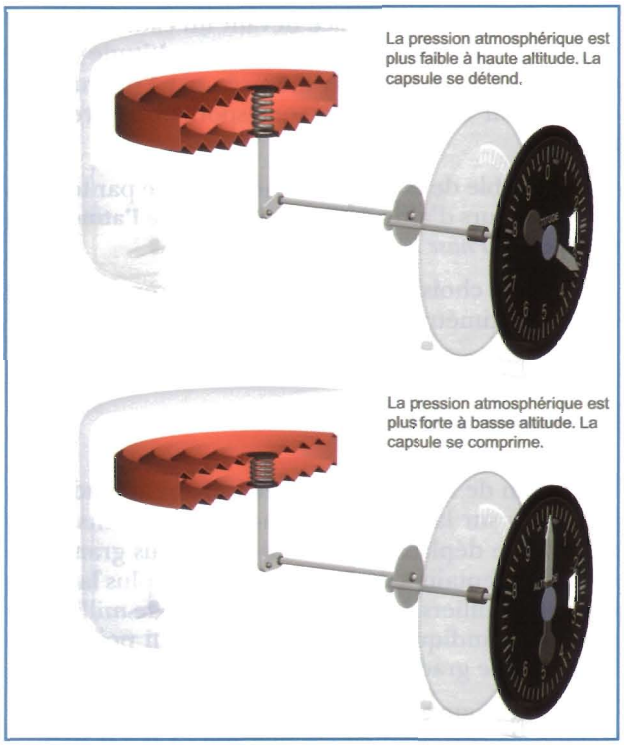


Fig. 76 – *La capsule de Vidie placée dans les altimètres comporte un ressort qui empêche son écrasement.*



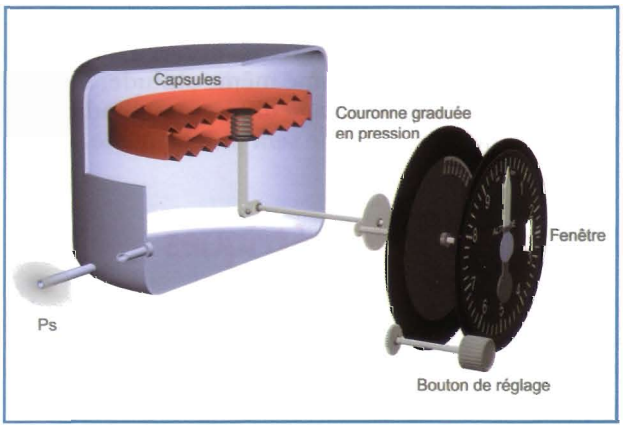


Fig. 77 – *La capsule se déforme en fonction des variations de pression atmosphérique et un mécanisme transmet cette déformation à une aiguille.*

Principe de fonctionnement

On a constaté que la pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente. L'altimètre va donc mesurer la pression atmosphérique pour déterminer l'altitude à laquelle on se trouve.

Comment effectuer cette mesure ?

Elle se fait à l'aide d'une capsule dans laquelle on a créé un vide poussé, et qui est conçue pour se déformer sous l'effet de la pression atmosphérique. Un ressort placé à l'intérieur l'empêche de s'écraser. Cette capsule est couramment appelée « **capsule anéroïde** » ou « capsule de Vidie », du nom du mécanicien français qui l'inventa en 1844.

Lorsque la pression atmosphérique varie, la capsule se déforme. Cette déformation est transmise à une aiguille qui se déplace devant un cadran gradué (fig. 77). On fait correspondre une altitude à chaque valeur de la pression mesurée par l'instrument, en utilisant une table de correspondance pression-altitude.

Cette table de correspondance, utilisée par tous les constructeurs d'altimètres, est la **table de l'atmosphère type** *(cf. Phase I – Atmosphère Type)*.

Le pilote choisit une pression de référence appelée « calage altimétrique » et l'affiche sur l'altimètre.

Présentation

Le cadran de l'altimètre est généralement gradué en **pieds** (ft) sur la plupart des modèles courants. Trois aiguilles se déplacent sur celui-ci. La plus grande indique les centaines de pieds, la petite et plus large indique les milliers de pieds. Les dizaines de milliers de pieds sont indiquées par un triangle qui pointe vers la couronne graduée.

Sur la figure 78, l'altimètre indique 1500 ft. Retenez la correspondance suivante : 1 ft ≅ 0,30 m.

Tous les altimètres sont munis d'une fenêtre où apparaît une échelle de pression. Elle est graduée en hectopascals (hPa), en pouces de mercure, plus rarement en millimètres de mercure, et sert à afficher la **pression de calage**. Pour une même altitude, si on affiche des pressions de calage différentes, l'indication d'altitude de l'altimètre ne sera plus la même.

Les calages altimétriques

Les variations de la pression, l'altitude variable des aérodromes ainsi que des phases de vol très différentes rendent nécessaire l'utilisation de différents **calages** pour faciliter l'interprétation des indications de l'altimètre.

Le « calage » altimétrique consiste à afficher dans la fenêtre de l'instrument (fig.78) une pression définie qui servira de référence aux mesures (fig. 79).

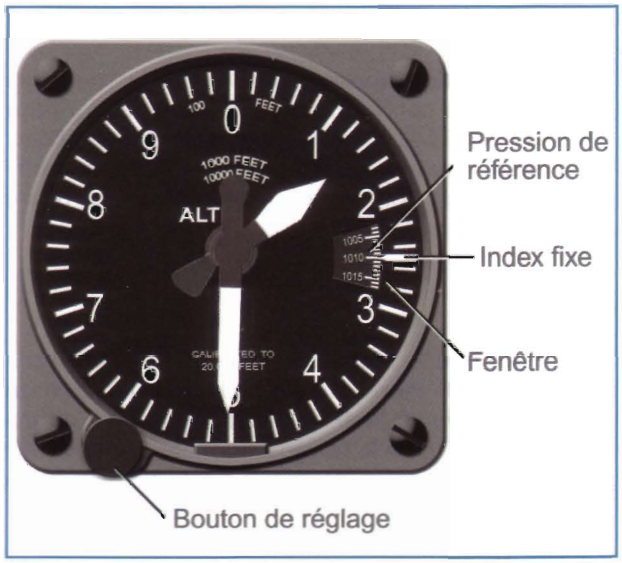


Fig. 78 – *Le cadran de l'altimètre présente 3 aiguilles, ainsi qu'une fenêtre et un bouton de réglage.*

A partir de cette référence l'altimètre reprend la correspondance pression-altitude de **l'atmosphère type**, pour donner une indication d'altitude.

Cette norme stipule qu'à chaque hectopascal lu dans la fenêtre des pressions (ou fenêtre de calage) correspond une **variation de 27,31 pieds**, couramment arrondie à 28 pieds, cela **autour de la pression de référence 1 013,25 hPa**, correspondance que l'on utilisera fréquemment par la suite. Les calages altimétriques sont transmis en hectopascals et arrondis par défaut au nombre entier immédiatement inférieur (ce qui va dans le sens de la sécurité).

Le calage altimétrique QFE

Il permet de connaître la hauteur de l'avion par rapport à l'aérodrome. Le QFE d'un aérodrome est calculé pour le point le plus élevé de l'aire d'atterrissage

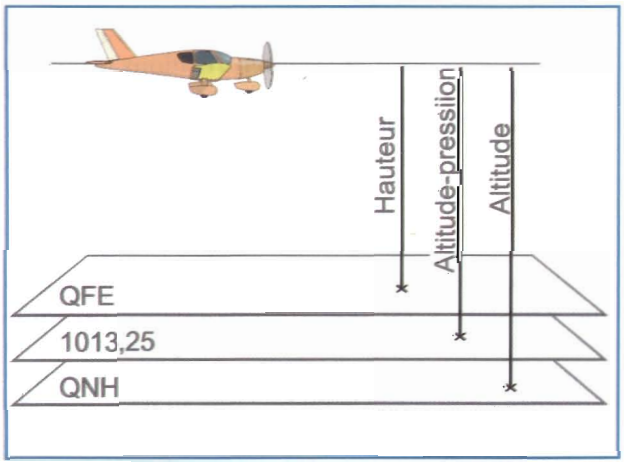


Fig. 79 – *Les différentes indications lues en fonction des calages.*

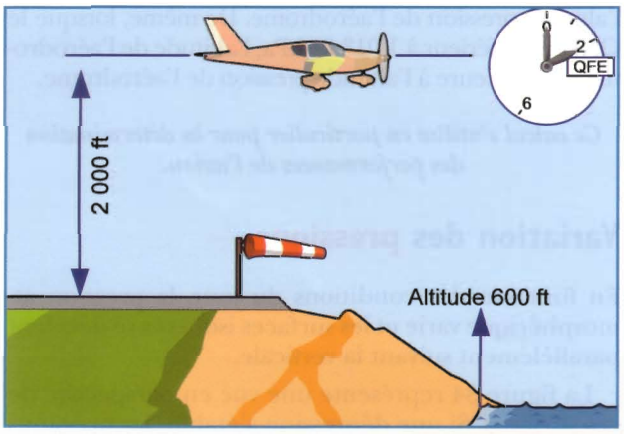


Fig. 80 – *Le calage altimétrique QFE*

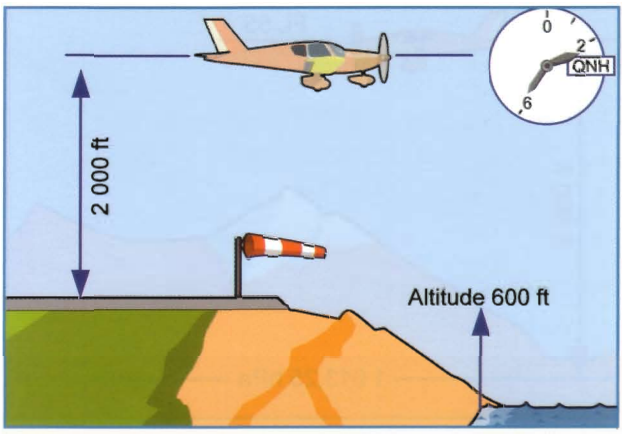


Fig. 81 – *Le calage altimétrique QNH.*

de l'aérodrome (pistes et éventuels prolongements dégagés et d'arrêt). Le QFE est un paramètre météorologique obligatoirement transmis par les organismes de la circulation aérienne sur l'aérodrome. (fig. 80).

Un QFE « Seuil » est également transmis dès lors qu'une piste est desservie par une procédure d'approche aux instruments de précision (approche avec matérialisation du plan de descente) si le seuil n'est pas le point le plus élevé de l'aérodrome ou par une procédure classique (approche sans information sur le plan de descente) si le seuil est à plus de 16 pieds sous l'altitude de l'aérodrome.

Si le « QFE aérodrome » est affiché sur un altimètre, ce dernier affichera «zéro» au sol si vous êtes situé au point le plus élevé de l'aérodrome.

Le calage altimétrique QNH

Il permet de connaître l'altitude de l'avion au-dessus du niveau moyen de la mer aux abords de l'aérodrome sur lequel le QNH a été déterminé. Le QNH est calculé à partir de la mesure du QFE et ramené au niveau moyen de la mer en atmosphère standard (1 hPa pour 28 pieds environ au niveau de la mer) (fig. 81).

Au départ, vous devez vérifier votre altimètre en affichant le QNH s'il vous a été transmis en tenant compte éventuellement de la différence d'altitude entre votre position sur l'aérodrome et l'altitude officielle de l'aérodrome.

Si le QNH n'est pas disponible, vous le déterminez en tournant le bouton de calage jusqu'à obtenir l'altitude de votre position sur l'aérodrome (fig. 82). Notez que l'altitude de l'aérodrome est publiée sur la carte VAC ou sur les cartes de navigation et que la carte VAC vous donne également la correspondance barométrique en hPa de l'altitude de l'aérodrome (la valeur indiquée est une valeur arrondie également au nombre entier immédiatement inférieur.

En vol, pour avoir une information d'altitude vous devez afficher le QNH de l'aérodrome que vous devez utiliser s'il vous a été transmis ou que vous estimez à partir de toutes les informations disponibles (QNH de l'aérodrome de départ si vous retournez au point de départ ou celui d'un aérodrome proche) ; lors d'une navigation, vous devez actualiser votre calage en contactant les aérodromes (APP, TWR, ATIS) le long de votre parcours.

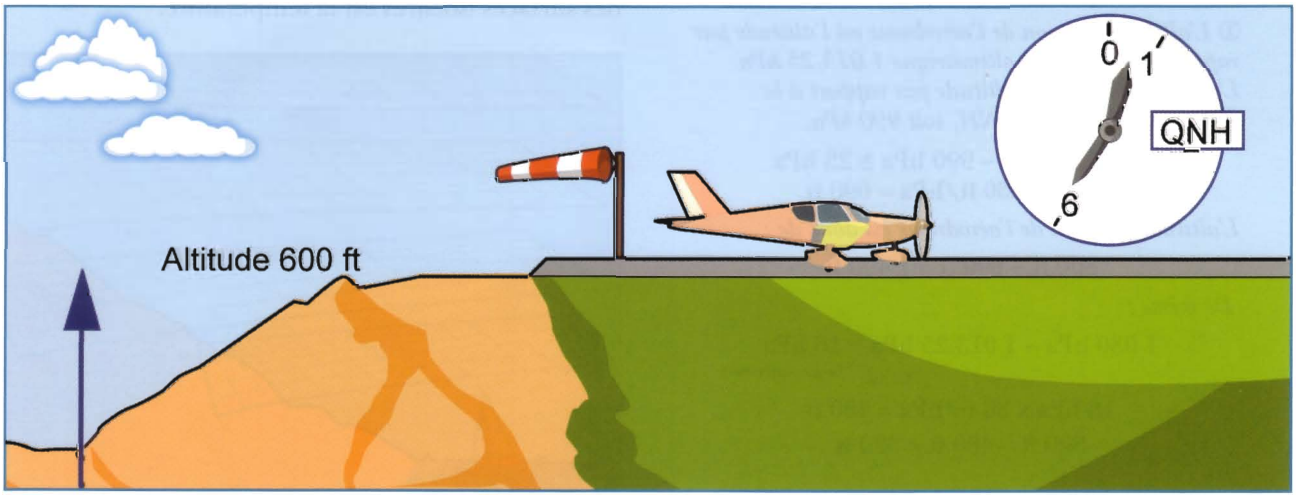


Fig. 82 – *Le calage QNH.*

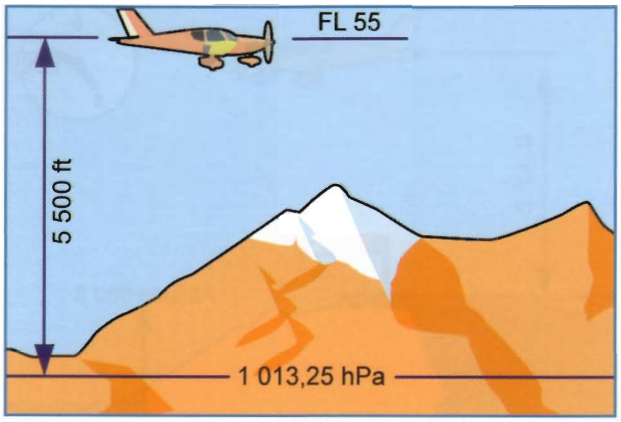


Fig. 83 – *Le calage 1 013,25 hPA*

Le calage altimétrique 1 013,25 hPa

Le calage altimétrique standard de 1 013,25 hPa permet de connaître **l'altitude pression** de l'aéronef, c'est à dire son altitude par rapport à la surface isobarique correspondant à la pression 1 013,25 hPa. Lorsque ce calage est utilisé, les aéronefs doivent se stabiliser à une altitude pression arrondie à un multiple de 500 pieds et la position verticale est alors exprimée en niveau de vol (FL)

Exemple : un avion volant à l'altitude-pression de 5 500 pieds est en fait au FL 55. (fig. 83)

Remarque

sauf pour le vol en niveau de vol, le calage QNH sera le calage par défaut : annoncer que l'on est à 2 600 ft signifie 2 600 ft QNH.

Calcul approché de l'altitude pression d'un aérodrome :

Prenons l'exemple d'un aérodrome situé à 800 ft. Quelle est l'altitude pression de cet aérodrome lorsque le QNH vaut :

① *990 hPa*

1 030 hPa

On considère que 1 hPa correspond à 30 pieds.

① *L'altitude pression de l'aérodrome est l'altitude par rapport à la référence altimétrique 1 013,25 hPa. L'altitude 800 ft est l'altitude par rapport à la référence altimétrique QNH, soit 990 hPa.*

1 013,25 hPa – 990 hPa ≅ 23 hPa
23 hPa × 30 ft/hPa = 690 ft

L'altitude pression de l'aérodrome est donc de :

800 ft + 690 ft = 1 490 ft

De même :

1 030 hPa – 1 013,25 hPa = 16 hPa
(entier inférieur)

16 hPa × 30 ft/hPa = 480 ft
800 ft – 480 ft = 320 ft

On voit que lorsque le QNH est supérieur à 1 013,25 hPa, l'altitude de l'aérodrome est supérieure à l'altitude-pression de l'aérodrome. De même, lorsque le QNH est inférieur à 1 013,25 hPa, l'altitude de l'aérodrome est inférieure à l'altitude-pression de l'aérodrome.

Ce calcul s'utilise en particulier pour la détermination des performances de l'avion.

Variation des pressions

En fonction des conditions du jour, la pression atmosphérique varie et les surfaces isobares se décalent parallèlement suivant la verticale.

La figure 84 représente une vue en perspective de ces surfaces. Si une dépression s'établit, les pressions diminuent et les surfaces s'abaissent. Si un anticyclone s'établit les pressions augmentent et les surfaces isobares remontent.

Ainsi, sur un avion resté dans un hangar, l'altimètre auparavant calé au QNH peut afficher quelques heures après une valeur différente.

D'autres variations à grande échelle déforment les surfaces isobares. En effet celles-ci ne sont ni planes, ni parallèles. Un exemple de déformation volontairement exagérée, sans respect de l'échelle, des surfaces isobares, est représenté en figure 85.

Lorsque l'avion vole à une indication lue constante, sa trajectoire suit les courbures d'une surface isobare (ne perdons pas de vue que l'altimètre est un baromètre). Si l'altimètre est calé sur la pression de la surface 1, l'avion est en sécurité en *A*, mais risque de percuter le relief en *B* car sa hauteur vraie a diminué alors que l'indication lue sur l'altimètre est restée constante.

Si, inversement, on imagine un avion capable de voler à altitude vraie constante correspondant à celle du point *A* le long de sa trajectoire, on verrait les aiguilles de son altimètre indiquer des valeurs sans cesse différentes.

Informations pratiques

Le facteur influant le plus sur l'écartement vertical des surfaces isobares est la température.

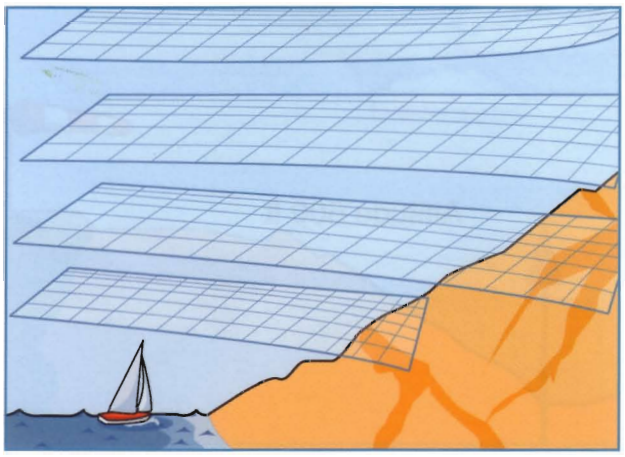


Fig. 84 – *Les surfaces isobares.*

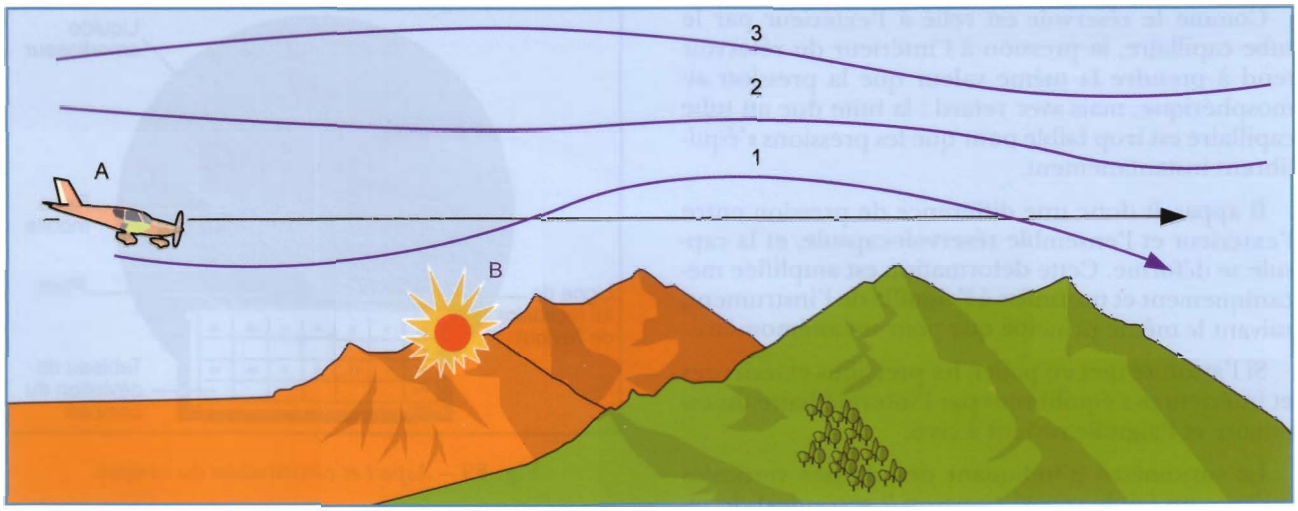


Fig. 85 – *Les surfaces isobares ne sont pas planes (déformations volontairement exagérées).*

Sauf en région de montagne, nous n'aurons pas dans la pratique à évaluer ces « resserrements » ou « dilatations » mais il faut savoir que cela se produit. L'hiver, en montagne, votre altimètre vous fait croire que vous êtes plus haut que vous ne l'êtes en réalité.

Prenez toujours une marge importante pour le franchissement du relief.

La formule suivante vous permettra d'estimer votre altitude réelle en fonction de la température lue à votre niveau :

$$Z_v = Z_i + 4 \times \text{écart de T° par rapport à T° std} \times Z_i/1000$$

Exemple (Cf. Fig. 86)
à ZP = 7 500 ft, vous devriez avoir une T° = 0 °C, mais avez une T° = -10 °C
Zv = 7 500 + (4 x -10 x 7,5) = 7200 ft

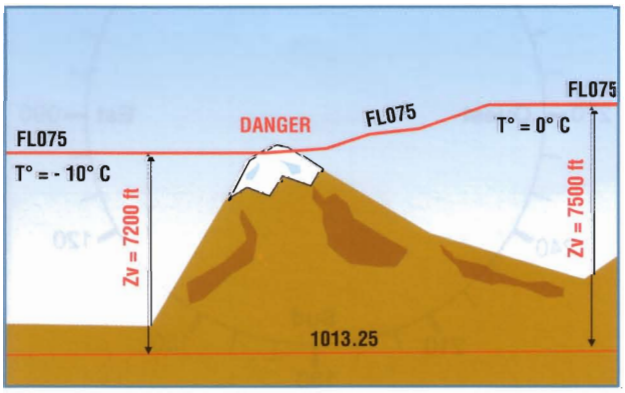


Fig. 86 – *L'influence de la température sur les surfaces isobares.*

LE VARIOMÈTRE

Principe

Cet instrument mesure la vitesse verticale, notée V_z, de l'avion. Il est généralement gradué en centaines de pieds par minute, on trouve encore des instruments gradués en mètres par seconde.

Une capsule du type de celle que nous avons rencontré dans l'anémomètre est reliée à un réservoir, l'ensemble étant mis à l'air libre par un tube très fin, appelé aussi capillaire (fig. 87).

Lorsque l'avion est en montée ou en descente, la pression atmosphérique varie : elle augmente à mesure que l'avion descend, et elle diminue lorsqu'il monte.

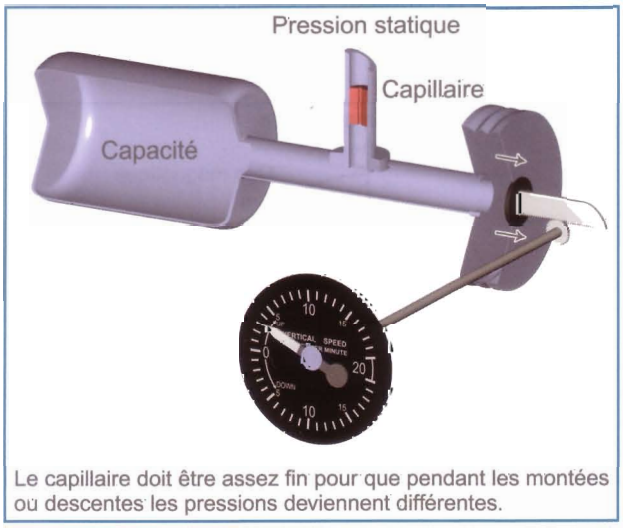


Fig. 87 – *Les surfaces isobares.*

Comme le réservoir est relié à l'extérieur par le tube capillaire, la pression à l'intérieur du réservoir tend à prendre la même valeur que la pression atmosphérique, mais avec retard : la fuite due au tube capillaire est trop faible pour que les pressions s'équilibrent instantanément.

Il apparaît donc une différence de pression entre l'extérieur et l'ensemble réservoir-capsule, et la capsule se déforme. Cette déformation est amplifiée mécaniquement et transmise à l'aiguille de l'instrument, suivant le même principe que pour un anémomètre.

Si l'avion se met en palier, les pressions extérieures et intérieures s'équilibrent par l'intermédiaire du capillaire et l'aiguille revient à zéro.

Le variomètre n'indiquant des vitesses verticales qu'avec un faible retard (environ 2 secondes), le pilote ne doit lire cet instrument qu'après avoir stabilisé l'attitude (l'assiette par exemple) présumée bonne de son avion.

Le pilotage de la trajectoire dans le plan vertical ne se fait pas en suivant les indications du variomètre : il se fait en appliquant à l'avion l'assiette recherchée. On contrôle ensuite la trajectoire dans le plan vertical à l'aide du variomètre lorsque l'avion est stabilisé.

LE COMPAS

Description

L'information de cap est nécessaire pour entreprendre une navigation aérienne. Le compas permet de mesurer l'orientation de l'avion par rapport au Nord magnétique : c'est le cap magnétique (fig. 88).

Le compas est constitué d'une rose des caps mobile associée à un barreau aimanté aligné sur l'axe Nord-Sud de la rose. Le système mobile baigne dans un liquide amortisseur qui limite les oscillations (fig. 89) et compense au maximum par l'intermédiaire de la poussée d'Archimède la composante verticale du champ magnétique terrestre afin de maintenir la rose le plus horizontalement possible.

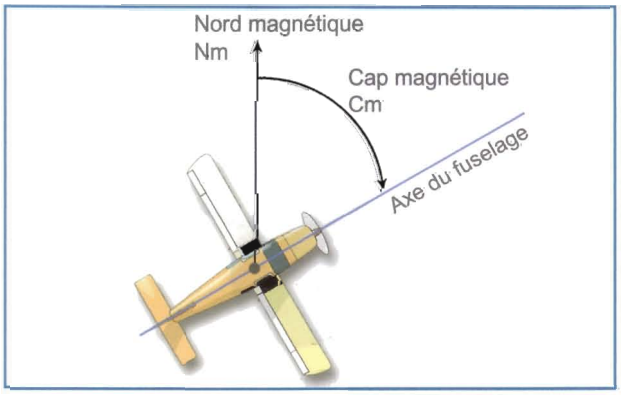


Fig. 88 – *Le cap magnétique exprime l'orientation de l'axe du fuselage par rapport au nord magnétique.*

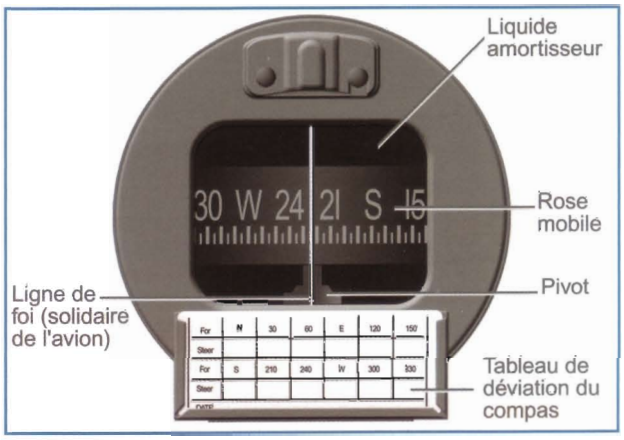


Fig. 89 – *Aspect et constitution du compas.*

Interprétation

La rose des caps est divisée en 360 degrés (fig. 90). L'information de cap magnétique est donnée par la rose graduée, liée à la direction du champ magnétique terrestre, par rapport à la « ligne de foi » (fig. 89), solidaire de l'avion.

Sur la rose du compas les indications de cap sont en dizaines de degrés :

Exemples de lecture de cap (Fig. 89)

N, nord,	*cap 360 °*
3	*cap 030 °*
30	*cap 300 °*
33	*cap 330 °*

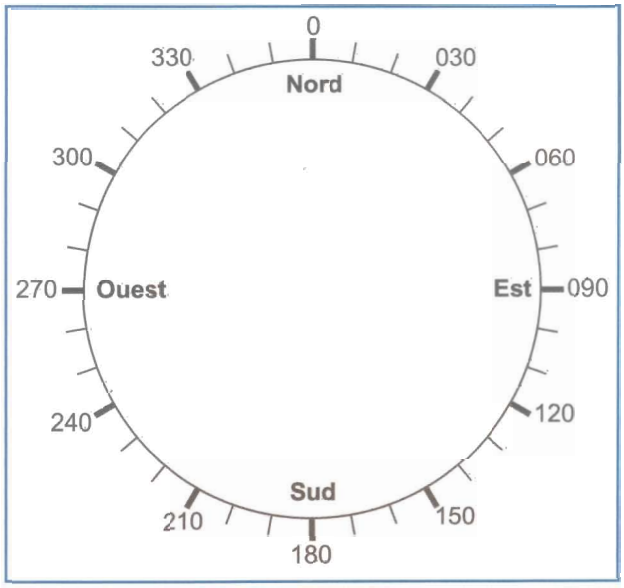


Fig. 90 – *La rose des caps.*

Cet instrument est perturbé par les masses métalliques proches, ce qui nécessite des réglages appelés « **compensation** » *(cf. **L'influence magnétique sur l'indication du compas magnétique** en page 192)* ; les erreurs ne sont pas toujours annulées, les corrections en fonction de l'orientation sont alors reportées dans un tableau associé à l'instrument (fig. 89).

Cet instrument simple donne des indications erronées dans certaines phases de vol. En effet toute accélération entraîne l'ensemble mobile par inertie et peut écarter l'aimant de son alignement avec le nord magnétique :

- en virage ;
- lors de variations de vitesses ;
- en atmosphère turbulente.

C'est pourquoi un instrument complémentaire plus stable est utilisé : le conservateur de cap, appelé aussi directionnel.

GYROSCOPE

Principe et fixité dans l'espace

Un gyroscope est constitué d'un rotor tournant à grande vitesse autour d'un axe, ce dernier possédant un ou plusieurs degrés de liberté par rapport au boîtier. L'entraînement du rotor est assuré par un moteur pneumatique ou électrique.

En suspendant le rotor, de façon à le soustraire aux perturbations extérieures (fixation par cardans, fig. 91), l'axe de rotation acquiert une très grande stabilité et devient fixe dans l'espace, pointant toujours dans la même direction.

Cette propriété permet au gyroscope d'être utilisé comme repère angulaire. L'axe du gyroscope pourra être orienté, par exemple, dans la direction du Nord magnétique, ou selon la verticale.

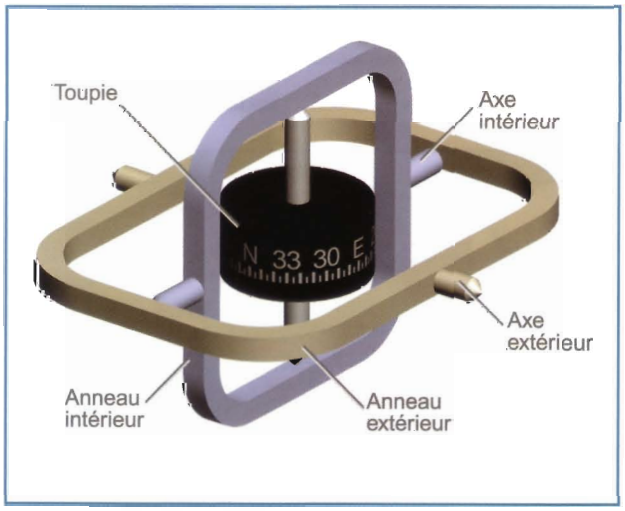


Fig. 91 – *Les cardans permettent à la toupie du gyroscope d'avoir une orientation libre dans l'espace.*

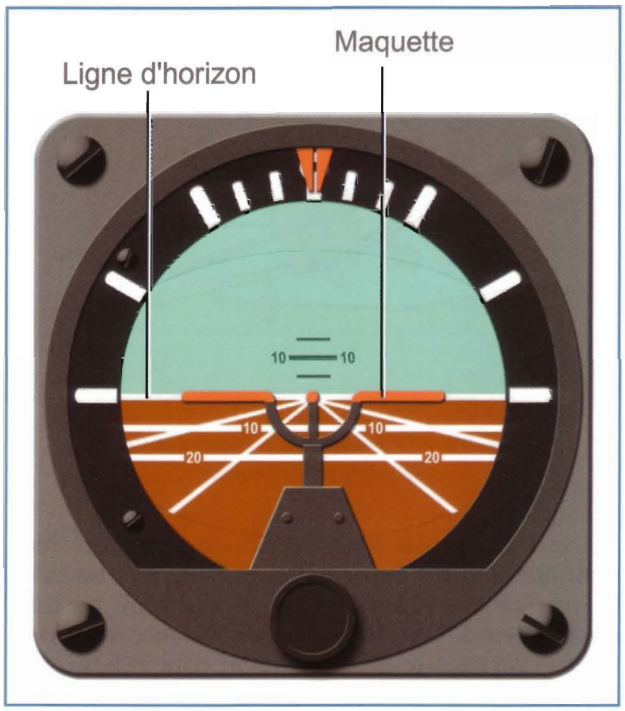


Fig. 92 – *L'horizon artificiel.*

On l'utilise pour trois instruments dont le principe nécessite une référence d'orientation fixe dans l'espace : l'horizon artificiel (dont la référence est la verticale), l'indicateur de virage et le conservateur de cap, ou directionnel (dont la référence d'orientation est, par exemple, le Nord magnétique).

Précession du gyroscope

Les frottements du mécanisme de suspension du rotor, les différentes accélérations de l'avion, la rotation terrestre perturbent le fonctionnement des gyroscopes : on observe une dérive lente de l'axe de la toupie, c'est-à-dire du repère angulaire. Il faut donc le recaler périodiquement sur une direction de référence.

Cette opération se fait manuellement pour le directionnel, que l'on règle régulièrement à l'aide des indications du compas magnétique, et automatiquement pour l'horizon artificiel.

L'HORIZON ARTIFICIEL

Principe et description

Cet instrument donne simultanément des informations d'assiette et d'inclinaison. Il utilise les références de l'axe du gyroscope dont la direction reste fixe tandis que le boîtier solidaire du tableau de bord suit les mouvements de l'avion (fig. 92).

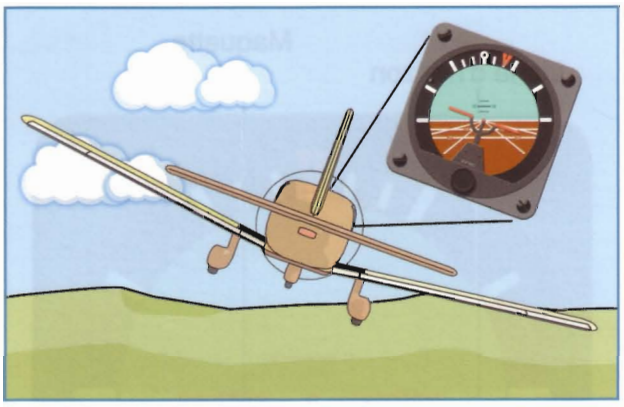


Fig. 93 – *Le boîtier de l'horizon artificiel est solidaire de l'avion.*

L'instrument est constitué d'une couronne fixe, d'un tambour sur lequel figurent la ligne d'horizon, le ciel (en bleu), la terre (le plus souvent en marron) associé à l'axe du gyroscope et d'une maquette. Celle-ci représente l'avion (aile et cône d'hélice) et est solidaire du boîtier, donc de l'avion.

Lors d'un mouvement de l'avion, c'est l'ensemble avion-boîtier-maquette qui se déplace autour du tambour (fig. 93). Sur ce dernier on trouve des graduations en degré qui permettent de déterminer l'assiette de l'avion. Sur le boîtier, la couronne supérieure porte, de part et d'autre du repère origine, des graduations en degré et notamment des repères à 30 °, 60 ° et 90 °. Ils permettent de mesurer l'inclinaison de l'avion.

Interprétation

Étudions l'indication instrumentale dans quelques cas de vol.

Il est nécessaire de régler l'horizon artificiel avant le décollage en affichant une assiette de référence telle que l'assiette 0 ° corresponde à la référence croisière en vol en palier. Cette opération peut être effectuée en croisière stabilisée si vous lisez sur l'horizon artificiel une assiette très différente de zéro (5 ° par exemple).

Vérification et limitation

Au sol vous devez vérifier l'état de fonctionnement de l'horizon artificiel, en contrôlant l'indicateur de dépression lorsque le gyroscope est à entraînement pneumatique, ou le drapeau d'alarme lorsque le gyroscope est à entraînement électrique.

Pendant le roulage, l'horizon doit rester stable et la maquette ne doit pas indiquer des assiettes ou des inclinaisons aberrantes.

Le recalage de l'axe du gyroscope de l'horizon artificiel pour le maintenir vertical est réalisé par un mécanisme érecteur. Contrairement au directionnel, il s'effectue automatiquement.

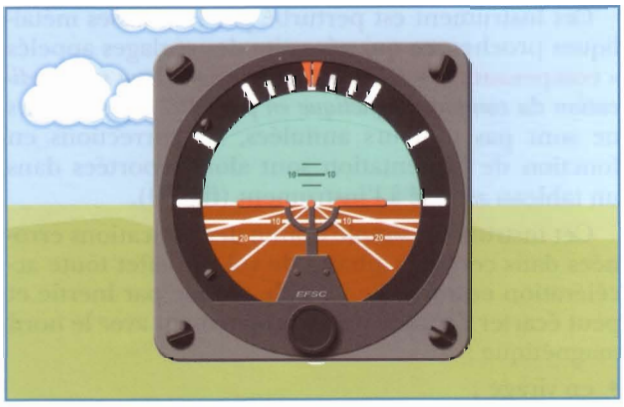


Fig. 94 – *Assiette 0 °, inclinaison nulle.*

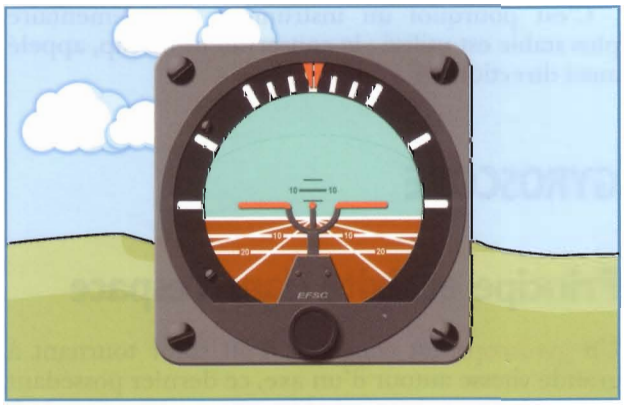


Fig. 95 – *Assiette + 4 °, inclinaison nulle.*

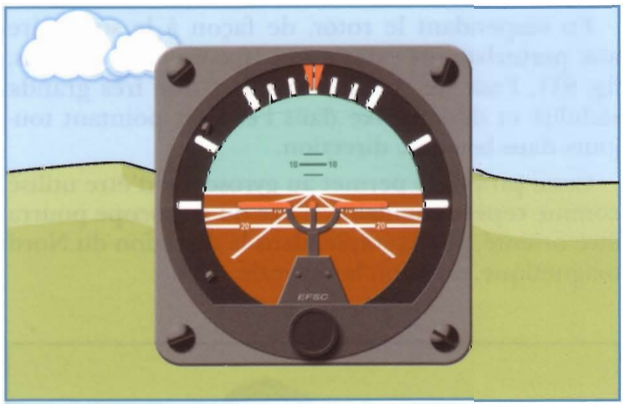


Fig. 96 – *Assiette – 8 °, inclinaison nulle.*

Fig. 97 – *Assiette + 4 °, inclinaison 20 ° gauche.*

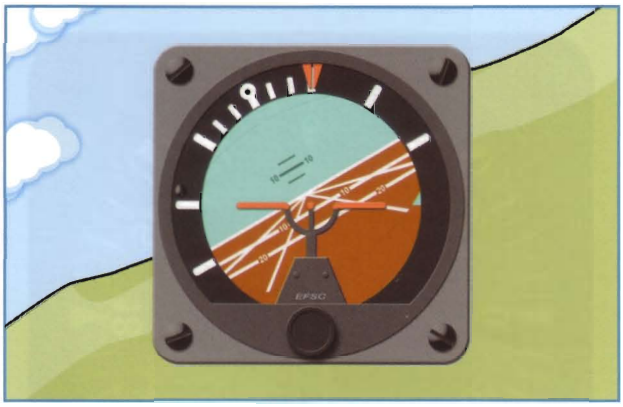


Fig. 98 – *Assiette – 6 °, inclinaison 30 ° droite.*

Fig. 99 – *Assiette 0 °, inclinaison 30 ° gauche.*

Pour la mise en route d'un horizon artificiel à entraînement électrique, vous disposez d'une molette qui vous permet de recaler instantanément l'axe du gyroscope. Ainsi, vous n'avez pas à attendre plusieurs minutes que le système érecteur face coïncider l'axe de la toupie du gyroscope avec la verticale.

Avec un horizon artificiel à entraînement pneumatique, c'est encore plus simple : quand la toupie est arrêtée, la position de repos de l'axe du gyroscope est précisément la verticale. Il n'y a donc pas de problème à la mise en route.

Certains horizons ont toutefois une position de blocage, qu'il convient de déverrouiller lorsque l'avion est à peu près horizontal. Sinon, il faudra attendre de longues minutes avant que le système érecteur ait tout remis en ordre.

LA BILLE ET L'INDICATEUR DE VIRAGE

Principe et description

Ces deux instruments sont souvent réunis sur un même cadran. **L'indicateur de virage** prend souvent la forme d'une aiguille. D'où l'appellation globale que l'on utilise parfois : « la **bille-aiguille** ».

La bille

Elle renseigne le pilote sur la symétrie du vol. Son principe est basé sur les forces d'inertie que subit l'avion en virage.

L'aiguille

Elle indique le sens et le taux du virage. Elle est associée à un gyromètre, composé d'un gyroscope qui

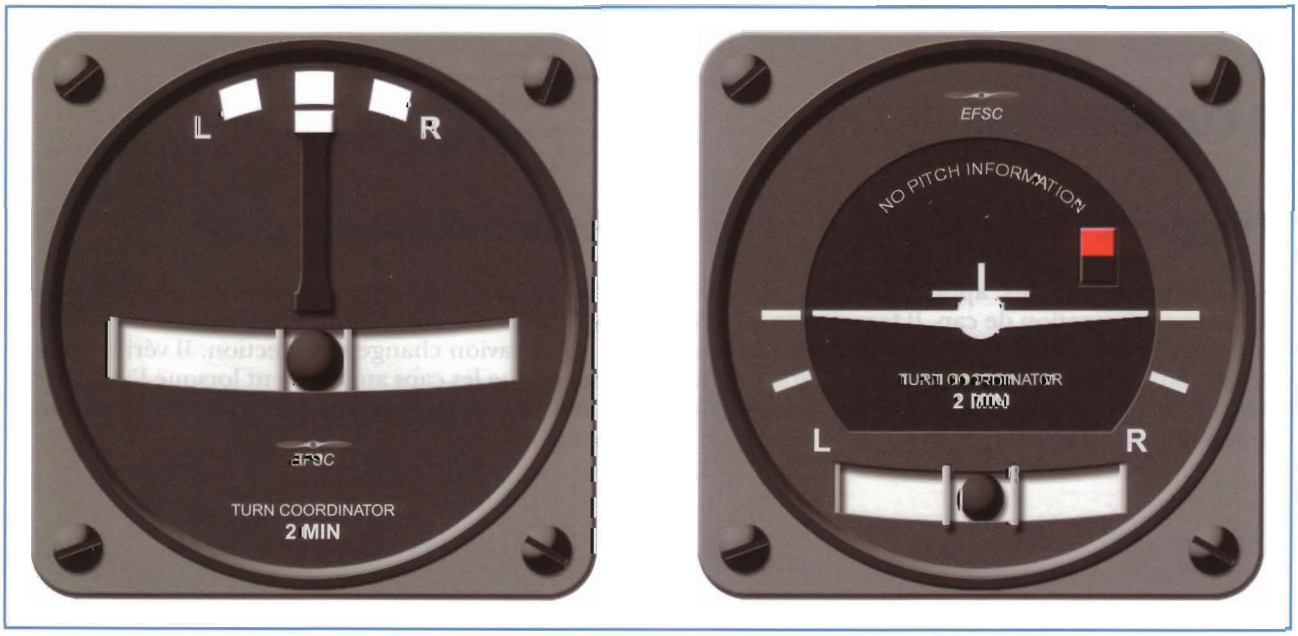


Fig. 100 – *Ici les deux présentations d'un indicateur de virage associé à une bille.*

mesure les vitesses de rotation par rapport à la verticale, donc le taux de virage.

Les deux présentations les plus courantes sont figurées page précédente (fig. 100).

Interprétation

La bille

Sur un avion monomoteur, ou sur un avion multimoteur dont tous les moteurs fournissent la même puissance, tant que la bille reste centrée, l'écoulement de l'air est symétrique par rapport à l'axe longitudinal du fuselage. On dit que le vol est symétrique *(voir « Technique du vol – Les gouvernes – La gouverne de direction »)*.

Si la bille s'écarte de sa position centrale, l'avion est en dérapage : l'écoulement de l'air autour du fuselage n'est plus symétrique. La symétrie du vol se contrôle avec la gouverne de direction, en poussant la pédale de palonnier du côté vers lequel s'écarte la bille. Pour se souvenir de cette règle, on utilise souvent la phrase suivante :

> *« Le pied chasse la bille »*
> *(Si la bille est à droite, le pied droit appuie sur la pédale de droite du palonnier, ce qui a pour effet de ramener la bille au centre)*

L'aiguille

Lorsque l'aiguille s'incline à droite, l'avion est en virage à droite (idem à gauche). Rappelons que l'aiguille indique un taux de virage en degré par seconde. On appelle un virage effectué au « taux standard », ou encore au taux 1, un virage de 360 ° en 120 secondes, soit 3 ° par seconde.

LE CONSERVATEUR DE CAP

Principe et description

Le conservateur de cap, appelé aussi **directionnel**, donne une information de cap. Il fonctionne à l'aide d'un gyroscope. La lecture du cap se fait sur une rose des caps, solidaire de l'axe du gyroscope, grâce à une ligne de foi représentée, le plus souvent, par une flèche triangulaire (fig. 101).

Fig. 101 – *Le conservateur de cap.*

Particularité d'utilisation

Lors de la mise en fonction du directionnel, le pilote utilise les informations du compas pour régler la rose des caps. L'opération est effectuée à l'aide d'une molette située près de l'instrument. Elle permet, en isolant la rose des caps du mécanisme relié au gyroscope, de faire en sorte que le cap lu en face de la ligne de foi corresponde à l'indication du compas magnétique.

Au bout d'un certain temps, le gyroscope perd sa référence d'orientation, du fait des frottements et de la précession. Il faut alors recaler le directionnel, cette opération ne pouvant s'effectuer que lorsque l'indication du compas est exploitable et cela toutes les 15 minutes environ.

> ***En vol le calage ne doit se faire qu'en vol horizontal stabilisé.***

Vérification par le pilote

La vérification du bon fonctionnement se fait au roulage : le pilote contrôle que la rose des caps tourne lorsque l'avion change de direction. Il vérifie en particulier que les caps augmentent lorsque l'avion tourne à droite, et que les caps diminuent lors d'un virage à gauche.

LE GROUPE MOTOPROPULSEUR

Les moteurs d'avions légers fonctionnent pour la plupart sur le même principe que celui des moteurs d'automobile : ce sont des moteurs à pistons, dans lesquels on transforme un mouvement alternatif (le mouvement de va-et-vient des pistons) en mouvement rotatif (rotation de l'arbre de sortie).

Le moteur à pistons Cycle à quatre temps

Constituants principaux

La figure 102 représente les éléments fondamentaux du moteur :

- le **cylindre**, dans lequel s'effectue le mouvement de va-et-vient ;
- le **piston**, qui transforme l'énergie dégagée par la combustion du carburant en mouvement de va-et-vient ;

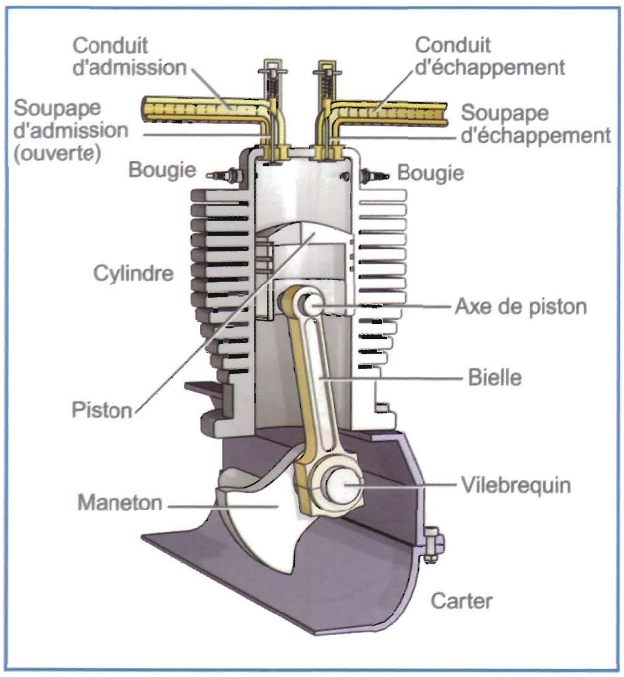


Fig. 102 – *Eléments principaux d'un cylindre de moteur à pistons.*

- la **bielle**, qui permet la transformation du mouvement alternatif de va-et-vient du piston en mouvement rotatif ;
- le **vilebrequin**, qui tourne sur lui-même.

Le cylindre est fermé à une de ses extrémités (extrémité haute sur la figure 102) par la **culasse**, sorte de couvercle supportant les éléments qui permettent l'admission des gaz dans la chambre, l'allumage du mélange air-carburant, et l'échappement des gaz brûlés. Ces éléments sont (fig. 102) :

- les **soupapes** d'admission et d'échappement ;
- les **bougies** d'allumage (on trouve sur les moteurs à pistons d'avion deux bougies par cylindre, au lieu d'une seule sur les moteurs d'automobiles).

Notons pour mémoire que les soupapes sont mues par un ou plusieurs arbres à cames, non figuré(s) sur la figure. Tous ces constituants sont conçus pour réaliser le cycle à quatre temps.

Le cycle à quatre temps

Le cycle de fonctionnement du moteur comprend quatre temps, chaque temps correspondant à un aller ou un retour du piston (fig. 103) :

- lors du **premier temps**, le piston s'éloigne de la culasse. La soupape d'admission est ouverte et le mélange air-carburant est aspiré dans le cylindre. C'est la phase d'**admission** ;
- lors du **deuxième temps**, le piston remonte vers le haut du cylindre. Les deux soupapes sont fermées et le mélange air-carburant est comprimé. C'est la phase de **compression** ;
- lorsque le piston atteint le sommet du cylindre, ou un peu avant qu'il l'ait atteint (on dit alors qu'il y a une « avance à l'allumage »), une étincelle fournie par les bougies allume le mélange qui s'enflamme. La pression des gaz de combustion, sous l'effet de la chaleur, pousse le piston vers le bas. C'est le **troisième temps**, qui comporte la combustion et la **détente** ;
- juste avant l'arrivée du piston en position basse, la soupape d'échappement commence à s'ouvrir et les gaz brûlés sont évacués par le retour du piston vers le haut du cylindre. C'est le **quatrième temps**, appelé **échappement**.

A l'issue du quatrième temps, un nouveau cycle de quatre temps commence.

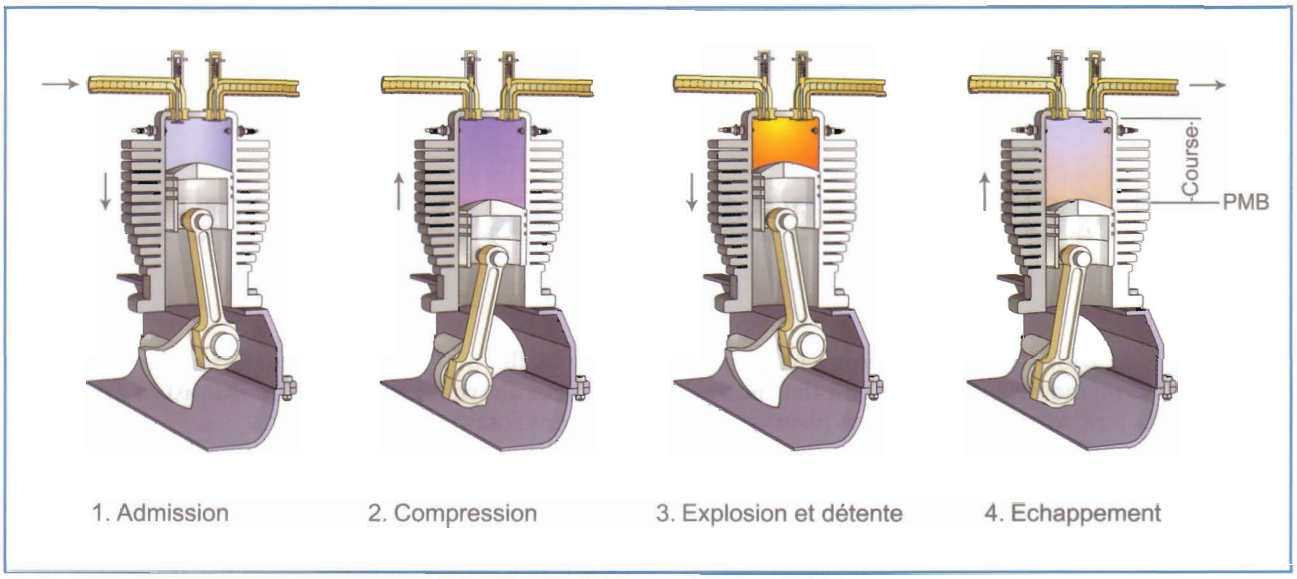


Fig. 103 – *Les quatre temps du cycle des moteurs à piston.*

L'hélice

Elle est constituée d'un moyeu centré sur l'arbre de sortie du moteur, de pales et parfois de dispositifs divers permettant la variation du calage des pales ou leur dégivrage. Le moyeu et l'arbre sont protégés par un carénage, appelé « cône d'hélice », dont la fonction principale est de guider l'air vers les entrées d'air du moteur, pour assurer son refroidissement.

Des pales sont fixées sur le moyeu (fig. 104). Il y en a au moins deux, mais on peut en trouver trois ou quatre, et même pour certaines hélices jusqu'à huit.

Chaque pale se présente sous la forme d'un profil d'aile dont la corde de référence fait un angle avec le plan de rotation de l'hélice (fig. 104). Cet angle est appelé **angle de calage**.

Le fonctionnement de l'hélice est tout à fait analogue à celui d'une aile d'avion. Le vent relatif, issu :

- d'une part du déplacement de l'avion ;
- d'autre part de la rotation de l'hélice,

crée sur chaque pale une force aérodynamique *(voir « Résultante aérodynamique »)*, qui se décompose :

- en portance ou **traction**, parallèle à l'axe de rotation de l'hélice,
- en **traînée**, perpendiculaire à l'axe de rotation.

Dans le cas du vol stabilisé, la traction de l'hélice équilibre la traînée de l'avion, et le couple résistant de l'hélice équilibre le couple du moteur.

De même que pour l'aile, la valeur et l'orientation de la résultante aérodynamique dépendent de **l'angle d'incidence des pales**. Comme cet angle dépend de la distance de la section de pale au centre de l'hélice (il diminue à mesure que l'on s'éloigne du centre), on a choisi une référence : l'angle de calage.

Le calage le plus favorable en fonction de ce que l'on souhaite (bonne accélération et bonne performance de montée ou bonne vitesse de croisière) dépend d'une part de la vitesse de l'avion, et d'autre

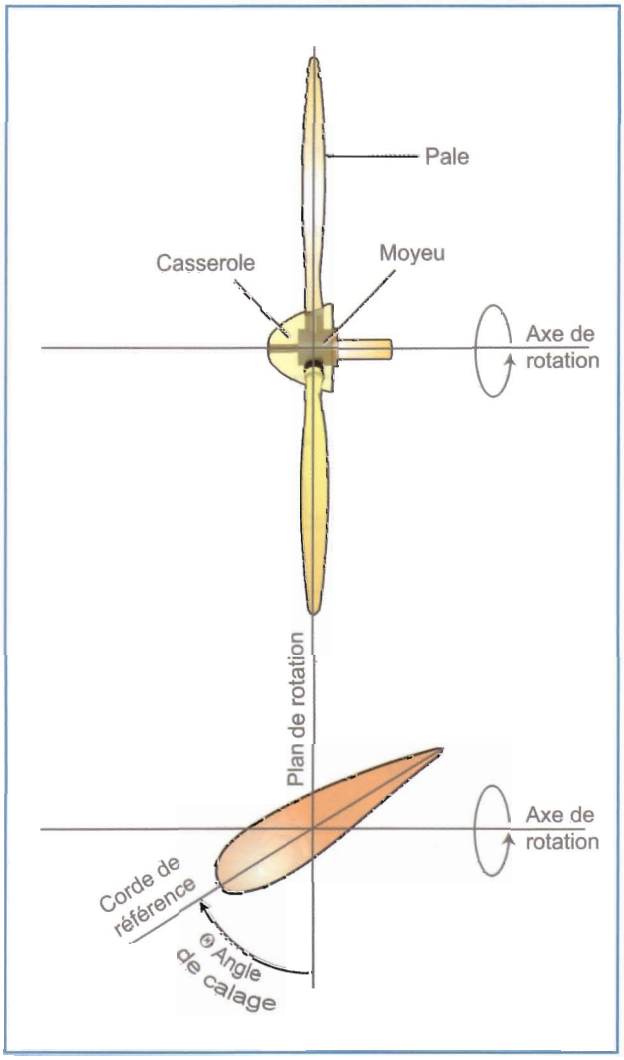


Fig. 104 – *L'hélice et son angle de calage.*

part de la puissance délivrée par le moteur. En fonction de ces deux paramètres, le calage le plus adapté peut être faible ou important.

Il est donc intéressant de pouvoir le modifier en fonction des phases de vol (décollage, croisière) et de ce que l'on souhaite. Mais ce n'est pas toujours possible.

L'hélice à calage fixe

La solution est peu coûteuse, car l'hélice est d'un seul bloc (fig. 105), et il n'y a pas de système de commande de calage. En outre, la conduite du moteur s'en trouve très simplifiée. Mais l'hélice à calage fixe présente un inconvénient.

Imaginez-vous au volant d'une voiture munie de sa seule cinquième vitesse. Vous allez rencontrer des problèmes au démarrage car vous demanderez au moteur un couple important avec un régime très faible : le surcouple engendré risque d'endommager l'ensemble pistons-bielles-vilebrequin.

Supposez maintenant que votre voiture ne possède qu'une première vitesse. Si vous accélérez, vous allez très vite atteindre une limite : le surrégime.

De même sur un avion, une hélice à calage trop important entraînerait un surcouple au décollage, et une hélice à calage faible pourrait provoquer, si le pilote n'était pas vigilant, un surrégime en croisière. Le calage de l'hélice à calage fixe est donc un compromis entre ces deux extrêmes. De ce fait, le calage n'est idéal ni au décollage, ni en croisière.

Sur les avions équipés de ce type d'hélice, **le régime du moteur est, en vol, lié à la vitesse** : il augmente lorsque la vitesse de l'avion augmente, et diminue lorsque l'avion ralentit.

L'hélice à calage variable
(encore désignée à vitesse constante)

Bien que d'un coût plus important et d'une utilisation plus complexe que l'hélice à calage fixe, elle permet de choisir le calage de l'hélice et ainsi d'avoir un calage favorable dans toutes les phases de vol (même en panne moteur, où l'hélice peut se mettre en drapeau et n'offrir que peu de traînée).

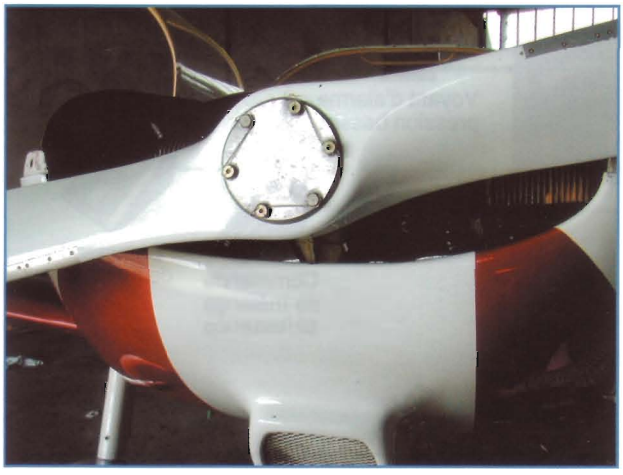


Fig. 105 – *L'hélice à calage fixe est monobloc.*

Fig. 106 – *L'hélice à calage variable comporte plusieurs parties, pales et système de régulation.*

Elle est équipée d'un mécanisme qui assure la variation du calage des pales, et d'un système de régulation qui permet au pilote de choisir une vitesse de rotation de l'hélice (et donc du moteur), qui reste constante quelle que soit la vitesse de l'avion (dans les limites données dans le manuel de vol). L'hélice est en plusieurs parties et les pales sont séparées les unes des autres (fig. 106).

Grâce à la commande de régime, vous adaptez le calage de l'hélice à la vitesse de l'avion. Au décollage, on choisira un régime pour lequel le calage est minimal (appelé commande « plein petit pas »), pour avoir une puissance maximale (comme la première vitesse d'une voiture). Le système de régulation maintient alors automatiquement le régime maximale du moteur (en évitant le surrégime) pendant toute la phase d'accélération.

En croisière, on préfère un régime pour lequel le calage est important (commande « grand pas ») pour accroître la vitesse de croisière et diminuer la vitesse de rotation du moteur. Les réglages du régime moteur en fonction des phases de vol sont indiqués dans le manuel de vol.

Retenons que :

Lorsque l'hélice est à calage fixe,
le régime moteur varie si la vitesse varie.
Lorsque l'hélice est à calage variable,
le régime moteur reste constant si la vitesse varie.

Le carburant

La source d'énergie nécessaire à la propulsion des avions légers est le carburant emmené à bord mélangé à l'air atmosphérique. Compte tenu des masses de ces avions, de la vitesse à laquelle ils volent et de l'altitude qu'ils atteignent, on devine que le mélange air/essence est hautement énergétique.

Pour fixer les idées, l'énergie obtenue à l'aide d'un seul litre d'essence liquide, que l'on vaporise et que l'on mélange à de l'air, est suffisante pour élever un camion de 32 tonnes sur une hauteur de 100 mètres ! Il faut donc que cette énergie soit maîtrisée par le concepteur de l'avion, mais aussi et surtout par son utilisateur, le pilote.

Au cours de ce cheminement qui nous conduira du lieu de stockage du carburant (les réservoirs) jusqu'à l'endroit où il est brûlé (le cylindre), nous nous souviendrons du caractère hautement énergétique de l'essence.

Circuit carburant

Pour que l'essence parvienne des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange (carburateurs ou injecteurs), on utilise évidemment des canalisations qui doivent avoir comme particularité de ne pas se casser sous l'effet des vibrations du moteur ou de la cellule.

On trouve juste en amont du moteur une pompe à essence mécanique (fig. 107), uniquement entraînée par la rotation du moteur, qui amène l'essence jusqu'au dispositif de mélange air-essence. Chaque fois que cela est possible (en particulier pour les avi-

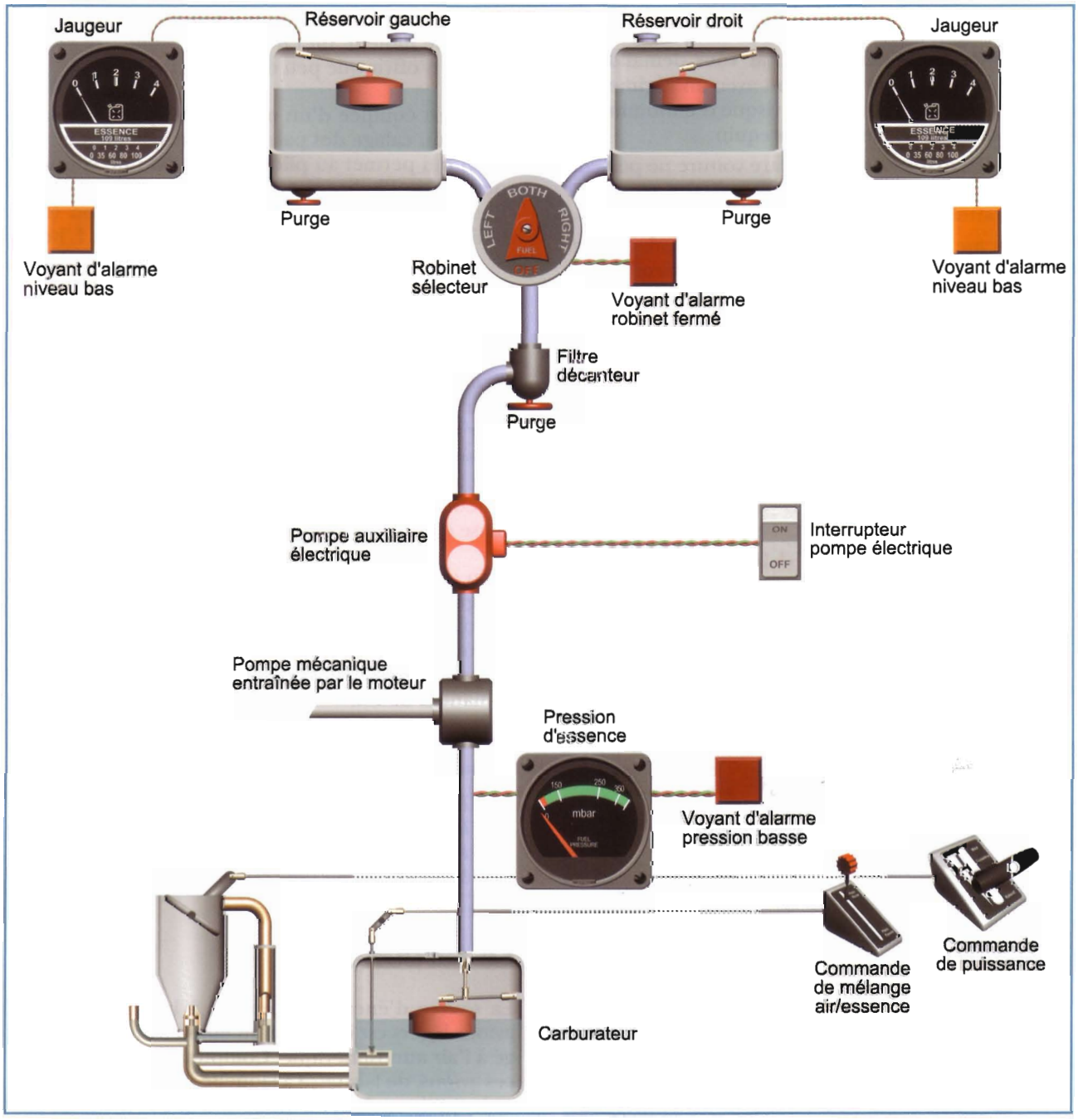


Fig. 107 – *Un circuit carburant type, des réservoirs jusqu'au dispositif de mélange air-essence.*

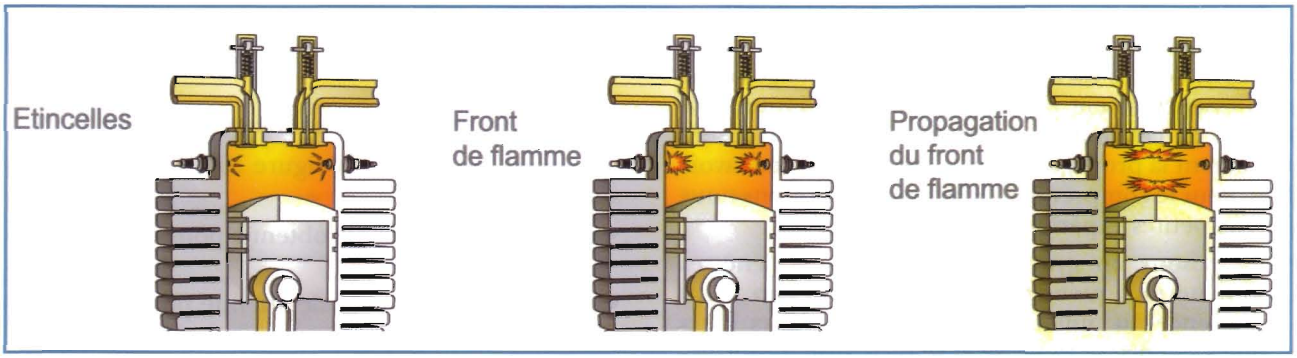


Fig. 108 – *La flamme se propage progressivement à tout le volume de mélange gazeux.*

ons à ailes hautes), les constructeurs d'avions utilisent la gravité pour faire arriver l'essence à la pompe mécanique. Mais cela n'est pas toujours possible.

Il faut savoir que les tuyaux doivent traverser la cloison pare-feu qui sépare le compartiment moteur de la cabine pour arriver jusqu'au moteur.

Ils sont de ce fait soumis, surtout l'été au sol et au décollage quand la ventilation due au « courant d'air » n'est pas encore établie, à des températures très élevées. Or certains carburants peuvent bouillir à des températures aussi « basses » que 50 °C, à la pression du niveau de la mer. L'essence peut se vaporiser dans le tuyau, stoppant l'arrivée au moteur.

On a donc ajouté une pompe électrique (fig. 107), branchée sur le réseau électrique de l'avion, qui agit de deux façons :

- elle envoie un « flot » d'essence qui peut chasser la bulle de vapeur formée ;
- elle augmente la pression dans le tuyau, ce qui a pour effet de diminuer le risque d'ébullition.

On se conformera donc strictement au manuel de vol de l'avion ; ce dernier prévoit généralement l'utilisation de la pompe électrique, notamment sur les avions ayant leurs réservoirs dans des ailes basses, avant le décollage et pendant les phases où l'arrêt du moteur rendrait la situation critique (en approche par exemple).

Des orifices de purge (fig. 107) permettent de chasser l'eau de condensation et les impuretés (sables, etc.) qui peuvent se trouver dans les réservoirs et aux points bas du circuit.

Le circuit carburant est aussi équipé d'un robinet, ou de plusieurs (fig. 107), qui permet la commutation d'un réservoir à l'autre lorsque l'avion comprend deux réservoirs. Le même robinet permet aussi de couper l'arrivée d'essence au moteur, en cas d'incendie (il sert alors de coupe-feu), ou au sol lorsque l'on souhaite ranger l'avion (on isole alors le moteur de sa source d'énergie).

Afin d'éviter des arrêts du moteur par défaut d'alimentation en carburant, vous devez manœuvrer ce robinet comme indiqué dans le manuel de vol.

A la mise en route , vérifier que le robinet est bien ouvert pour éviter une panne franche au décollage lorsque le carburant dans la tuyauterie aura été consommé (risque sur les aérodromes nécessitant peu de temps de roulage).

Généralement, sur les avions à ailes hautes, il doit être sur une position permettant l'alimentation depuis les réservoirs principaux pour les phases de décollage, d'approche et atterrissage (position « Ouvert » ou « Both ») ; le carburant s'écoule normalement par gravité ; cependant, au cours du vol, cet écoulement peut se faire plus ou moins rapidement selon les réservoirs : il est alors nécessaire de sélectionner le robinet sur le réservoir le plus plein pour rétablir l'équilibre. Sur les avions à ailes basses, le décollage se fait généralement sur le réservoir le plus plein ; en cours de vol, il sera nécessaire de maintenir l'équilibre pour ne pas détruire les qualités aérodynamiques de l'avion ; certains manuels fixent des écarts maximum à ne pas dépasser entre réservoirs.

En vol, il est donc indispensable d'adopter une méthode rigoureuse pour assurer un suivi de consommation carburant et effectuer en temps utile les changements de réservoirs si nécessaire (par exemple s'imposer un bilan toutes les 30 minutes et permuter de réservoir pour éviter un arrêt moteur alors que l'avion dispose encore du carburant suffisant pour poursuivre son vol).

A l'arrivée, la check-list en début de descente doit inclure le passage sur la position prévue au manuel pour l'approche et atterrissage (position « Both » ou « Réservoir le plus plein » selon le type d'avion).

La combustion

Lorsqu'un **mélange** à peu près homogène de **carburant**, l'essence, et de **comburant**, l'oxygène de l'air, est porté à une certaine **température**, il y a inflammation.

Cette inflammation ne se fait pas dans tout le mélange gazeux en même temps : il y a d'abord inflammation à l'endroit où on a apporté de la chaleur (entre les électrodes des bougies d'allumage par exemple). Puis, si la chaleur dégagée par cette inflammation initiale est suffisante, ce sont les parties avoisinantes du mélange gazeux qui vont s'enflammer. La réaction s'amorce à son tour dans les zones voisines et ainsi de suite : on dit que la flamme se propage (fig. 108).

Pour que la flamme se propage de cette manière, il est impératif que le mélange initial soit convenablement dosé, c'est-à-dire que les pourcentages d'air et d'essence soient compris entre deux limites. En-dehors de ces limites, la combustion, qui est essentiellement la propagation de la flamme, ne peut avoir lieu. Pour le comprendre intuitivement, prêtons-nous à deux petites expériences :

- Supposons un gymnase dont portes et fenêtres sont hermétiquement closes. Déposons un verre d'essence au milieu et attendons plusieurs jours que l'essence se vaporise et se répartisse uniformément dans le local. Allumons alors un briquet dans le gymnase. On constatera que rien ne se passe… : le mélange ne contient pas assez d'essence pour qu'un incendie se déclare ;
- Remplissons à présent un fût d'essence aux trois quarts. Chauffons-le modérément, par exemple au bain-marie, en laissant le bouchon ouvert. L'essence va se vaporiser lentement et chasser complètement l'air dans la partie supérieure du fût. Fermons le bouchon et injectons avec une seringue un ou deux centimètres-cube d'air. Provoquons alors une étincelle avec une bougie automobile vissée dans le couvercle. On constate encore que rien ne se passe.

  Des chimistes ont étudié les conditions de propagation de la flamme, les résultats sont assez précis : la flamme se propage, c'est-à-dire qu'il y a combustion, si la masse d'essence dans l'air, à la pression atmosphérique du niveau de la mer, est comprise entre **1 gramme d'essence** pour **20 grammes d'air** (soit 5 %) et **1 gramme d'essence** pour **8 grammes d'air** (soit 12,5 %) ; le mélange chimiquement parfait, encore appelé dosage stoechiométrique) correspond à environ **1 gramme d'essence** pour **15 grammes d'air** (soit 7 %).

Nous aurons donc :

- un mélange riche pour un dosage allant de 1/15 à 1/8 ;
- un mélange pauvre pour dosage de 1/15 à 1/20.

Comme le montre la figure 109, le dosage joue sur :

- la puissance maximale obtenue pour un dosage de l'ordre de 1/12,5 ;
- la température maximale atteinte pour un dosage de l'ordre de 1/15 ;
- la vitesse du front de flamme (**VFF**) maximale obtenue au dosage de la puissance maximale .

Par ailleurs, un dosage supérieur à 1/8 et inférieur à 1/20 entraîne une extinction ; il y a donc lieu de **manœuvrer lentement** la commande de richesse dans le sens de l'appauvrissement pour ne pas aller trop loin et provoquer un abaissement brutal de la puissance.

Enfin, les résidus de combustion créent des points chaux et des dépôts qui peuvent engendrer un mauvais fonctionnement.

Nous avons vu les conditions nécessaires à la combustion dans les cylindres du moteur, mais il ne faut absolument pas que l'essence brûle ailleurs, c'est-à-dire dans la cellule ou dans les réservoirs. Ces mêmes conditions vont nous permettre de voir quelles sont les précautions à prendre pour que la combustion ne puisse pas avoir lieu ailleurs que dans les cylindres.

Stockage du carburant dans l'avion

On a vu que seul un mélange convenable d'air et d'essence s'enflamme au contact d'une étincelle. Une bougie provoquant une étincelle dans un réservoir

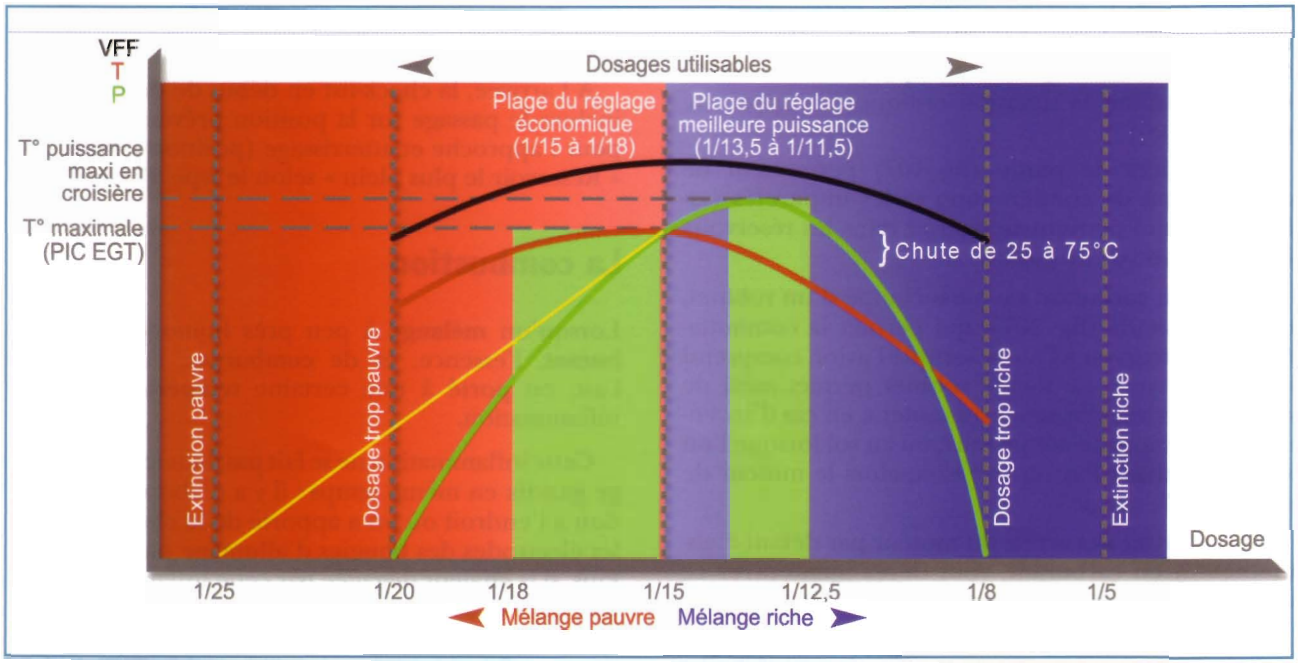


Fig. 109 – *Dosage de la richesse.*

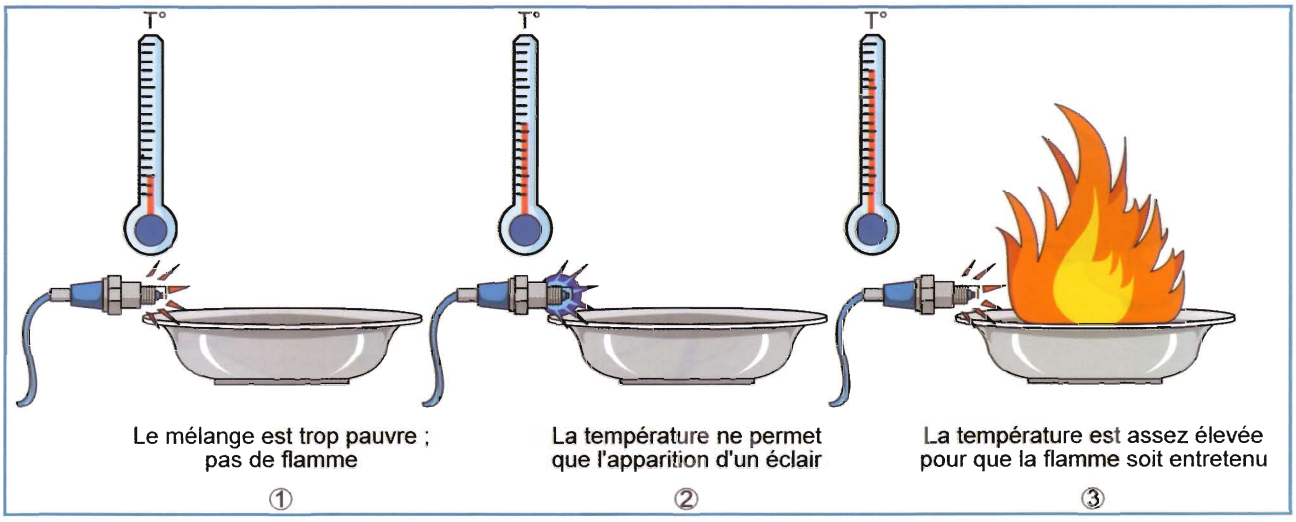


Fig. 110 – *Mise en évidence du « point éclair » et du « point feu » de l'essence.*

d'essence plein ne causerait aucun dégât à l'avion, cela pour deux raisons, chacune suffisante :

- le mélange est trop riche : 100 % ;
- l'essence est à l'état liquide.

Mais il faut savoir ce qui se passerait dans le cas d'un remplissage partiel des réservoirs, ce qui est malheureusement le cas habituel.

Lorsque le bouchon est fermé, l'espace supérieur du réservoir contient un mélange d'air et de vapeur d'essence, le tout à la pression qui règne à l'altitude où vole l'avion (les réservoirs ne sont en effet pas pressurisés et sont reliés à l'air libre par de petits orifices permettant de compenser par une arrivée d'air l'essence consommée par le moteur). Si une étincelle survenait dans ce mélange air-essence, que se passerait-il ?

Les techniciens de l'aéronautique chargés de la conception des réservoirs d'avion ont fait, pour répondre à cette question, l'expérience suivante :

- Prenons une cuvette d'essence, à l'air libre, un jour où le vent est absolument nul. Mettons en route une bougie produisant toutes les secondes une étincelle. Si la bougie est mise en route très loin de la cuvette, il est bien évident que rien ne va se passer : le mélange est trop pauvre (fig. 110 – ①). Approchons à présent la bougie de la surface de l'essence. Nous allons augmenter progressivement la température de l'air ambiant.

  A partir d'une certaine température, on voit apparaître un « éclair » (②) et on constate que la cuvette ne prend pas feu. La température n'est pas assez élevée, et l'essence ne se vaporise pas assez vite à la surface de la cuvette pour alimenter en mélange air-essence les zones voisines de la bougie. La flamme ne se propage pas. La température de l'air ambiant correspond à la **température du « point éclair »**.

  Attendons que la température de l'air ambiant augmente encore, puis répétons l'expérience. L'essence liquide, plus chaude, se vaporise beaucoup plus vite. Les zones voisines de l'éclair sont à présent alimentées en mélange air-essence : la flamme se propage (③), dégage assez de chaleur pour augmenter encore la vaporisation de l'essence liquide, et le feu est entretenu. C'est le « point feu », la température à laquelle apparaît ce phénomène s'appelle **température du « point feu »**.

Sous la pression atmosphérique au niveau de la mer :

- le point éclair de l'essence est compris entre – 20 °C et – 5 °C ;
- le point feu de l'essence est compris entre 0 °C et 30 °C.

On voit donc que le point feu se situe à des températures auxquelles il est habituel de faire le plein d'essence, et auxquelles il est courant de voler (en été). Il faut savoir qu'il est impensable de conserver longtemps de l'essence dans un véhicule habité par des êtres humains si on est dans les conditions du point feu. Il est en effet impossible d'imaginer que dans les réservoirs de toutes les voitures et les avions du monde, on ne trouve pas de temps en temps une étincelle.

Précautions lors de l'avitaillement

Les conditions du point feu sont rarement réunies lorsque les réservoirs sont fermés. En effet, l'air contenu dans les réservoirs est alors saturé en vapeur d'essence, le mélange est trop riche, et l'inflammation ne peut avoir lieu. Il conviendra donc de ne **jamais oublier de refermer le réservoir après un avitaillement en essence**.

Si vous constatez en vol **la perte d'un bouchon, vous devez vous poser dans les plus brefs délais** : l'air contenu dans les réservoirs peut alors ne plus être saturé en vapeur d'essence, le mélange air-essence peut être compris entre 4,6 % et 18 %, et les conditions du

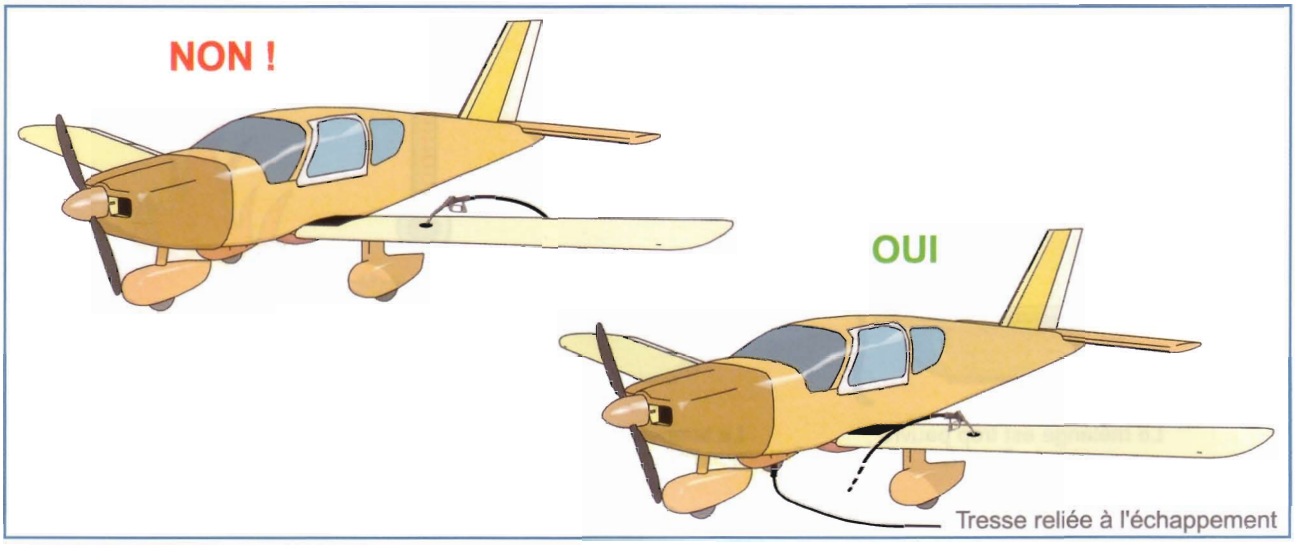


Fig. 111 – *La tresse de mise à la masse permet d'éviter l'apparition d'une étincelle pendant l'avitaillement.*

point feu sont alors réunies. Vous êtes à la merci de la moindre étincelle, qui peut provoquer l'explosion…

Lors d'un ravitaillement en essence, les bouchons sont ouverts et le risque de se trouver dans les conditions du point feu est beaucoup plus important. C'est pourquoi il est IMPÉRATIF que la cellule de l'avion soit reliée à la terre par une tresse dont chaque poste à essence est équipé (fig. 111). En effet, si l'avion n'est pas relié à la terre, lorsque vous approchez le bec de remplissage de l'orifice du réservoir, une étincelle peut se produire entre la cellule de l'avion et le bec (à cause de l'électricité statique emmagasinée par l'avion pendant le vol, par exemple). Dans ce cas, c'est l'explosion… **N'oubliez donc jamais de vérifier que la tresse de mise à la terre est bien en place avant tout avitaillement**, même si ce n'est pas vous qui vous occupez de cette opération. Il suffit qu'elle soit fixée sur une partie métallique non peinte, le pot d'échappement par exemple.

Ce sont ces considérations physiques et chimiques qui font qu'un réservoir vide est plus dangereux qu'un réservoir plein : moins le réservoir contient d'essence liquide, plus il contient de l'essence sous forme de vapeur. Et nous savons que celle-ci peut être extrêmement dangereuse si elle se combine avec l'oxygène de l'air. C'est pourquoi il faudra s'employer, chaque fois que cela sera possible, à **faire le plein des réservoirs lorsque vous rangerez votre avion dans un hangar avec d'autres avions**. Les réservoirs étant pleins, vous réduirez les risques d'explosion, car les vapeurs d'essence se trouveront en moins grande quantité dans les réservoirs.

Cela dans l'éventualité où vous n'auriez pas de limitations pour le prochain décollage.

Une autre raison de faire le plein de carburant avant de ranger les avions est qu'un réservoir vide contient de l'air, qui peut contenir de la vapeur d'eau. La température descendant pendant la nuit, de la vapeur d'eau se condense sur les parois des réservoirs et coule dans le fond (l'eau est en effet plus lourde que l'essence : 1 litre d'eau pèse 1 kg, 1 litre d'essence pèse 0,72 kg).

Moins il y aura d'air dans les réservoirs, moins il se condensera d'eau. Dans tous les cas, **il sera nécessaire de « purger » les réservoirs avant la première mise en route de la journée**, pour éliminer l'eau de condensation qui risque, si elle passe dans le circuit de carburant, de provoquer l'extinction du moteur au moment où on a le plus besoin de puissance (pendant le décollage par exemple, après que toute l'essence contenue dans les tuyaux reliant les réservoirs au moteur ait été consommée).

La purge doit-être effectuée le matin avant de déplacer l'avion

Allumage

Nous avons déjà évoqué le rôle des bougies d'allumage dans la mise à feu du mélange air-essence : ce sont elles qui initialisent l'inflammation en produisant une étincelle.

Le choix du moment où la bougie produit l'étincelle est primordial pour la bonne marche du moteur.

Trop tôt, le front de flamme atteint le piston avant qu'il ne soit arrivé en position haute, et s'oppose ainsi à son avancement : la puissance du moteur diminue. Trop tard, le front de flamme atteint le piston alors qu'il a déjà commencé sa descente vers le vilebrequin : l'énergie de la combustion n'est pas complètement utilisée.

L'étincelle doit toujours être produite avant que le piston ne soit en position haute (fig. 112) pour que le front de flamme, compte tenu de sa vitesse de déplacement (environ 4 km/h), atteigne le piston lorsqu'il se trouve en bout de course. Le réglage du moment où l'étincelle jaillit est donc toujours en avance sur le piston : ce phénomène s'appelle **l'avance à l'allumage**.

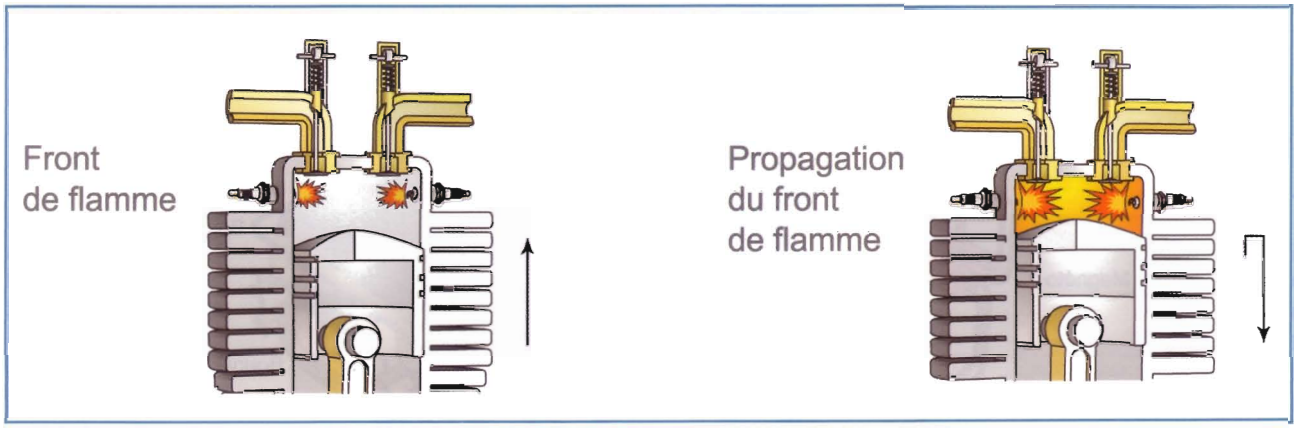


Fig. 112 – *L'étincelle jaillit de la bougie avant l'arrivée du piston en position haute. C'est l'avance à l'allumage.*

Le circuit d'allumage est construit dans un objectif de sécurité maximale. C'est pourquoi on a choisi de le rendre autonome.

L'organe qui alimente les bougies en énergie électrique est **la magnéto**. Contrairement au circuit d'automobile, la magnéto n'a pas besoin de batterie pour fonctionner : elle est **autonome**.

A la mise en route du moteur, la batterie de bord fournit le courant électrique qui alimente le démarreur. Le démarreur entraîne le moteur et les accessoires qui lui sont mécaniquement liés, tel l'élément rotatif de la magnéto qui fournit à chaque cylindre, à l'instant opportun, l'étincelle nécessaire. Dès que le moteur tourne, le circuit du démarreur est déconnecté et la batterie ne joue plus aucun rôle dans le fonctionnement propre du moteur.

Un fil relie le contact qui se trouve dans le cockpit aux magnétos qui se trouvent sur le moteur. Ce fil traverse la cloison pare-feu, il est fragile et risque de se couper. Son rôle est de mettre les magnétos à la masse, de les neutraliser. Ainsi, s'il casse, cela n'a pas grande importance en vol car les magnétos produiront toujours de l'électricité et le moteur continuera de tourner, vous ne vous en apercevrez même pas. **C'est un fil de coupure, et non d'alimentation.**

Le fait que les magnétos n'aient pas besoin de batterie pour fonctionner constitue tout de même un certain danger : si un enfant joue avec l'hélice au sol,

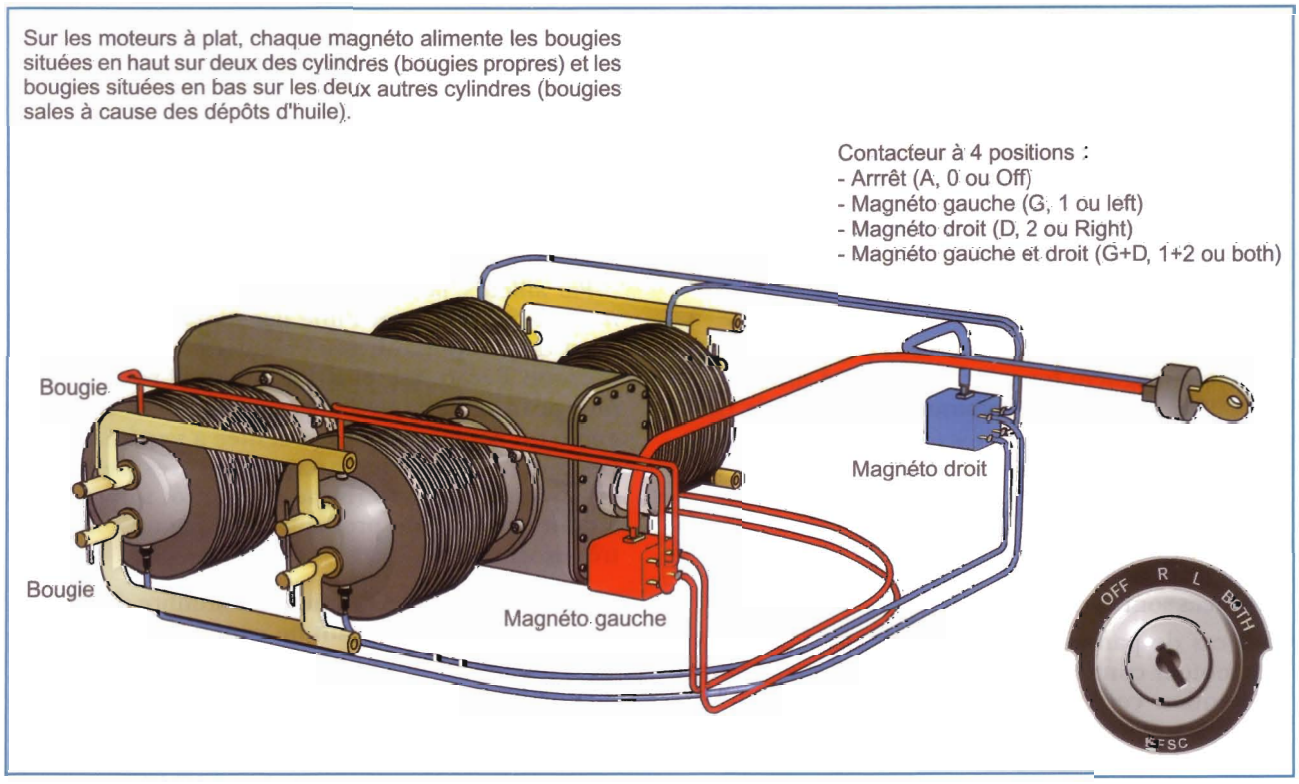


Fig. 113

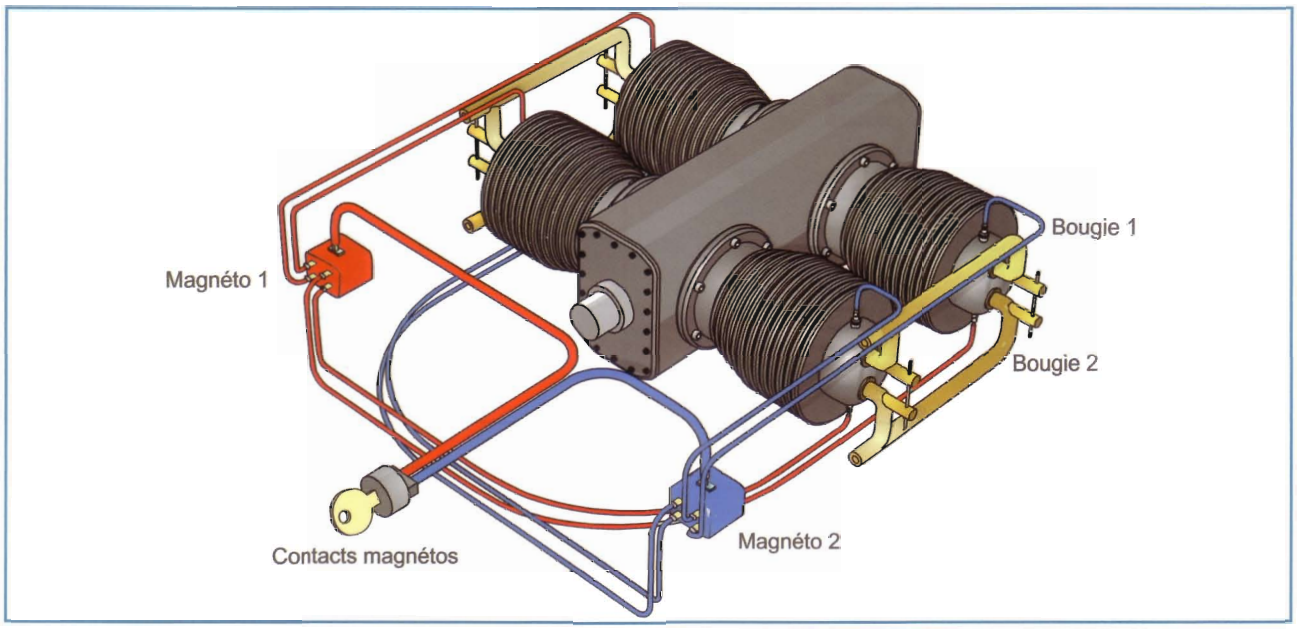


Fig. 114 – *Le circuit d'allumage est doublé.*

le moteur risque de partir… C'est pourquoi on a installé ce fil de coupure qui empêche les magnétos de fournir du courant, même si elles tournent.

Le contact qui lui est relié devra donc sur la position « Arrêt » (cf. fig.113) lorsque l'on quitte l'avion, en retirant la clé pour éviter un démarrage inopiné du moteur en cas de manipulation de l'hélice.

Au sol, on fait des essais de coupure en vérifiant que le moteur s'arrête bien si l'on actionne la clé de contact, pour vérifier que le fil de commande remplit bien son rôle de coupure.

Le circuit d'allumage est **doublé** (fig. 114) : il est constitué de **deux magnétos** qui alimentent chacune un circuit d'allumage. Par conséquent, on trouve aussi **deux bougies par cylindre**.

Les contacts magnétos qui se trouvent dans le cockpit, et que le pilote actionne pour la mise en route, comportent donc quatre positions, qui peuvent être représentées de plusieurs manières.

Quand le commutateur est sur la position G ou D, une seule magnéto fournit du courant à un seul jeu de bougies. Lorsque le commutateur est sur la position G + D, les deux magnétos fournissent du courant aux deux jeux de bougies.

Ce circuit double a plusieurs avantages :

- la combustion est améliorée car l'allumage se produit en deux endroits de la chambre, et les performances sont meilleures ;
- en cas de panne de l'un des circuits d'allumage, le moteur continue de fonctionner grâce à l'autre. Attention cependant, la combustion sur un seul circuit se fait moins bien : un dépôt de suie peut apparaître sur la bougie et le moteur peut s'arrêter. Il convient donc de se poser dès que possible en cas de panne d'un des circuits d'allumage.

Vérification du circuit d'allumage

Il est nécessaire, lors de la mise en œuvre de l'avion, de s'assurer du bon fonctionnement du circuit d'allumage. Pour cela, il faut effectuer le contrôle des magnétos une à une, ainsi que du circuit qui lui est associé. Cette opération s'appelle la « **sélection magnétos** ». Elle consiste à placer le commutateur sur G puis sur D et à vérifier qu'à chaque fois le régime moteur est correct.

Elle s'effectue au régime moteur prescrit dans le manuel de vol. Le régime chute lors de la sélection, car seule une bougie par cylindre produit des étincelles. Cette diminution du nombre de tours par minute ne doit pas être supérieure à celle indiquée dans le manuel de vol. Si c'était le cas, cela signifierait qu'il y a perte d'allumage, à cause d'une bougie défectueuse par exemple.

Par ailleurs, la chute de tours sur chaque magnéto ne doit pas présenter l'une par rapport à l'autre un écart trop important, généralement 50 à 75 tr/min. Lorsque l'écart est plus important, l'hypothèse la plus probable est que l'engrenage interne de la magnéto est usé et que la roue dentée a sauté une dent. Les autres dents sont certainement très usées aussi et la panne magnéto risque de bientôt survenir. Il y a donc une grande probabilité de panne complète, très prochaine.

Quant à l'absence de chute du nombre de tours, il s'agit souvent d'un défaut de coupure de la magnéto : celle qui devrait ne plus être alimentée fonctionne toujours.

Tout fonctionnement défectueux entraîne systématiquement **l'annulation du vol** *tant que la cause n'a pas été décelée et la réparation effectuée.*

Carburation

C'est la fonction qui permet la réalisation du mélange carburé avant son admission aux cylindres. Une fois enflammé par le système d'allumage, ce mélange produit une combustion se déroulant avec une certaine vitesse. Différents facteurs interviennent sur la vitesse de combustion tels que : pression, température, rapport carburant-air, nature du carburant et qualité de l'allumage.

Lorsque la vitesse de combustion est trop rapide, cela provoque une variation brutale de la pression. Ce phénomène est nommé : **détonation**. Lors de l'apparition de ce dernier, le piston est soumis à un effort important qui (par rupture du film d'huile entre son axe et ses portées) génère un bruit caractéristique nommé : **cliquetis**. Il est évident que tout fonctionnement prolongé peut entraîner la rupture du piston ce qui génère des dégâts importants sur le moteur.

Afin d'éviter ce phénomène, le mélange est correctement réalisé par différents dispositifs dont les deux principaux sont :

- le carburateur ;
- le système à injection.

Le carburateur

Ce dispositif équipe la majorité des moteurs d'une puissance < à 200 HP. Il se situe entre le filtre à air et le collecteur d'admission et alimente tous les tubes d'admission des cylindres.

Il assure l'élaboration du mélange air-essence avant son entrée dans les cylindres. Il est constitué d'une cuve munie d'un flotteur. Cette cuve se remplit de carburant tant que le flotteur n'est pas arrivé à un niveau de référence. L'arrivée d'essence est coupée par le pointeau du flotteur quand le niveau est atteint.

Ce réservoir alimente en carburant un gicleur qui pulvérise des gouttelettes d'essence dans l'air d'admission. La richesse du mélange est réglée à l'aide d'une commande qui agit sur l'alimentation du gicleur en carburant : c'est la commande de mélange (fig. 115).

La section du conduit d'admission est rétrécie au niveau du gicleur (fig. 115), ce qui a pour effet d'accélérer l'air et de créer une dépression à cette endroit : c'est l'effet Venturi. C'est cette dépression qui aspire l'essence hors du carburateur.

La commande qui permet de faire varier la pression du mélange air-essence entrant dans les cylindre est la « manette des gaz ». Cette manette est relié à un « papillon » (fig. 115) qui agit comme un clapet.

Ce clapet crée une perte de pression (c'est-à-dire une dépression). Le moteur est un véritable aspirateur, très puissant. L'air cherche à s'engouffrer au travers de la soupape d'admission.

Si le papillon est complètement ouvert, la pression au niveau de la soupape est à peu près celle de l'air ambiant. Si par contre le papillon obture partiellement le conduit d'arrivée d'air, il se crée une dépression.

Cette perte de pression induit une diminution de puissance du moteur. Ainsi, la manette des gaz, plus précisément appelée « manette de puissance », règle la puissance délivrée par le moteur.

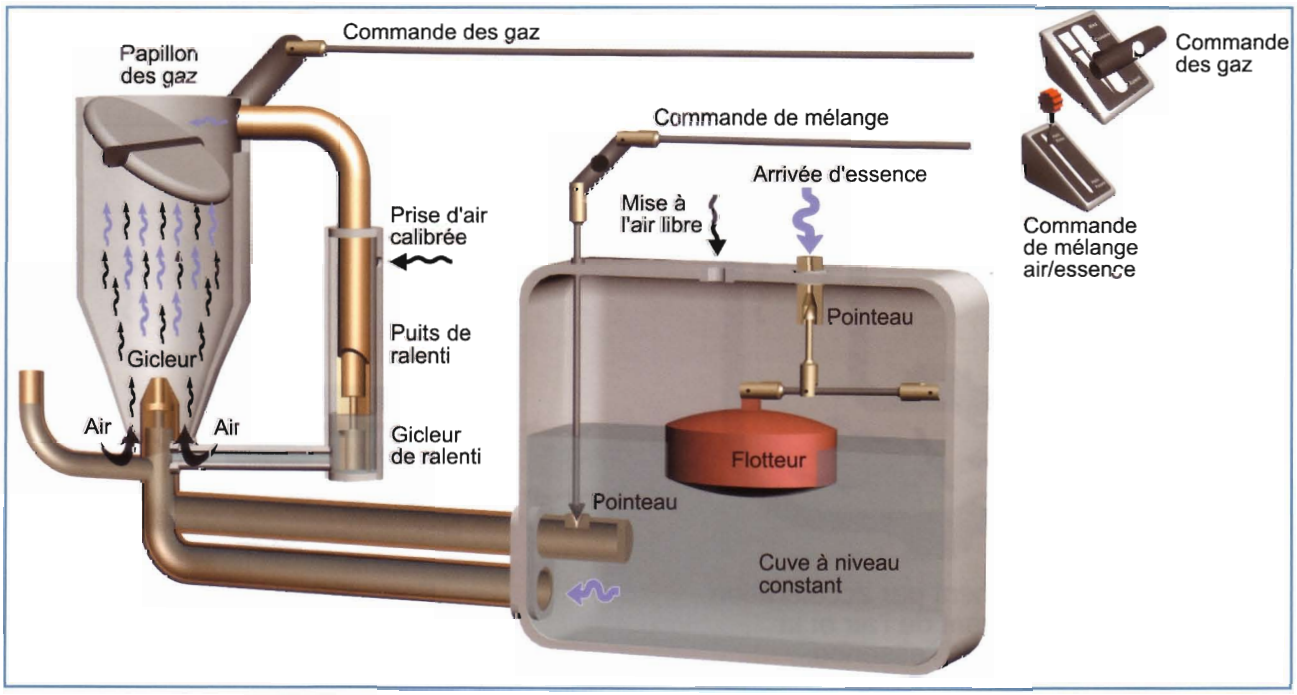


Fig. 115

La figure 115 montre une schéma simplifié du carburateur ; en réalité, cet équipement est bien plus complexe. Il comprend notamment :

- un système de réglage de mélange appelé « correcteur altimétrique » pour appauvrir le mélange qui tend à s'enrichir en prenant de l'altitude ; cette correction peut être soit commandée par le pilote à l'aide de la commande de mélange encore appelée commande de mixture ou de richesse, soit assurée automatiquement par déformation d'une capsule anéroïde soumise à la pression atmosphérique ;
- un système de ralenti comprenant une vis de richesse réglant la qualité du mélange (dosage) et une vis de ralenti réglant la quantité de mélange ; le gicleur de ralenti débouche au dessus du papillon avec une prise d'air avant le papillon, la différence de pression permet ainsi une vaporisation à la sortie du gicleur de ralenti ;
- un système de pompe de reprise (encore appelée « pompe d'accélération ») : sorte de seringue qui envoie une quantité d'essence supplémentaire sous pression au moment de l'augmentation de régime ;
- un dispositif d'arrêt appelé « étouffoir » permettant d'arrêter le moteur à chaud en coupant l'arrivée d'essence en appauvrissant au maximum à l'aide la commande de richesse.

Le givrage du carburateur

Il s'agit d'un phénomène dangereux pour l'aviation légère : le processus du givrage à l'intérieur d'un carburateur peut obstruer complètement le conduit d'admission du mélange air-essence, et provoquer l'arrêt du moteur. Il faut savoir qu'un grand nombre d'accidents se produisent à cause du givrage du carburateur.

Comment se produit-il ?

L'apparition de glace est due à l'action combinée :

- de la détente (dépression) de l'air au niveau du papillon des gaz, qui provoque la condensation et le refroidissement de la vapeur d'eau qu'il contient ;
- de la vaporisation de l'essence qui crée un effet réfrigérant, comme l'éther si vous en mettez une goutte sur votre main. La sensation de froid sur la main est due à la vaporisation de l'éther. De même, la vaporisation de l'essence refroidit l'air ambiant.

Ces deux effets combinés (fig. 116) peuvent refroidir de 20 °C l'air qui pénètre dans le moteur (valeur donnée à titre indicatif).

Le risque d'apparition du givrage est plus important lorsque la manette des gaz est sur « réduit » (papillon fermé) : car le laminage de l'air par le papillon, et donc la dépression, est plus important. Le refroidissement dû à la dépression dans le conduit est ainsi d'autant plus fort.

Les conditions propices à l'apparition de glace dans le carburateur sont :

- une température dans le conduit d'air du carburateur comprise entre 0 °C et – 15 °C, la température la plus favorable à la formation de glace étant de – 5 °C. Il peut donc y avoir apparition du givrage carburateur par des températures extérieures comprises entre + 5 °C et + 20 °C !
- une atmosphère humide. Attention : l'humidité peut être élevée même en ciel clair. Notons que les basses couches de l'atmosphère contiennent une plus grande quantité d'eau par litre d'air que les couches élevées, c'est donc là que le risque de givrage carburateur est le plus important.

Par contre, avec des températures de l'air très froides rencontrées notamment en altitude et l'effet dû à

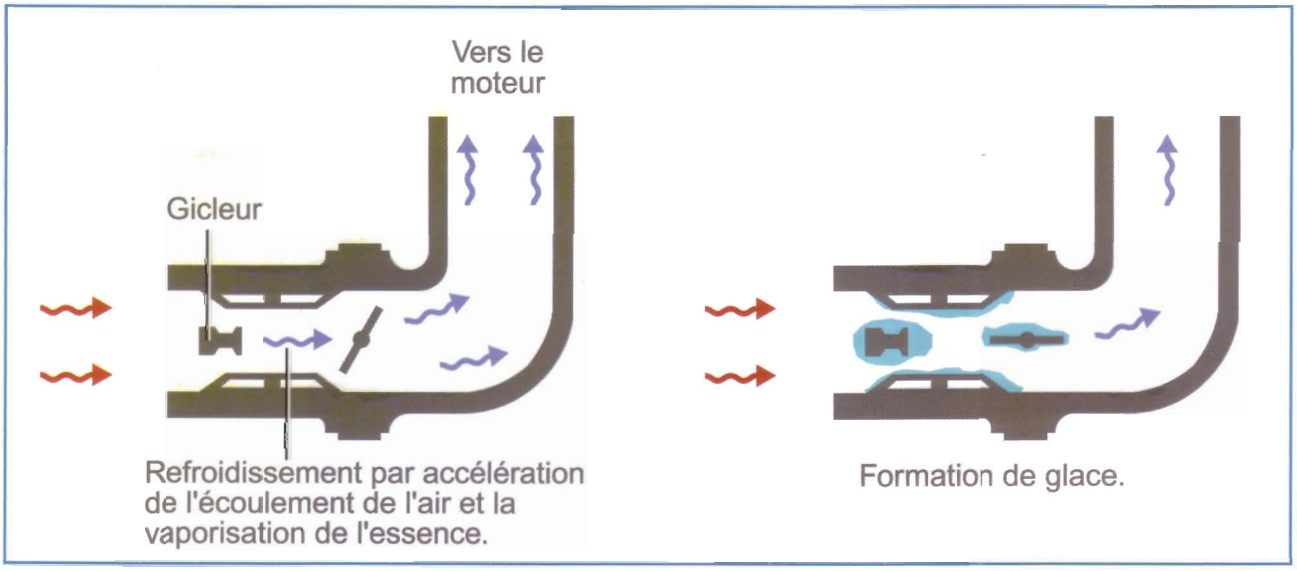


Fig. 116 – *Le givrage du carburateur est dû à la combinaison de la détente de l'air et de la vaporisation de l'essence.*

la détente, la température atteinte exclut le risque de givrage au carburateur. (voir les moyens dont on dispose pour éviter le givrage carburateur en croisière en page 122).

Les signes avant-coureurs du givrage du carburateur sont différents suivant le type d'hélice utilisée (à calage fixe ou variable).

Dans le cas d'une **hélice à calage fixe**, une légère baisse du régime moteur et de la vitesse indiquée sont les premiers signes du givrage. Si rien n'est fait, le moteur a des ratés et peut alors rapidement s'arrêter. Lorsque vous vous trouverez en conditions de givrage du carburateur, **vous devrez surveiller le tachymètre** (compte-tours) **et l'anémomètre** (indicateur de vitesse de l'avion, ou « badin »).

Si vous constatez une légère chute du régime moteur, avant de corriger à la manette des gaz, posez-vous la question du givrage et dans le doute, commencer par essayer de réchauffer le carburateur.

Dans le cas d'une **hélice à calage variable**, c'est la pression d'admission qui chute d'abord (à cause de la diminution de la section du conduit d'air dans le carburateur). Le régulateur d'hélice maintient une vitesse de rotation constante ce qui ne permet pas de constater immédiatement la chute de puissance.

La puissance diminuant (la puissance est liée à la pression d'admission), la vitesse indiquée va diminuer aussi, et le moteur peut, comme dans le cas précédent, s'arrêter. Vous devrez donc surveiller en premier lieu **l'indicateur de pression d'admission**, dont sont équipés les avions à hélice à calage variable, et dans un deuxième temps **l'anémomètre**.

En résumé, pour une position donnée de la commande des gaz :

Hélice à calage fixe,
le nombre de tours/minute du moteur diminue :
RISQUE DE GIVRAGE

Hélice à calage variable,
la pression d'admission diminue :
RISQUE DE GIVRAGE

De quels moyens dispose-t-on pour éviter le givrage du carburateur ?

Sachez que tous les avions équipés d'un moteur à carburateurs sont munis d'un dispositif de réchauffage du carburateur, dont le principe de fonctionnement est le suivant : l'air extérieur est préalablement réchauffé par circulation autour de l'échappement, pour arriver au carburateur avec une température de l'ordre de 50 °C à 70 °C (fig. 117).

Ce dispositif n'est pas utilisable en permanence, pour différentes raisons :

Il détériore le moteur car il peut générer des détonations (le mélange air-essence explose dans la chambre au lieu de brûler normalement) lors de l'utilisation à forte puissance dans certaines conditions, à cause de l'augmentation de la température de l'air d'admission.

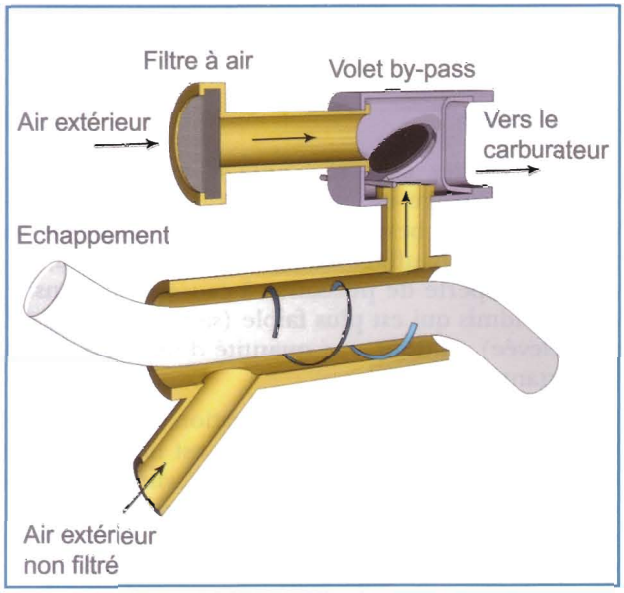


Fig. 117 – *Système de réchauffage de l'air avant le carburateur.*

L'air, plus chaud, est moins dense. Il contient donc moins d'oxygène, qui est nécessaire à la combustion. Cela entraîne deux conséquences : une diminution de puissance (moins d'oxygène, moins de combustion, moins de puissance) et une augmentation de la richesse (moins d'oxygène mais autant de carburant, donc mélange plus riche).

Enfin, l'air n'est pas filtré. Il contient donc des particules qui abrasent les parties intérieures des cylindres et abîment le moteur.

En conséquence, vous commanderez le réchauffage du carburateur en fonction des indications du manuel de vol et des conditions du moment.

Comment utiliser le système de réchauffage du carburateur ?

Le réchauffage du carburateur est un système d'antigivrage, c'est-à-dire qu'il doit être utilisé PRÉVENTIVEMENT. Ce n'est pas un système de dégivrage, et son efficacité est très limitée lorsqu'il s'agit d'enlever la glace déjà déposée dans le carburateur si le conduit est presque totalement obstrué. En effet, si déjà le moteur ne fournit plus beaucoup de puissance, l'échappement n'est plus assez chaud pour réchauffer efficacement l'air envoyé au carburateur. Vous devrez donc adopter une conduite préventive quant au givrage du carburateur.

L'utilisation du réchauffage carburateur se fait de la manière suivante :

Au sol

Vous devez l'utiliser **le moins possible**, car l'entrée d'air du circuit de réchauffage n'est pas filtrée, et votre moteur risque d'ingérer du sable, des poussières ou autres particules abrasives. Vous ne l'utiliserez qu'en cas de conditions propices au givrage. Vous vérifierez dans tous les cas son bon fonctionnement lors des essais moteur, en constatant au moment de

son utilisation une chute du nombre de tours/minute, ou de la pression d'admission suivant le cas.

Au décollage

Vous décollerez **sans** réchauffage carburateur. En effet, le décollage est une phase du vol pendant laquelle vous avez besoin de la puissance maximale du moteur. Le réchauffage du carburateur, on l'a vu, entraîne une perte de puissance à cause de la densité de l'air admis qui est plus faible (sa température est plus élevée), et donc une quantité d'oxygène moins importante.

En outre, la vitesse de propagation de la flamme peut devenir très importante : elle est normalement comprise entre 4 et 14 km/h environ, vitesse pour laquelle le moteur est conçu. Mais elle peut passer, lorsque la température et la pression du mélange sont élevées, à environ 7 000 km/h ! C'est l'explosion, on dit aussi détonation (la différence entre la combustion et l'explosion ne tient qu'à la vitesse de propagation de la flamme). Ces conditions de température et de pression élevées sont réunies lorsque le réchauffage du carburateur est actionné et lorsque la pression d'admission est élevée. C'est le cas lors du décollage.

Les conséquences de la détonation sont un échauffement anormal de la culasse, des efforts extrêmement importants sur les bielles et le vilebrequin, mais surtout paradoxalement une **importante diminution de la puissance** (due au fait qu'à cause de sa vitesse de propagation, l'explosion survient bien trop tôt dans le cycle, lorsque le piston remonte : elle s'oppose donc au mouvement du piston, plutôt que d'y contribuer). Le moteur donne moins de puissance au moment où on en a le plus besoin.

En croisière

Si votre avion n'est pas équipé de thermomètre de température de l'air dans le conduit du carburateur, **le réchauffage doit être utilisé en « tout ou rien »**, en fonction des conditions de givrage que vous suspectez. En effet, supposons que l'air dans le conduit se trouve à – 20 °C (par exemple si vous volez à une altitude élevée). Si vous le réchauffez de 15 °C en actionnant le réchauffage du carburateur, vous vous retrouvez dans les conditions les plus favorables au givrage du carburateur (– 5 °C), et vous déclenchez ce que vous souhaitiez éviter.

Le thermomètre de température de l'air du conduit du carburateur vous permet de vérifier que l'air ne se trouve pas dans la plage de givrage. Si votre avion en est équipé, il vous suffit de contrôler la température de l'air et actionner le réchauffage du carburateur en fonction.

En descente et en approche

Si les conditions de givrage existent, le réchauffage du carburateur doit être actionné à fond 30 secondes à 1 minute **avant** la réduction des gaz. On ne l'utilisera **pas non plus de manière partielle**, pour les mêmes raisons que ci-dessus.

Ne perdez pas de vue qu'au moment de la réduction des gaz pour la descente, le fait de fermer le papillon des gaz entraîne un fort refroidissement de

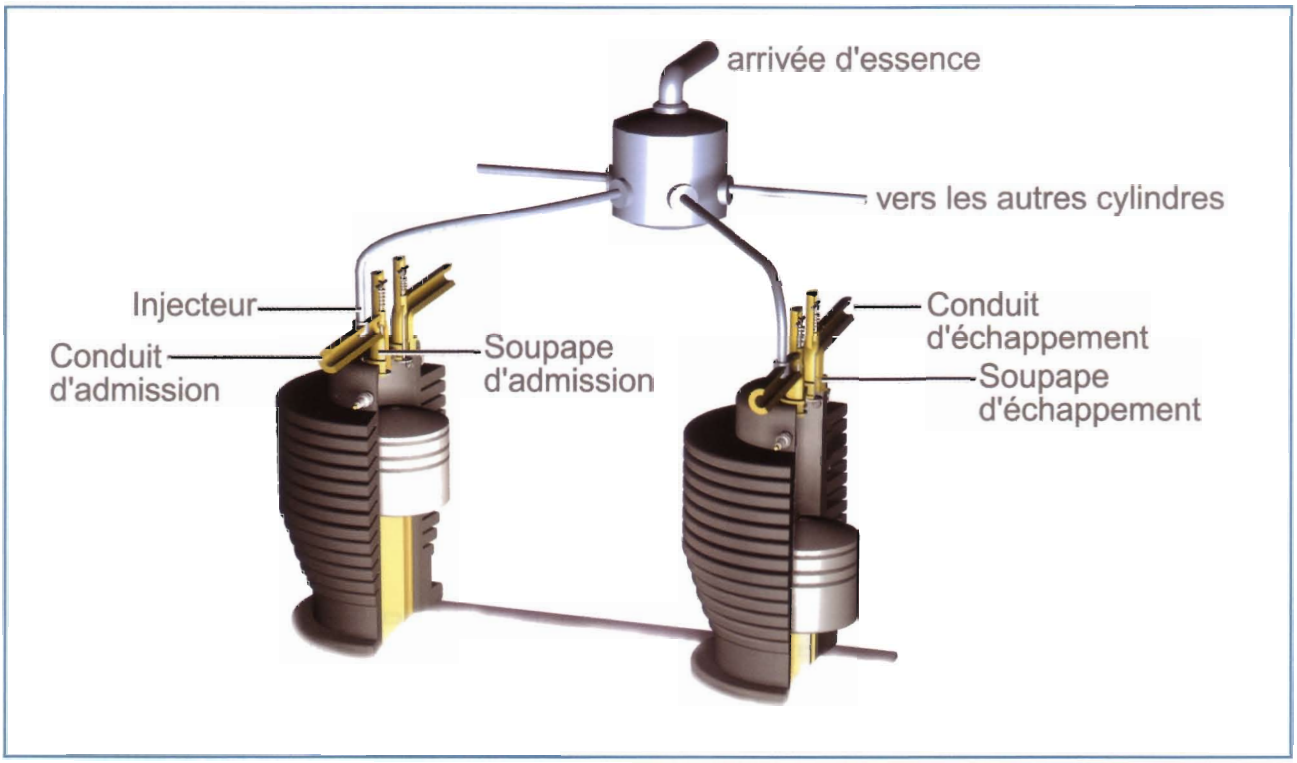


Fig. 118 – *Principe de l'injection.*

l'air dans le conduit du carburateur. C'est pourquoi il faut actionner préventivement le réchauffage un peu avant la réduction des gaz si les conditions de givrage sont présentes car ensuite, les gaz d'échappement ne seront plus assez chaud. Le manuel de vol précise la conduite à tenir.

L'injection

Ce procédé utilise des injecteurs de carburant placés sur le cylindre et qui délivrent du carburant en très fines gouttelettes (brumisation) dans le canal d'admission en amont de la soupape. Le carburant arrive d'abord à un répartiteur, appelé « araignée », qui en assure la répartition vers les injecteurs (fig. 118).

L'injection présente l'avantage de fonctionner lorsque l'avion est sur le dos (pour les avions de voltige), alors que les moteurs à carburateur ne fonctionnent pas dans cette position. Elle est en outre moins sensible au givrage.

Attention cependant : il ne faut pas croire qu'un moteur à injection ne peut pas givrer. Il est équipé comme les moteurs à carburateurs d'un papillon des gaz. Le rétrécissement du conduit d'admission par ce clapet peut créer, comme pour les moteurs à carburateurs, un dépôt de glace qui peut obstruer complètement l'admission, et conduire à l'arrêt du moteur. La seule différence avec les moteurs à carburateur réside dans le fait que la vaporisation de l'essence n'abaisse pas la température au niveau du papillon, seule la dépression générée par le papillon refroidit l'air. Moins refroidi, l'air risque moins de se trouver dans la plage de températures où la glace peut se former (entre – 15 °C et 0 °C).

D'où la présence d'un alternate air qui prend de l'air non filtré, à l'intérieur des capots moteur (plus chaud).

Outre **le risque de givrage plus faible** quoique non nul, le moteur à injection présente l'avantage d'avoir **une consommation horaire moins grande**, à puissance égale, que celle des moteurs à carburateur.

L'indice d'octane des carburants Pouvoir antidétonant

Nous avons vu les causes et les conséquences des explosions, ou détonations, qui peuvent avoir lieu dans les cylindres si la pression et la température du mélange air-essence qui entre dans les chambres sont trop grandes.

Très nuisible pour le moteur, la détonation résulte de la décomposition de l'essence de l'état de carburant à l'état d'explosif, à cause des conditions de pression et de température trop élevées.

Les chercheurs ont trouvé des additifs qui permettent de diminuer le caractère détonant des essences. Ces additifs sont en général métalliques : le plomb était très utilisé dans l'essence automobile mais son caractère polluant a poussé les pétroliers à trouver d'autres additifs (l'essence sans plomb).

Pour connaître le pouvoir antidétonant d'une essence, c'est-à-dire sa capacité à ne pas se transformer en explosif à haute pression et haute température, on la compare à un carburant étalon, composé seulement de deux hydrocarbures simples : l'heptane et l'iso-octane.

On mesure le dosage d'iso-octane qui se trouve dans le carburant étalon. La valeur du dosage trouvé est utilisée pour quantifier le pouvoir antidétonant d'une essence : c'est l'indice d'octane.

La richesse du mélange air-essence agit sur le pouvoir antidétonant d'un carburant : plus elle est élevée, moins le carburant est détonant. L'indice d'octane comporte deux nombres, ou un nombre et deux lettres, qui indiquent le pouvoir antidétonant du carburant.

Notons qu'un type de moteur n'accepte qu'une essence d'un indice d'octane déterminé. Il faut donc veiller à ne pas mettre n'importe quel type d'essence dans les réservoirs.

L'essence aviation est colorée de manière à pouvoir contrôler son indice d'octane :

indice 80/87	*couleur rose*
indice 100 LL	*couleur bleue*
indice 100/130	*couleur verte*

Refroidissement et lubrification

Le refroidissement du moteur

La combustion du carburant dans les cylindres produit une chaleur intense. Pour éviter un échauffement excessif du moteur, il est nécessaire de prévoir un système de refroidissement.

Les moteurs d'avions sont pour la grande majorité refroidis par air, pour deux raisons :

- la présence d'un circuit de refroidissement par eau augmenterait le poids du groupe motopropulseur (tuyaux, radiateur, pompe, réservoir d'eau…) ;
- les durites (tuyaux) et le réservoir d'eau qui composent le circuit de refroidissement par eau peuvent fuir, et la pompe peut casser. Se passer de ce circuit revient à éviter toutes ces pannes.

Pour refroidir le moteur avec de l'air, des ailettes sont présentes sur les parois des cylindres. L'air canalisé par des déflecteurs et l'ensemble du capotage permet l'évacuation de la chaleur.

A ce titre, il est important de noter que le cône d'hélice a un rôle de déflecteur d'air. Il guide l'air vers l'intérieur du capotage moteur. La perte en vol du cône d'hélice entraîne un mauvais refroidissement du moteur, dont il faut absolument tenir compte en surveillant de manière assidue la température des cylindres (fig. 119) et en interrompant le vol dès que possible. Vérifiez toujours pendant la visite prévol que le cône d'hélice est bien en place et correctement fixé.

Fig. 119 – *Le thermomètre de « température cylindre » permet de surveiller que le refroidissement du moteur se fait de manière satisfaisante.*

Le refroidissement par air nécessite quelques précautions d'utilisation du moteur :

- au roulage, où la ventilation due à la vitesse n'est pas assurée ;
- lors des montées prolongées à faible vitesse, où le moteur s'échauffe. Il conviendra dans ce cas de surveiller régulièrement la température des cylindres et de reprendre la vitesse conseillée de montée dès que possible pour revenir à des températures acceptables ;
- lors des descentes moteur réduit.

Certains avions sont équipés de **volets de capot**. Ce sont des trappes qui se trouvent sous le capot moteur, et que l'on peut ouvrir ou fermer à l'aide d'une commande située dans le cockpit. Ils permettent de réduire la dimension de l'entrée d'air.

Ouverts, ils permettent une meilleure ventilation de l'intérieur du capot moteur, et donc un meilleur refroidissement. Mais ils augmentent alors la traînée.

Leur utilisation est décrite dans le manuel de vol. D'une manière générale, on les utilise de la manière suivante :

- au décollage, il faut éviter les détonations (provoquées, on l'a vu, par une température trop élevée du mélange air-essence). On favorise donc le refroidissement du moteur, et on ouvre pour cela les volets de capot ;
- en croisière, on ferme les volets de capot, le refroidissement étant largement assuré par le vent relatif sauf si la température des cylindres est anormalement élevée, ce qui nécessite alors leur ouverture pour faire chuter la température. Pour les avions non dotés de volets de capot, l'entrée d'air est dimensionnée pour assurer le refroidissement pour les basses vitesses.

La lubrification du moteur

Un moteur n'a aucune chance de tourner longtemps sans lubrifiant. En général, il s'arrête vite, et prend souvent feu.

On assure donc la lubrification du moteur par une circulation d'huile, obtenue à l'aide d'une pompe mécanique (qui est entraînée par le moteur), d'un filtre et d'un réservoir généralement situé dans le bas du bloc moteur.

Avant chaque vol, vous devrez vérifier que le niveau d'huile est correct. Si ce n'est pas le cas, vous devrez faire un complément d'huile en prenant certaines précautions, et en demandant l'aide d'un mécanicien si vous avez le moindre doute sur cette opération.

Deux catégories d'huiles sont utilisées : les huiles minérales et les huiles dispersantes.

Les huiles minérales

Elles sont obtenues par distillation fractionnée du pétrole brut. Leurs composants sont le naphte et la paraffine. Elles sont généralement utilisées pour le rodage du moteur jusqu'à la stabilisation de sa consommation d'huile. Elles se caractérisent par leur neutralité chimique et leur point éclair élevé.

Les huiles dispersantes

Ce sont des huiles élaborées à partir d'huiles minérales, auxquelles on ajoute des additifs pour améliorer leurs caractéristiques. Elles sont dites dispersantes car leurs résidus de combustion ne sont que de fines particules qui n'adhèrent pas aux pièces métalliques du moteur et demeurent « dispersées » dans l'huile, tant qu'elles ne sont pas retenues par le filtre à huile.

Elles sont particulièrement recommandées pour les moteurs soumis à de gros écarts de température du milieu ambiant. Elles gardent une viscosité faible aux basses températures.

Les additifs augmentent considérablement la plage des températures de fonctionnement, facilitent le démarrage à froid, améliorent la lubrification à froid et ont des propriétés antifriction (c'est pourquoi les huiles dispersantes ne sont pas utilisées pendant le rodage).

Il est possible de mélanger des huiles de fabricants différents, pourvu qu'elles soient du même type (minérales ou dispersantes).

Le grade

Le grade d'une huile est l'indice qui caractérise sa viscosité. Son choix dépend de la saison : il est d'autant plus élevé que la température saisonnière augmente.

Le manuel de vol indique quel type d'huile vous devez utiliser pour votre avion. En aucun cas l'huile automobile ne doit être employée car elle est détergente et n'est pas compatible avec l'utilisation d'huiles d'autres types.

Les huiles multigrades

De plus en plus employées en aviation légère, les huiles multigrades présentent l'intérêt de conserver leur haut indice de viscosité dans un intervalle de température étendu. Elles sont ainsi utilisables en toute saison, par temps froid ou chaud, d'où leur nom.

Les anomalies de fonctionnement du circuit de lubrification

Vous disposez sur le tableau de bord d'un manomètre de pression d'huile qui mesure la pression dans le circuit en aval de la pompe à huile. Vous disposez aussi d'un thermomètre de température d'huile.

Ces deux instruments permettent de détecter d'éventuelles anomalies dans la lubrification du moteur (fig. 120) :

- Une augmentation excessive de la température d'huile indique que le moteur est en train de « chauffer ».

  Cette anomalie doit être confirmée par l'augmentation anormale de la température des cylindres. Si le problème persiste, il faut dans la mesure du possible réduire la puissance, ouvrir les volets de capot si votre avion en est équipé et interrompre le vol dans les plus brefs délais, car le moteur risque de s'arrêter, par « serrage », ou de prendre feu.

  Si la température reprend une valeur normale par exemple en fin de montée, au passage à la puissance de croisière, ou au moment de la mise en descente à la réduction des gaz, poursuivez votre vol jusqu'à un terrain proche où vous pensez qu'un mécanicien pourra examiner votre moteur.

- Une chute de la pression d'huile peut indiquer que la pompe ne débite plus. Il se peut aussi que ce soit le manomètre qui est en panne, ou le raccord qui le relie au capteur de pression qui est cassé.

  Pour confirmer qu'il s'agit bien d'un problème de lubrification, on contrôle la température d'huile : si elle reste normale, c'est certainement un problème d'affichage de la pression d'huile (panne de manomètre, rupture du raccord, panne du capteur de pression).

  Si par contre elle augmente de manière anormale, la panne du circuit d'huile est confirmée, et il faut se poser d'urgence.

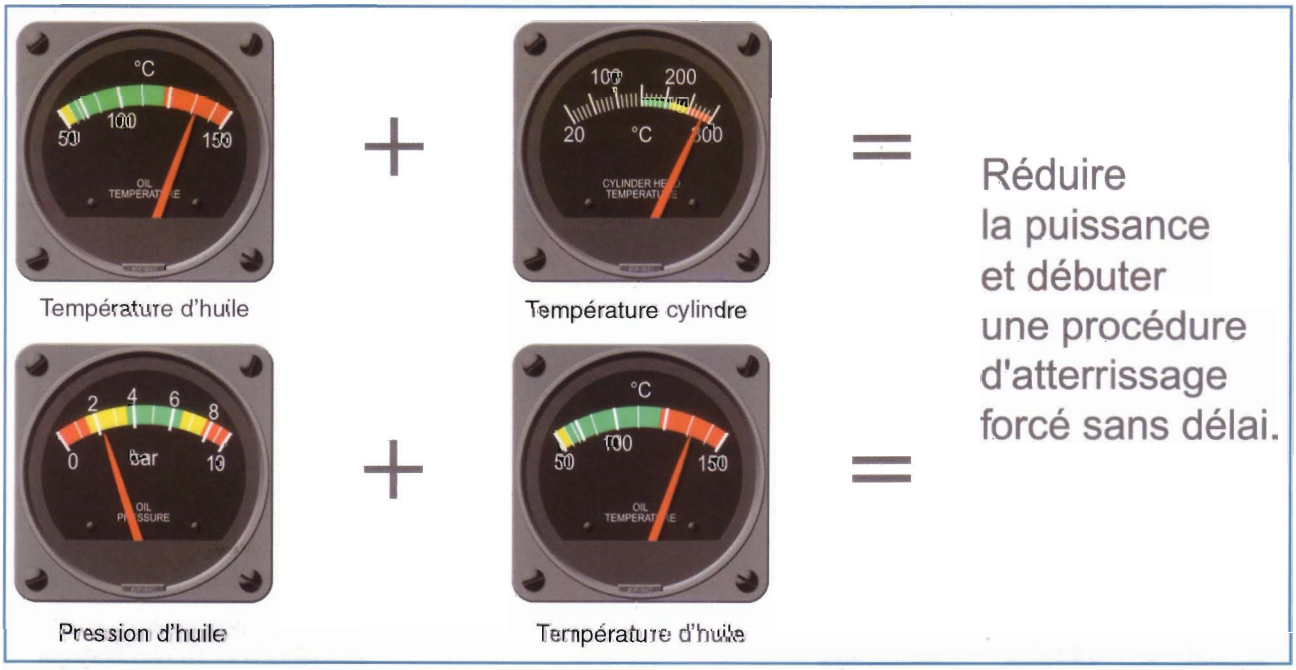


Fig. 120 – *Le thermomètre de température d'huile et le manomètre de pression d'huile permettent le contrôle du fonctionnement du circuit de lubrification.*

LA CONDUITE DU MOTEUR

La conduite du moteur se fait à l'aide de deux moyens : une **commande** que l'on actionne, et un **paramètre de conduite** qui permet de vérifier que l'action a produit un effet. Le mécanisme de conduite se fait donc toujours de la même manière :

- vérification du paramètre de conduite ;
- action à l'aide de la commande ;
- contrôle du paramètre de conduite à l'aide de l'instrument.

Ce processus est d'ailleurs général à la conduite de tout système (le pilotage de l'avion, par exemple).

La conduite du moteur n'est pas la même si l'hélice est à calage fixe ou variable. Nous allons donc envisager séparément la conduite des deux systèmes. La conduite de la commande de mélange (ou richesse), qui est identique pour les deux types d'hélice, sera vu de manière commune après ces deux premiers paragraphes.

HÉLICE À CALAGE FIXE

On dispose d'une **commande de puissance**, qui actionne l'ouverture du papillon des gaz.

En augmentant la puissance à l'aide de cette commande, on induit une augmentation du couple de l'arbre de sortie du moteur. Comme le calage des pales est fixe, la vitesse de rotation de l'hélice augmente : la commande de puissance agit sur la vitesse de rotation du moteur. Ainsi, on peut contrôler la puissance grâce au **régime moteur** (fig. 121).

Le régime ne doit pas dépasser une vitesse de rotation limite, appelée « régime maximal », figuré sur le tachymètre (ou compte-tours) par un trait rouge (fig. 121). Si ce régime est dépassé, le surrégime peut engendrer une détérioration du moteur, voire une rupture de l'hélice.

En général, le risque de surrégime survient en l'absence de réduction à la mise en croisière, ou lorsqu'on est en descente et que la commande de puissance est laissée sur « plein gaz ». On veillera donc à contrôler le régime du moteur particulièrement dans cette phase de vol.

Si un surrégime a eu lieu pendant le vol, il conviendra d'avertir le mécanicien qui vérifiera qu'aucun élément du moteur ne soit endommagé.

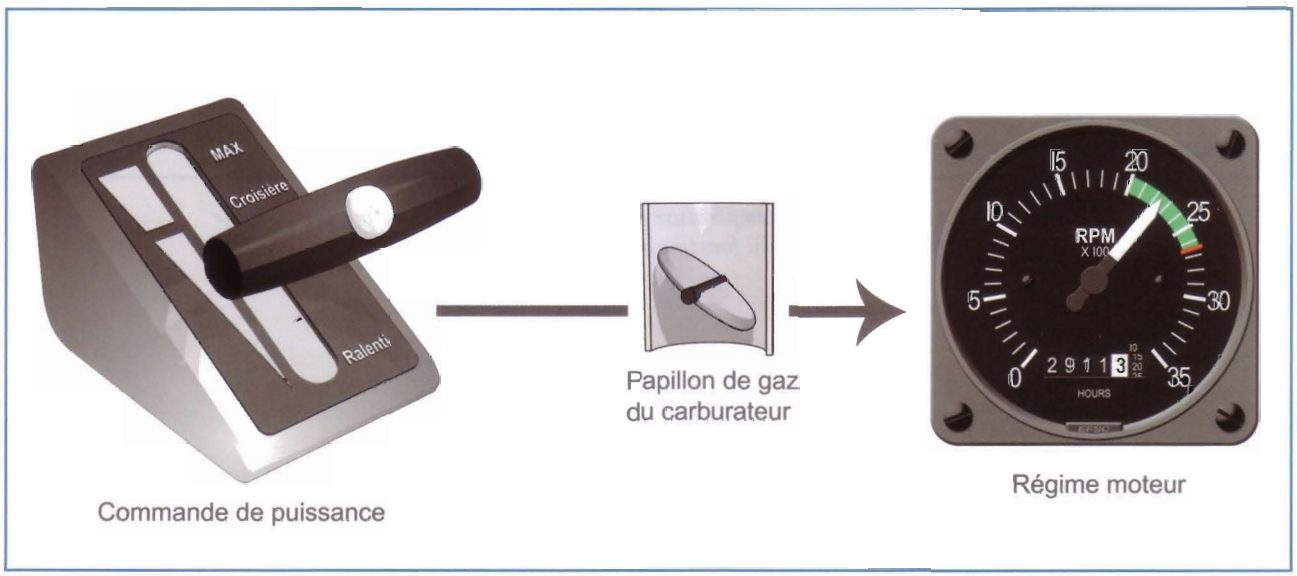


Fig. 121 – *Dans le cas de l'hélice à calage fixe, la commande de puissance agit sur le régime moteur.*

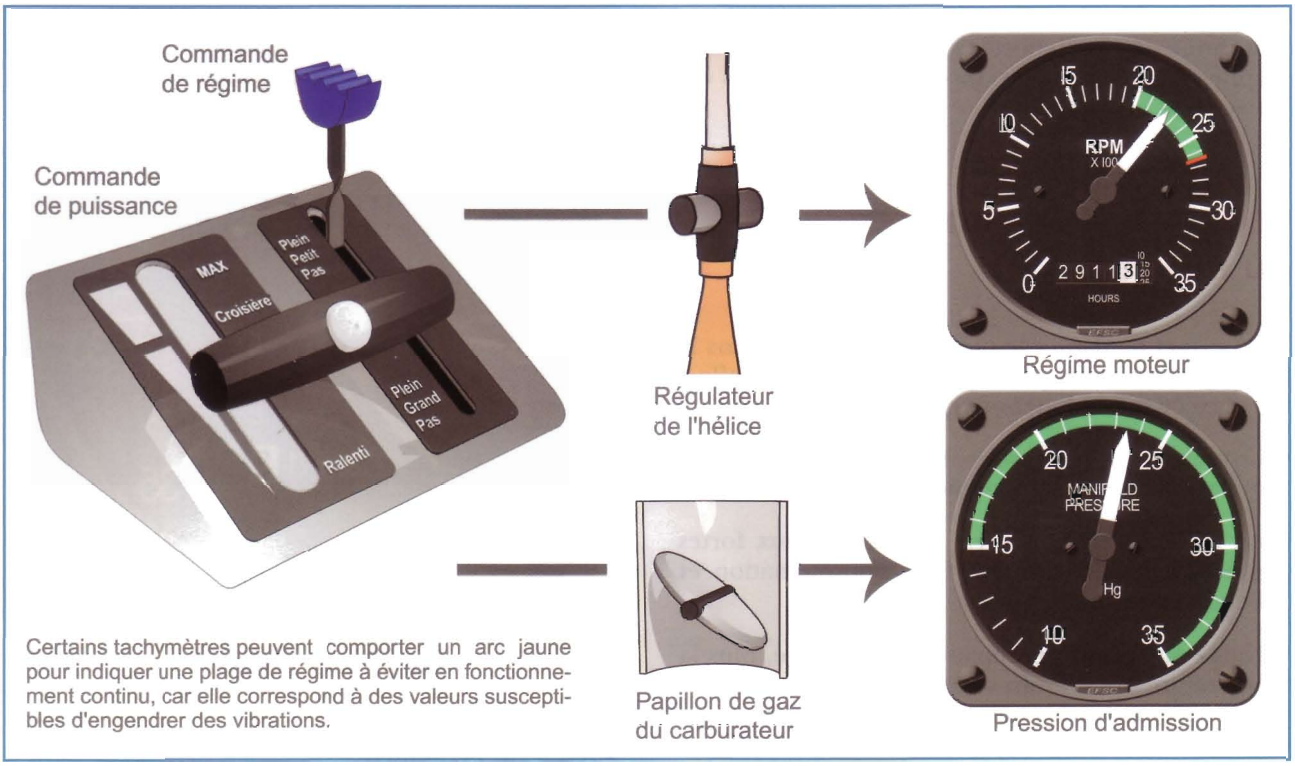


Fig. 122 – *Dans le cas de l'hélice à calage variable, la commande de puissance agit sur la pression d'admission.*

HÉLICE À CALAGE VARIABLE

Avec ce système, encore appelé « hélice à vitesse constante »nous disposons de deux commandes :

- la commande de puissance, qui actionne le papillon des gaz ;
- la commande de régime, qui règle indirectement le calage de l'hélice. Cette commande n'est pas directement reliée aux pales : entre les deux se trouve le régulateur de régime qui, on l'a vu, maintient la vitesse de rotation de l'hélice, et donc du moteur, à un régime constant choisi par le pilote.

La commande de puissance

Chaque commande agit sur un paramètre de conduite, qui en permet le contrôle. La **commande de puissance** agit sur la pression d'admission par l'intermédiaire du papillon des gaz (fig. 122) : on dispose pour la contrôler d'un manomètre de **pression d'admission** (que l'on ne trouve pas sur les moteurs munis d'hélice à calage fixe, car le tachymètre suffit au contrôle de la puissance).

La commande de régime

Elle agit (indirectement) sur le calage de l'hélice, c'est-à-dire sur l'incidence des pales. Lorsque l'incidence augmente, le couple résistant augmente aussi : comme pour l'aile, une augmentation d'incidence induit une augmentation de la traînée des pales. Le couple résistant augmente alors que le couple moteur reste constant : la vitesse de rotation des pales diminue. Autrement dit, **la commande de régime** agit sur la **vitesse de rotation** de l'hélice, donc du **moteur**.

Mais à calage constant, la vitesse de rotation de l'hélice dépend aussi de la vitesse de déplacement de l'avion : si l'avion accélère, la vitesse de rotation de l'hélice augmente. Le régime moteur ne pourrait pas être piloté par le calage, car un autre paramètre (la vitesse de l'avion) intervient. Il a donc fallu installer un régulateur de régime, qui compense automatiquement les variations de vitesse de l'avion par des variations de calage de l'hélice, et qui maintient ainsi le régime de l'hélice constant.

Grâce à ce régulateur, la commande de régime agit efficacement sur le régime de l'hélice, ce qui revient à agir sur le régime du moteur, quelles que soient les variations de vitesse de l'avion. On peut donc contrôler la commande de régime grâce à un tachymètre (compte-tours) qui indique le régime du moteur (fig. 122).

Pour augmenter la puissance, il faudra toujours augmenter le régime avant d'augmenter la pression d'admission, pour éviter un surcouple du moteur.

A l'inverse, si l'on souhaite diminuer la puissance, on agira d'abord sur la commande des gaz, et ensuite sur la commande de régime.

En effet, si on réduit le régime avant de réduire la puissance, le moteur risque d'être en « surcouple » : le régime est trop faible pour la puissance développée, les pièces du moteur telles que bielles ou vilebre-

quin supportent des efforts importants qui réduisent leur durée de vie. Reportez-vous également au paragraphe relatif aux « Puissances et performances » à la page 206.

Commande de richesse du mélange

Elle permet d'adapter le dosage de l'essence dans le mélange air-essence pour que la combustion s'effectue correctement. Retenons que :

- un mélange pauvre favorise la surchauffe du moteur et l'apparition des phénomènes de détonation ;
- un mélange riche, s'il est souhaitable aux fortes puissances, entraîne une forte consommation et l'encrassement du moteur.

Notez que plus l'on appauvrit le mélange, plus la température des cylindres augmente, et inversement plus l'on enrichit le mélange, plus la température des cylindres diminue. Ce phénomène s'explique très simplement : dans le cas d'un mélange riche, l'essence qui n'est pas utilisée dans la combustion se vaporise sans brûler. Ainsi, elle dégage du froid (souvenez-vous de la goutte d'éther qui s'évapore sur votre main), de la même manière que dans le conduit du carburateur qu'elle peut faire givrer. Elle refroidit donc l'atmosphère de la chambre et du même coup le cylindre.

Un mélange riche refroidit le moteur, et un mélange pauvre entraîne un échauffement, qui peut conduire à des détonations.

Utilisation de la commande de richesse

Pour le dosage du mélange, il y a lieu de se reporter au manuel de vol. L'utilisation de cette commande est fonction des instruments de contrôle disponibles. En règle générale, la technique à adopter est la suivante :

Phase de décollage, montée ou remise des gaz (qui se fait aussi à forte puissance) :

La commande de richesse est mise sur « plein riche » car le dosage élaboré par le carburateur est optimisé pour obtenir le dosage correspondant à la puissance maximale *(cf. fig. 109)* et d'éviter la détonation aux fortes valeurs de pression d'admission. Notez toutefois que, pour obtenir la meilleure puissance dans le cas d'utilisation d'un aérodrome situé en altitude, il sera éventuellement nécessaire de réduire la richesse du fait, qu'en altitude, l'air se raréfiant, le dosage risque d'être trop riche.

Fig. 123 – *Le tachymètre.*

Phase de croisière

Dans cette phase de vol pour une altitude en général supérieure à 4000 pieds, il y a lieu de procéder comme suit selon les instruments de contrôle disponibles.

Cas d'un avion avec hélice à calage fixe et doté uniquement d'un tachymètre

Pour rechercher le **dosage de meilleure puissance** (correction altimétrique), appauvrir lentement jusqu'à constater une faible chute du régime de ro-

Fig. 124 – *Indicateur de pression d'admission et de Fuel Flow.*

tation ; le mélange obtenu étant alors trop pauvre, enrichir pour maintenir le régime recommandé en croisière. Surveiller la température des cylindres pendant cette opération car lorsqu'on appauvrit, on réchauffe. Ce réglage n'est pas précis mais choisir un dosage maximal est alors une solution moyenne, toujours acceptable si on ne perd pas de vue que la consommation est alors importante et que l'autonomie de l'avion s'en ressent inévitablement.

Notez que, **sans instrument** de contrôle, en raison de l'imprécision , **on ne cherche pas à afficher un dosage correspondant au dosage de meilleure économie** en raison des risques liés à un dosage trop pauvre.

Cas d'une hélice à calage variable

Aéronefs dotés d'un débitmètre

Les aéronefs équipés d'une hélice à calage variable sont généralement dotés d'un débitmètre. Il y a alors lieu de se reporter au manuel de vol , chapitre « **Performances** » dans lequel est publié un tableau comprenant pour les différentes puissances désirées, les valeurs :

- le régime moteur (**RPM**) indiqué par le tachymètre (fig. 123) ;
- la pression d'admission (**PA**) ;
- le débit carburant (**Fuel Flow**) ; le Fuel flow peut être indiqué pour la puissance maximale et pour le dosage de meilleure économie.

La pression d'admission (PA) et le débit carburant (Fuel Flow) sont généralement indiqués sur un instrument à double indication (fig. 124).

Cas d'un aéronef équipé d'un indicateur de température des gaz d'échappement

Cet indicateur fournit la valeur de la température moyenne des gaz d'échappement (Exhaust Gas Temperature). Cet indicateur comprend :

- un secteur gradué devant lequel se déplace une aiguille pilotée par la sonde ;
- une aiguille rouge de maximum que l'on peut déplacer en tournant l'index central.

1. – rechercher la déviation de l'aiguille qui indique le pic de température ;
2. – placer l'index variable sur l'aiguille au **pic de température** ; on est alors au réglage correspondant à l'**économie maximale** ; il y a lieu d'être très vigilant en surveillant fréquemment la variation de température EGT et la température culasse si l'aéronef en est équipé ;
3. – **enrichir pour diminuer la température** en appliquant les dispositions prévues dans le manuel de vol (réduction équivalant à deux graduations en général, soit une chute de 25 à 75 °C) ; on est alors à un dosage correspondant à la **puissance maximale** permettant de ne pas trop consommer et assez élevé pour ne pas provoquer de surchauffe.

Fig. 125

Phase de descente

Après avoir effectué un vol en croisière (> à 4 000 feet), pensez à « ré-enrichir » lors de la descente afin de pouvoir disposer de la pleine puissance en cas de nécessité d'afficher une PA élevée, en cas de remise de gaz par exemple, sans risquer la détonation due à l'appauvrissement du mélange en arrivant dans de l'air plus dense.

LA MISE EN ŒUVRE DE L'AVION LE ROULAGE – L'ARRÊT DU MOTEUR

LA VISITE PRÉ-VOL

Vous êtes maintenant en mesure d'effectuer votre premier vol. Celui-ci va vous faire découvrir l'environnement aéronautique et vous apprendre les manœuvres relatives à la mise en œuvre de votre avion.

Un pilote consciencieux procède toujours avant le vol à une inspection de son appareil afin de s'assurer que celui-ci est en bon état apparent.

C'est la visite pré-vol. Il s'agit d'une action importante qui engage votre sécurité. Elle doit donc être effectuée avant **chaque** vol et avec la plus grande minutie.

Elle s'effectue toujours dans le même ordre visite pré-vol intérieure, visite pré-vol extérieure. La liste des vérifications à effectuer figure sur un document élaboré à partir du manuel de vol : **la check-list**.

Nous tenons cependant à attirer votre attention sur les points suivants.

Essence

- vérifiez que les pleins ont été correctement effectués (quantité de carburant et indice d'octane corrects) ;
- recherchez d'éventuels signes de fuite, en particulier au niveau des canalisations d'alimentation ;
- purgez les réservoirs jusqu'à évacuation complète de l'eau éventuellement contenue dans ceux-ci.

Huile

- vérifiez le niveau d'huile ;
- recherchez d'éventuels signes de fuite.

États général

- vérifiez que toutes les parties visibles et accessibles sont propres, en bon état et normalement fixées ;
- vérifiez l'absence de tous corps étrangers (nids d'oiseaux, outils oubliés, chiffons, etc.) ;
- vérifiez l'écrasement des amortisseurs et l'état des pneumatiques.

L'INSTALLATION À BORD

La visite pré-vol étant effectuée vous vous installez à bord. l'installation à bord est importante et doit faire l'objet de soins particuliers car elle permet une bonne exécution du vol.

C'est également un facteur de sécurité. Elle est liée à deux critères :

- l'accès aux commandes ;
- la perception des informations intérieures et extérieures.

Le réglage du siège en profondeur doit vous permettre d'exploiter le débattement complet des commandes en vol ainsi que l'accès aux commandes moteur et aux accessoires, sans être gêné dans vos mouvements.

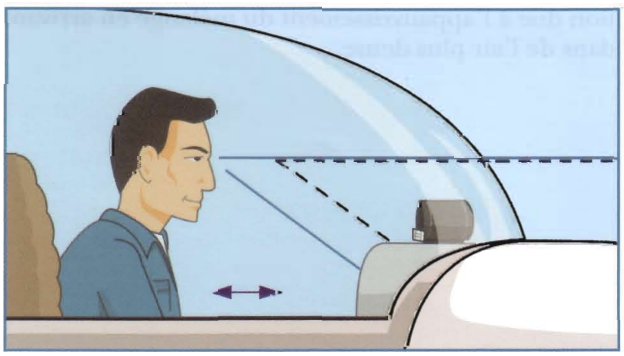


Fig. 126

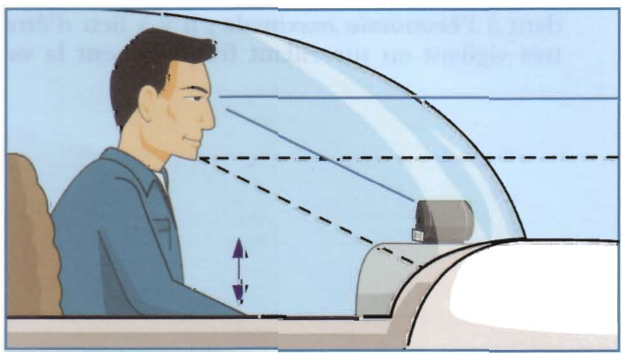


Fig. 127

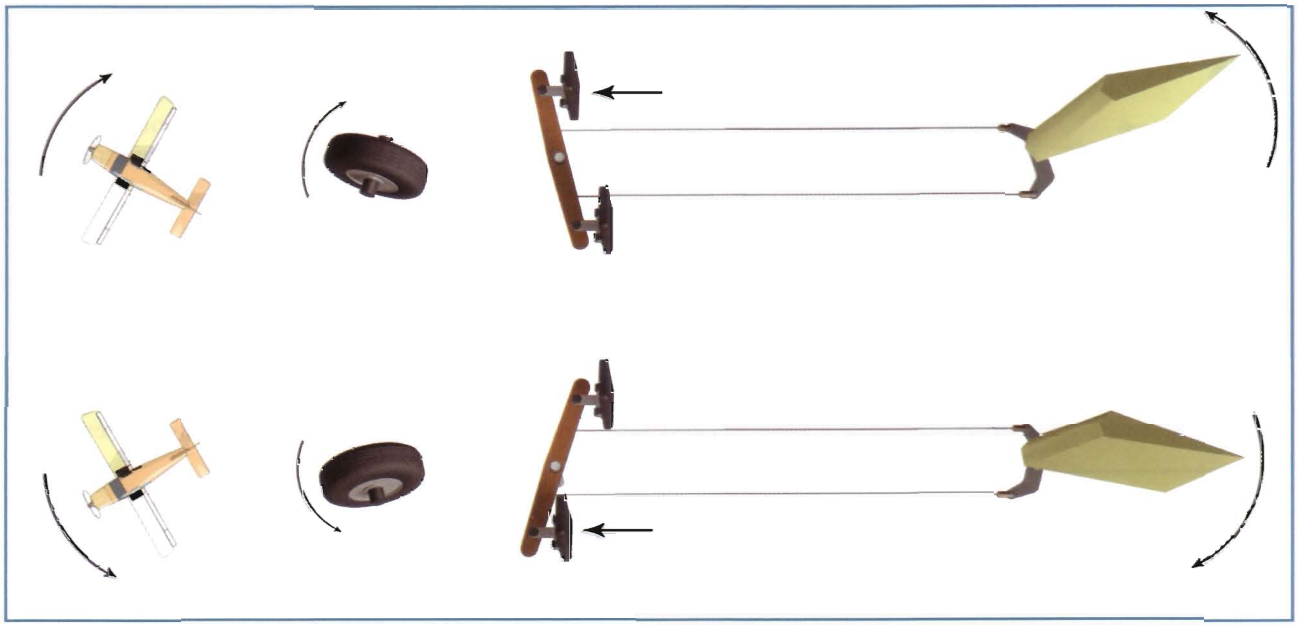


Fig. 128

En fait ce réglage consiste surtout à ne pas avoir la jambe en extension totale, lorsque le palonnier est braqué à fond d'un côté.

Le réglage du siège en hauteur conditionne une bonne vision à la fois du tableau de bord et du panorama extérieur. Il existe une position idéale des yeux dans l'habitacle qui permet d'obtenir le meilleur champ de vision aussi bien au sol qu'en vol.

LA MISE EN ROUTE

Les procédures de mise en route figurent également dans la check-list ou dans le manuel de vol.

Rappelons néanmoins que vous devez prendre certaines précautions d'ordre général :

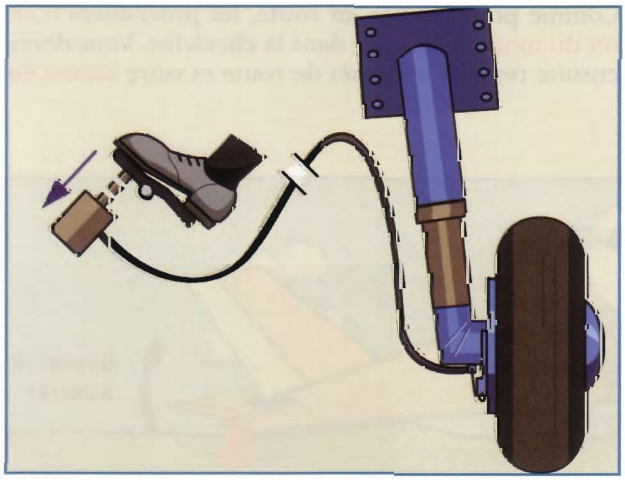


Fig. 129

- assurez-vous que le souffle de l'hélice ne provoquera pas de dommages aux personnes ou aux installations (par exemple évitez de démarrer devant un hangar porte ouverte, ou même devant un autre avion) ;
- assurez-vous également de l'état de surface du sol sous l'hélice : veillez à ce que du gravier ou du sable ne cause pas de détérioration ;
- si possible, effectuez la mise en route face au vent, surtout si votre avion est un avion à train classique ;
- la pression d'huile doit monter dans les 30 secondes suivant la mise en route.

LE ROULAGE

On utilise la traction de l'hélice pour rouler et on règle la vitesse en faisant varier la puissance. Pour diminuer la vitesse ou arrêter l'avion, il faut d'abord réduire la puissance puis utiliser les freins, si nécessaire.

Une puissance adaptée doit éviter une utilisation abusive des freins, laquelle peut entraîner une surchauffe du système de freinage (risque de blocage ou même d'incendie).

Il est recommandé de vérifier le bon fonctionnement des freins dès le début du roulage.

Sur l'aire de stationnement (parking), la vitesse de déplacement doit permettre d'arrêter l'avion pratiquement sur place (circulation de personnes, d'avions, d'engins divers).

Il est bon de se souvenir que les freins d'un avion ne s'appliquent que sur deux petites roues et n'ont donc pas l'efficacité des freins d'une voiture. En dehors du parking, les aires sont dégagées et l'on peut

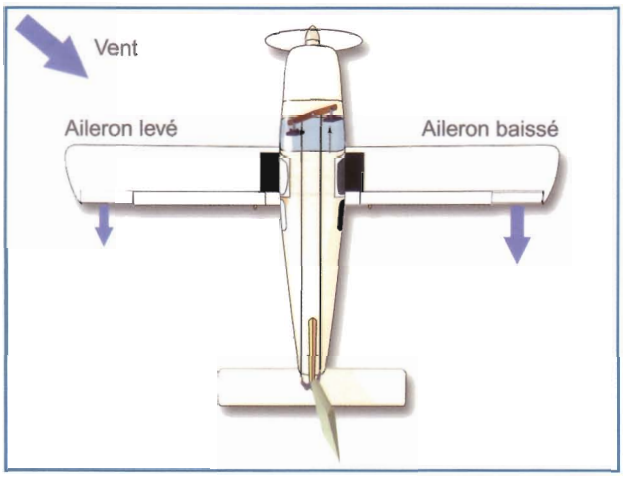


Fig. 130

adopter une vitesse de déplacement plus importante en fonction de l'état du sol et des conditions météorologiques.

Comment diriger l'avion ?

En agissant sur le palonnier du côté où l'on veut virer : palonnnier à droite, l'avion tourne à droite et inversement.

La gouverne de direction joue son rôle aérodynamique et aide l'avion à se diriger. Il est à noter que l'utilisation dissymétrique des freins peut également aider à diriger l'avion.

Utilisation des ailerons

Pour les avions modernes, à roue avant directrice, les ailerons sont positionnés au neutre pour tout vent inférieur à 15 kt.

Sur des avions anciens ou à atterrisseur classique (à roulette de queue), ou par vent fort, il peut être utile d'utiliser l'effet de traînée dû au braquage des ailerons (manche déplacé en butée du côté du vent ou dans le sens inverse du virage).

Roulage par vent traversier

Par vent traversier, l'avion tend à s'orienter face au vent (effet de girouette dû aux surfaces verticales). Pour contrer cet effet, on utilise l'action de la roulette, de la gouverne de direction et également l'effet de traînée des ailerons.

Comment utiliser la gouverne de profondeur ?

Dans le cas particulier du train classique, la gouverne de profondeur joue un rôle important dans la stabilité de l'avion pour éviter le risque de passer sur le nez

Vent de face (fig. 131)

Le manche est maintenu secteur arrière.

Vent arrière (fig. 132)

Le manche est maintenu en secteur avant dès que le vent est susceptible d'être supérieur au souffle de l'hélice (15 kt environ).

Sur avion à train tricycle, il y a lieu de respecter les dispositions prévues au manuel de vol ; le positionnement de la profondeur est fonction de vent ; il est généralement demandé :

- en cas de roue avant conjuguée au palonnier, de positionner la gouverne de profondeur de façon à obtenir un chargement minimum de l'atterrisseur afin d'avoir une bonne adhérence et permettre de diriger la roue plus facilement ;
- en cas de roue avant non conjuguée, de positionner la gouverne de profondeur de façon à soulager la roue avant.

L'ARRÊT DU MOTEUR ET LA FIN DU VOL

Comme pour la mise en route, les procédures d'arrêt du moteur figurent dans la check-list. Vous devez ensuite remplir le carnet de route et votre **carnet de**

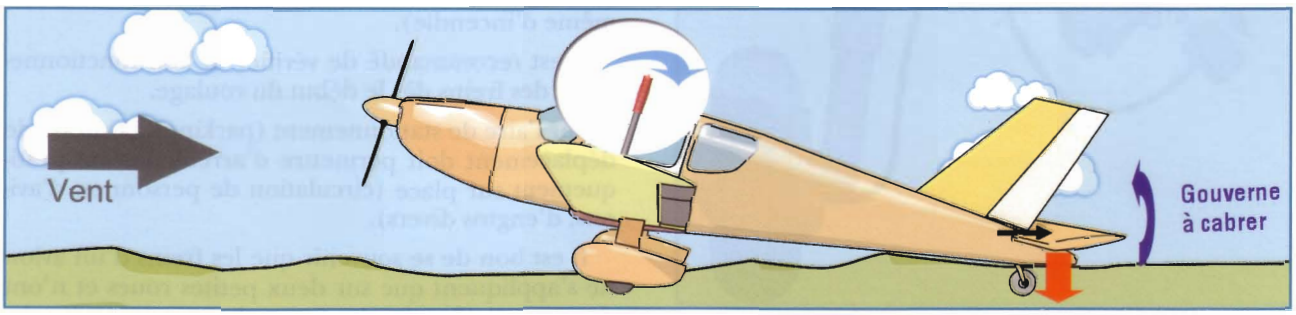


Fig. 131 – *Vent de face.*

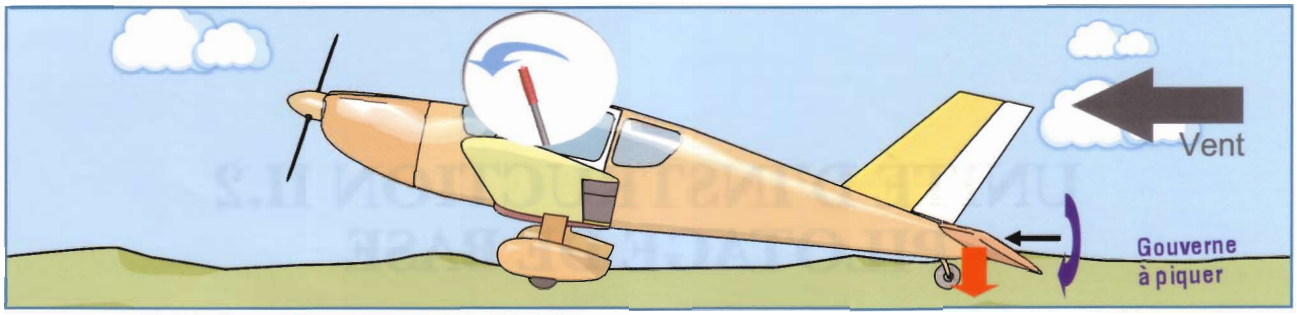


Fig. 132 – *Vent arrière.*

vol et, si nécessaire, passer au bureau de contrôle de l'aérodrome.

Si vous constatez une anomalie de fonctionnement au cours du vol vous devez l'inscrire sur la page de droite du carnet de route et le signaler à l'exploitant (fig. 134). En cas d'absence d'anomalie à signaler, vous devez indiquer une mention explicite d'absence d'anomalie sous la forme « RAS » et signer le carnet de route.

Vous n'hésiterez pas non plus, en cas d'atterrissage dur par exemple, à le signaler afin que toutes les vérifications utiles soient effectuées avant le vol suivant.

Dans le cas où l'avion doit passer la nuit sur le parking, il est nécessaire de prendre certaines précautions concernant l'amarrage de l'avion au sol (cales, cordages de fixation et d'utiliser les systèmes de blocage des commandes prévus à cet effet.

RIEN N'EST PLUS CHANGEANT QUE LES SITUATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

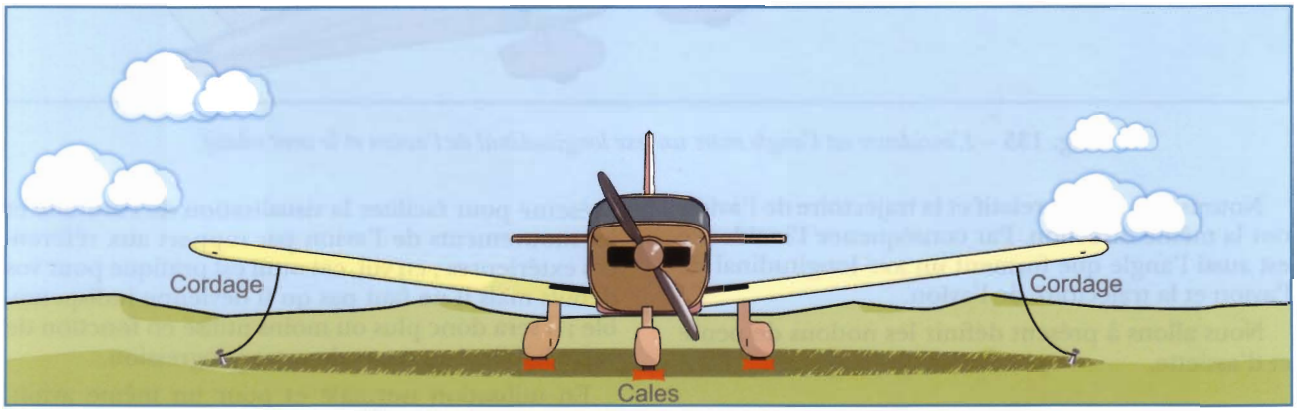


Fig. 133

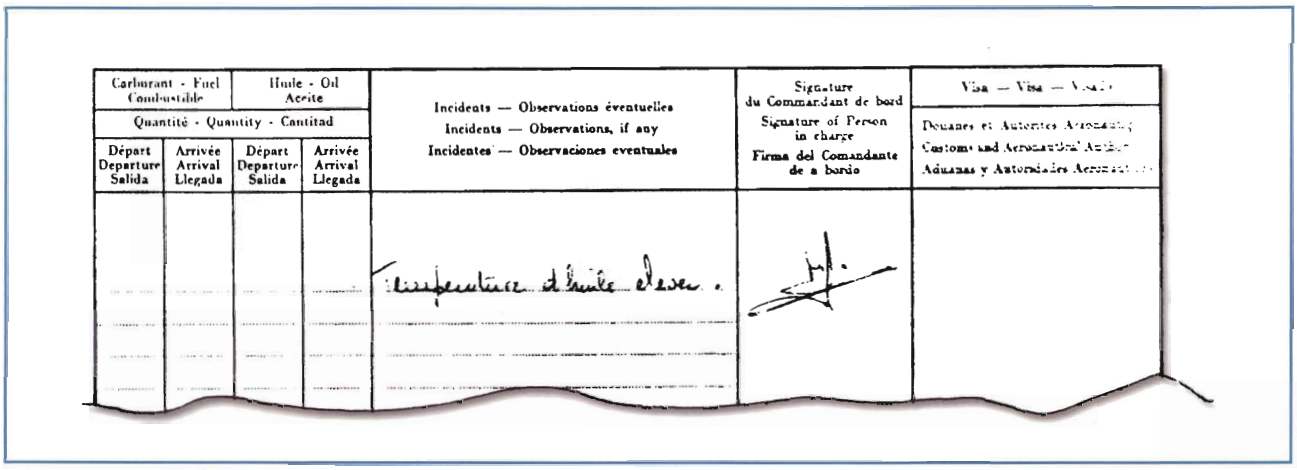


Fig. 134

UNITÉ D'INSTRUCTION II.2
PILOTAGE DE BASE

RELATIONS ASSIETTE-INCIDENCE-PENTE

Ces trois angles sont liés par une relation simple. Voyons d'abord leur définition.

Nous connaissons déjà l'incidence : c'est l'angle entre un axe longitudinal de l'avion et le vent relatif (fig. 135).

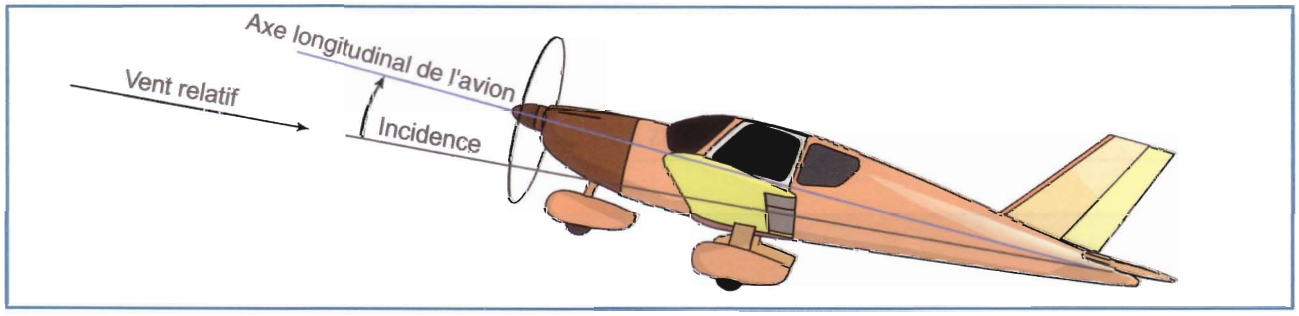


Fig. 135 – *L'incidence est l'angle entre un axe longitudinal de l'avion et le vent relatif.*

Notons que le vent relatif et la trajectoire de l'avion ont la même direction. Par conséquence l'incidence est aussi l'angle que forment un axe longitudinal de l'avion et la trajectoire de l'avion.

Nous allons à présent définir les notions de pente et d'assiette.

La pente de la trajectoire

C'est l'angle formé par la trajectoire de l'avion et l'horizontale (fig. 136).

L'assiette de l'avion

L'assiette est l'angle que forment l'axe longitudinal de l'avion et l'horizontale quelle que soit l'inclinaison. L'assiette est souvent représentée symboliquement par la lettre grecque thêta θ (fig. 137 – Assiette de montée, fig. 138 – Assiette de palier, fig. 139 – Assiette de descente, fig. 140 – Assiette en virage).

Sur ces figures, un repère pare-brise (RPB) est représenté pour faciliter la visualisation de l'attitude et les mouvements de l'avion par rapport aux références extérieures ; en vol, cet outil est pratique pour vos débuts mais il ne faut pas qu'il devienne indispensable ; il sera donc plus ou moins utilisé en fonction de votre habileté au cours de votre progression.

En utilisation normale et pour un même avion, les assiettes évoluent dans une fourchette de valeurs comprises entre + 10 ° et – 3 ° environ.

Les avions de ligne ont des assiettes beaucoup plus prononcées dans les phases de décollage (18 °

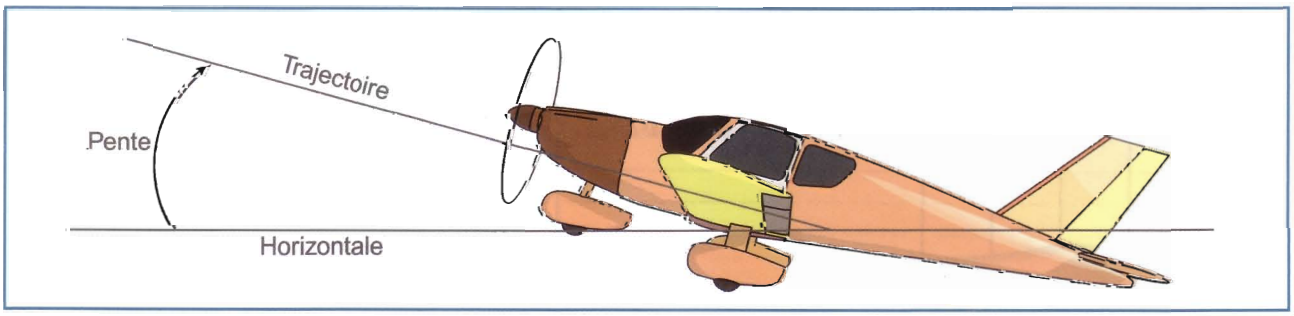


Fig. 136 – *La pente est l'angle formé entre la trajectoire de l'avion et l'horizontale.*

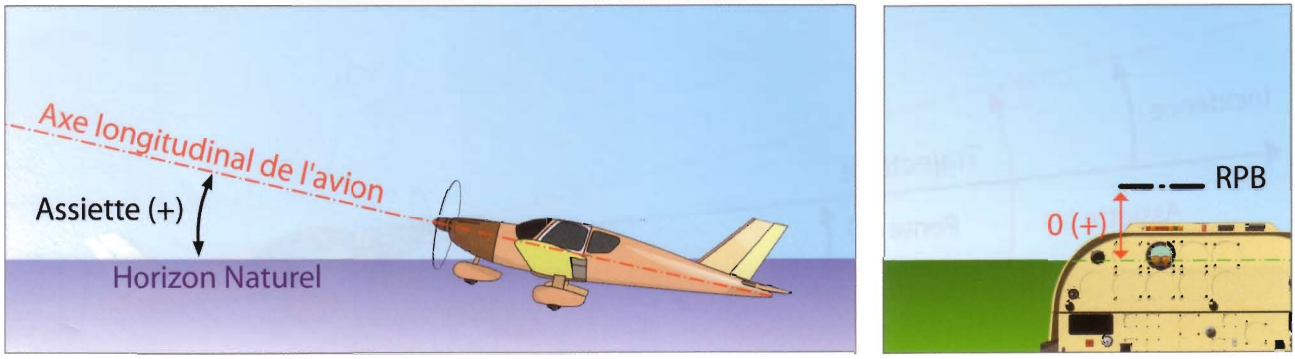


Fig. 137 – *L'assiette de montée.*

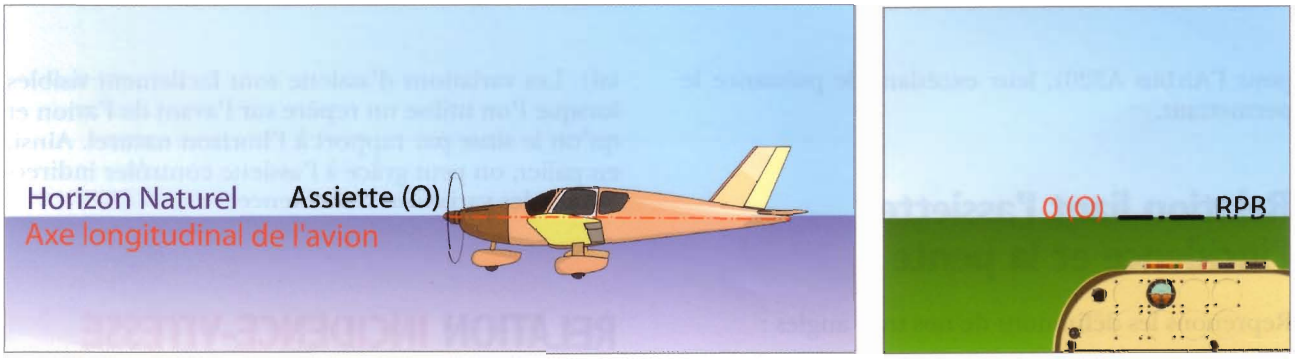


Fig. 138 – *L'assiette de palier.*

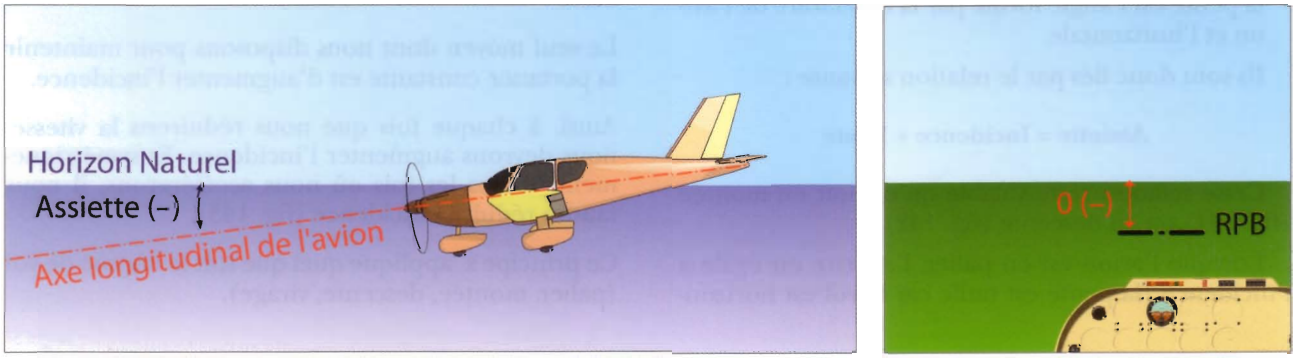


Fig. 139 – *L'assiette de descente.*

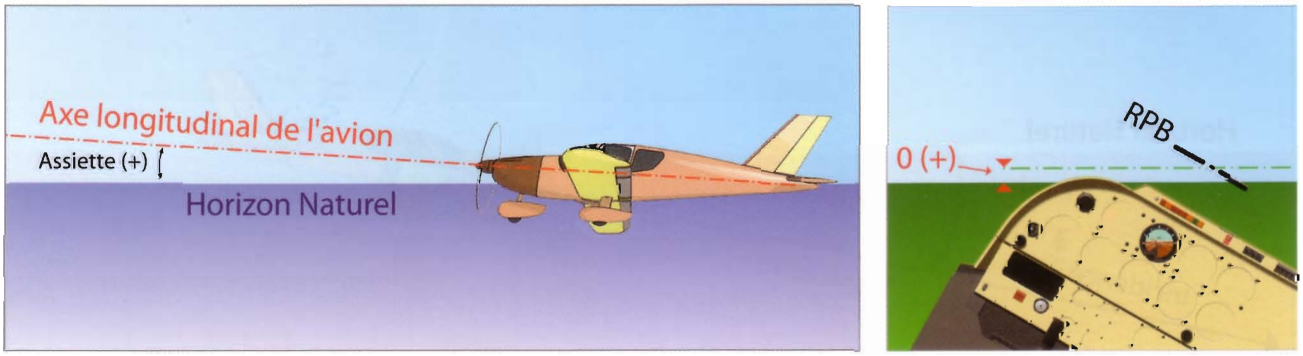


Fig. 140 – *L'assiette en virage et en palier légèrement à cabrer pour maintenir le palier.*

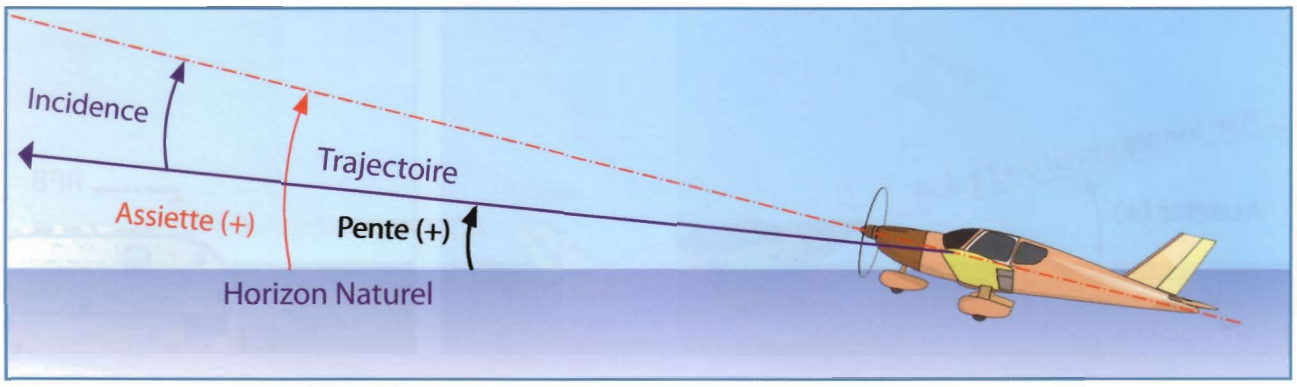


Fig. 141 – *Assiette, incidence et pente de montée.*

pour l'Airbus A320), leur excédant de puissance le permettant.

Relation liant l'assiette, l'incidence et la pente

Reprenons les définitions de nos trois angles :

- l'assiette est l'angle formé par l'axe longitudinal de l'avion et l'horizontale ;
- l'incidence est l'angle formé par l'axe longitudinal de l'avion et la trajectoire ;
- la pente est l'angle formé par la trajectoire de l'avion et l'horizontale.

Ils sont donc liés par le relation suivante :

Assiette = Incidence + Pente

Cette relation reste valable qu'on soit en montée (fig. 141) ou en descente (fig. 142).

Lorsque l'avion est en palier, l'assiette est égale à l'incidence (la pente est nulle car le vol est horizontal). Les variations d'assiette sont facilement visibles lorsque l'on utilise un repère sur l'avant de l'avion et qu'on le situe par rapport à l'horizon naturel. Ainsi, en palier, on peut grâce à l'assiette contrôler indirectement les variations d'incidence.

RELATION INCIDENCE-VITESSE

Nous avons vu dans le paragraphe *« Facteurs influençant la résultante aérodynamique »* que si la vitesse diminuait à incidence constante, la portance diminuerait aussi.

Le seul moyen dont nous disposons pour maintenir la portance constante est d'augmenter l'incidence.

Ainsi, à chaque fois que nous réduirons la vitesse, nous devrons augmenter l'incidence. Et symétriquement, toutes les fois où nous accélérerons, il nous faudra réduire l'incidence (fig. 143).

Ce principe s 'applique quel que soit le régime de vol (palier, montée, descente, virage).

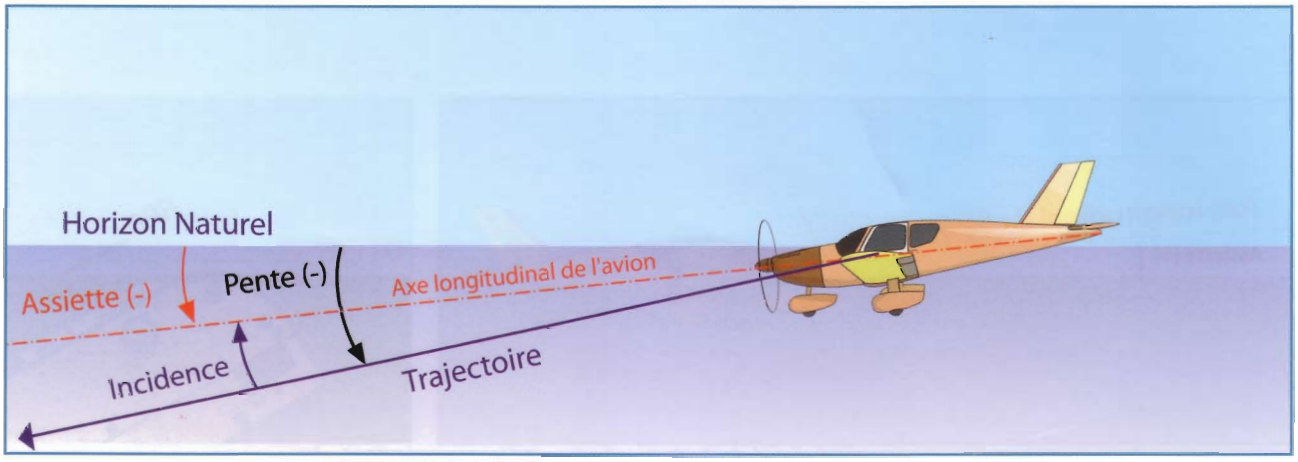


Fig. 142 – *Assiette, incidence et pente en descente.*

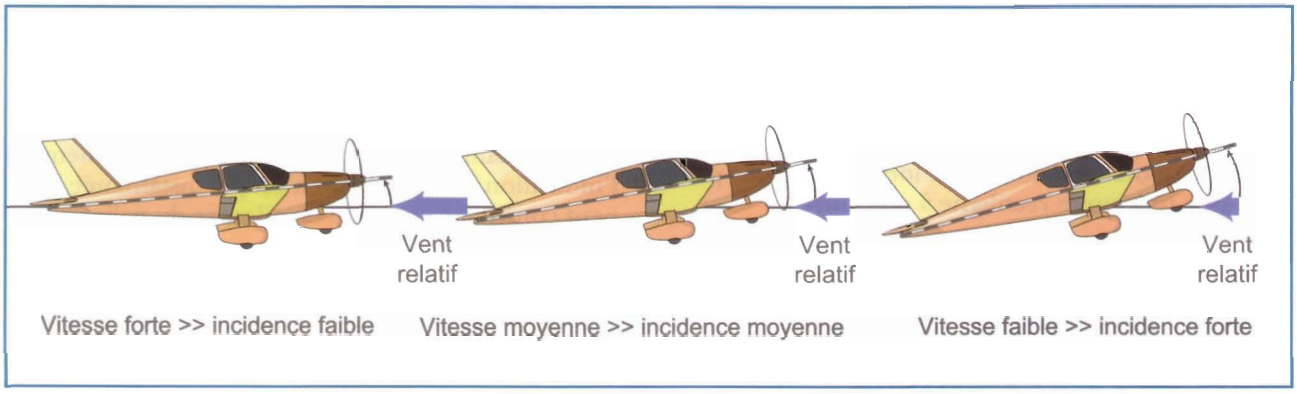


Fig. 143 – *Une diminution de vitesse nécessite une augmentation d'incidence pour maintenir le vol en palier.*

Relation entre incidence et pente

Plaçons-nous dans le cas où la vitesse est maintenue constante quel que soit le régime de vol.

Augmentons l'incidence à vitesse constante, et pour maintenir cette vitesse constante, augmentons la puissance fournie par le moteur jusqu'à sa limite supérieure. Nous savons que la portance augmente dans le même temps, elle est donc supérieure au poids.

La somme de ces deux forces n'est plus nulle et est égale à une force dirigée vers le haut. La trajectoire de l'avion s'incurve donc vers le haut :

- si l'avion est en palier, il s'engage en montée ;
- si l'avion est en descente, sa vitesse verticale de descente diminue ;
- si l'avion est en montée, sa vitesse verticale ascensionnelle augmente.

De la même manière, si nous diminuons l'incidence, la portance sera inférieure au poids : la somme de ces deux forces sera égale à une force dirigée vers le bas. La trajectoire de l'avion s'incurve donc vers le bas :

- si l'avion est en palier, il s'engage en descente ;
- si l'avion est en descente, sa vitesse verticale de descente augmente ;
- si l'avion est en montée, sa vitesse verticale ascensionnelle diminue.

Remarquons que la variation d'incidence n'intervient que pour le changement de trajectoire.

Lorsque la trajectoire redevient rectiligne (en palier, montée ou descente), et si la vitesse est constante, l'incidence reprend pratiquement la même valeur que précédemment.

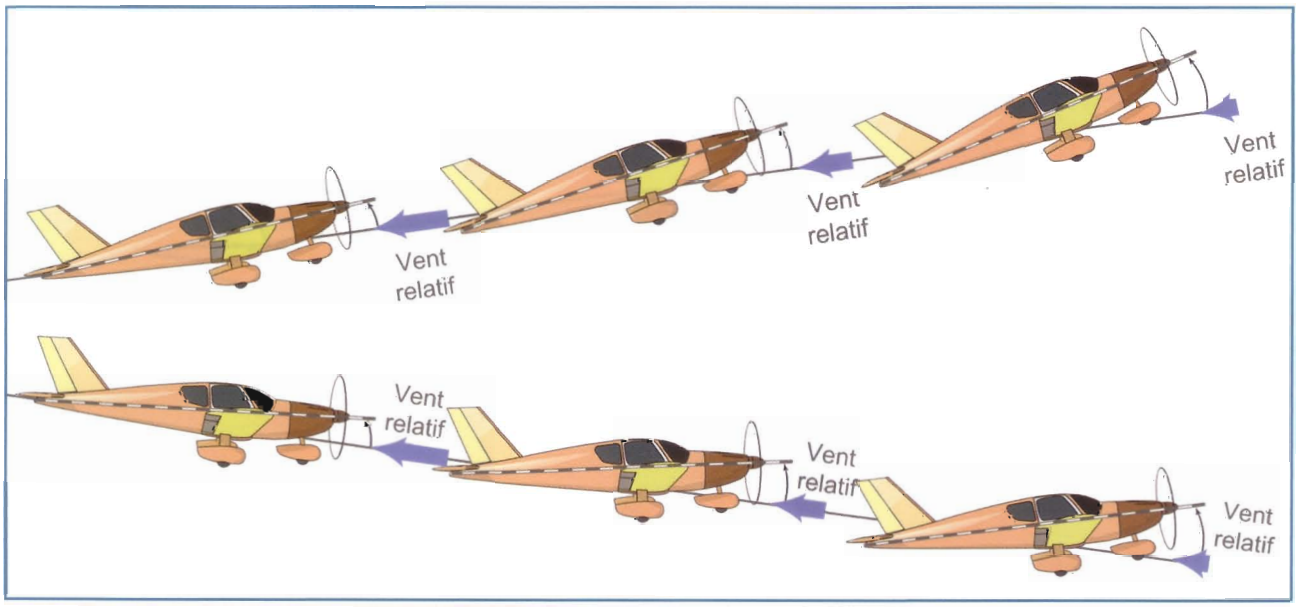


Fig. 144 – *La relation liant la vitesse et l'incidence est aussi vraie en montée et en descente.*

A vitesse constante, elle a donc quasiment la même valeur que l'on soit en palier, en montée ou en descente.

Et hormis le cas du virage où l'apparition d'un facteur de charge nécessite une augmentation d'incidence, le pilote ne modifie l'incidence que pour passer d'une trajectoire rectiligne à une autre.

ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN VERTICAL

Le vol en palier à vitesse constante

Le palier est une trajectoire à altitude constante. La vitesse étant constante, la somme de toutes les forces qui s'appliquent à l'avion est nulle.

Effectuons le bilan de ces forces.

Il s'exerce sur l'avion :

- le poids,
- la résultante aérodynamique, que nous décomposerons comme en Phase I en deux forces perpendiculaires : la portance et la traînée,
- la traction du moteur.

Au total, donc, quatre forces (Fig. 145).

La particularité du palier, en comparaison de la montée et de la descente, est que la portance, perpendiculaire au vent relatif, est verticale, égale et opposée au poids.

Contrôle du palier

Il s'effectue en affichant une assiette, à l'aide des références extérieures ou de l'horizon artificiel. Après la stabilisation de l'assiette, le variomètre vous permet de vérifier que l'assiette affichée est la bonne : « altitude constante et vario 0 ».

Cependant de par son principe de fonctionnement l'indication du variomètre n'est pas instantanée et ne peut constituer un mode de pilotage du palier.

Le vol en montée

Dans cette configuration de vol, le vent relatif n'est plus perpendiculaire au poids : il est incliné par rapport à l'horizontale d'un angle égal à la pente de la trajectoire (fig. 146).

Le poids admet donc une composante parallèle à l'axe de la trajectoire, vers l'arrière, et agit comme un frein. Cette composante arrière doit être compensée par une augmentation de traction, autrement dit par un supplément de puissance, si on désire soit maintenir la vitesse de palier soit adopter une vitesse de montée donnée de façon à équilibrer la composante poids (qui dépend de la pente) plus la traînée d'une part, et la traction d'autre part.

La montée est donc synonyme de puissance supplémentaire. Ainsi, dès que vous adopterez une trajectoire de montée, la puissance fournie par le moteur devra être supérieure à la puissance de palier, dans la limite de l'excédent de puissance disponible. Pour les avions de tourisme, la pente de montée sera donc limitée par la puissance du moteur : elle est en général aux alentours de 6 °, en conditions standard.

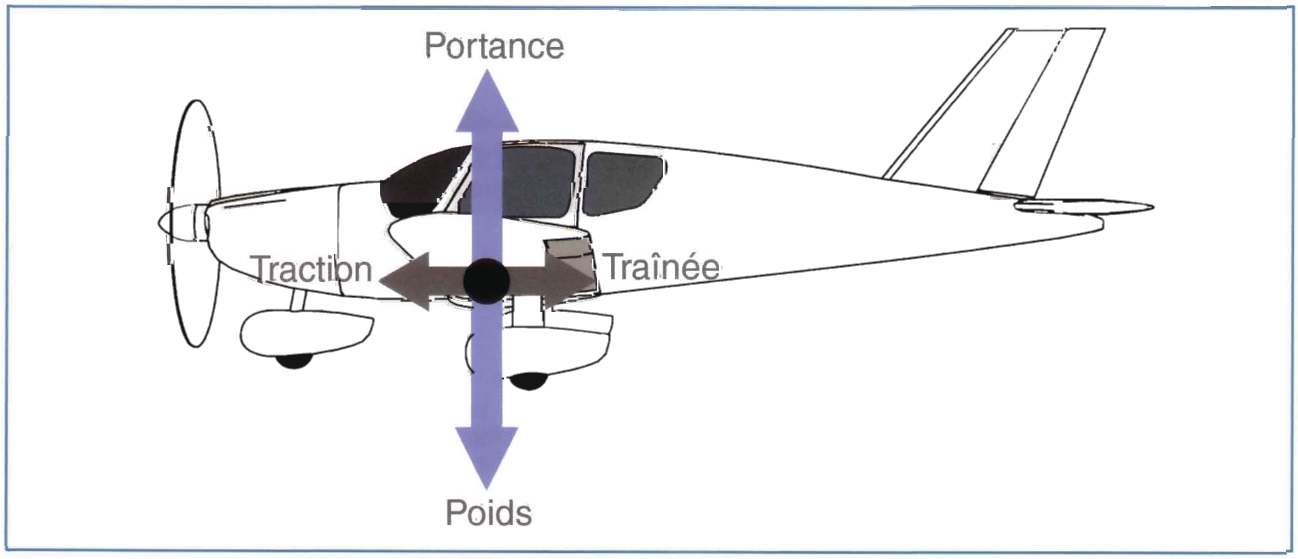


Fig. 145 – *Les quatre forces qui s'appliquent à l'avion.*

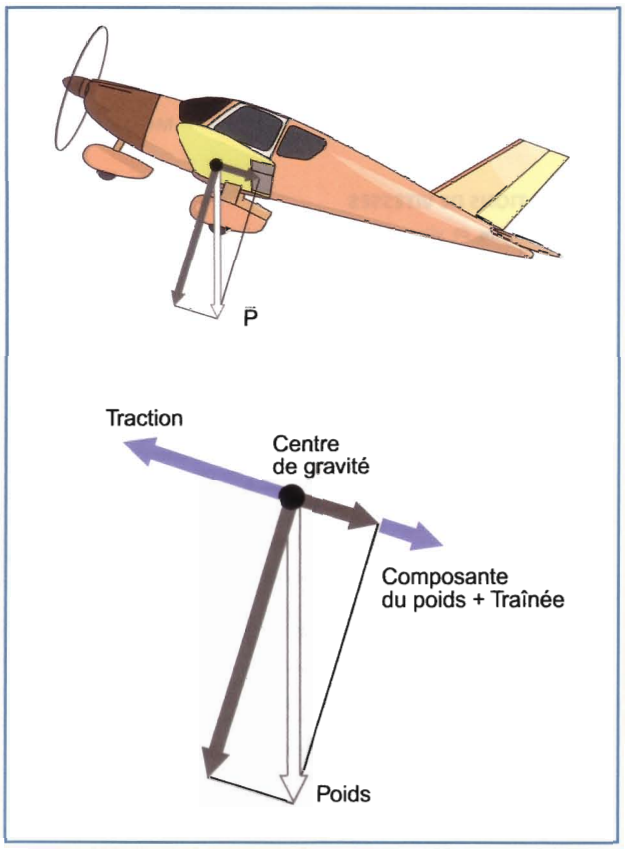


Fig. 146 – *En montée, la composante arrière du poids doit être compensée par un supplément de traction.*

SOCATA
MODELE TB 9

SECTION 4
PROCEDURES NORMALES

GENERALITES

Cette section décrit les procédures pour l'utilisation normale de l'avion SOCATA Modèle TB 9.

Les procédures normales des systèmes optionnels sont fournies dans la Section "Suppléments" du Manuel de Vol.

VITESSES D'UTILISATION DE SECURITE (Vi)

Les vitesses suivantes sont celles qui sont importantes pour l'utilisation sûre de l'avion.

Ces données sont valables pour un avion standard utilisé à la masse maximale en conditions normales.

- Vitesse de taux de montée optimal	
Volets rentrés	145 km/h - 78 kt
Volets en position atterrissage	115 km/h - 62 kt
- Vitesse de pente de montée optimale	
Volets rentrés	125 km/h - 67 kt
Volets en position atterrissage	110 km/h - 59 kt
- Vitesse d'utilisation en atmosphère agitée	227 km/h - 122 kt
- Vitesse maximale volets en position décollage	176 km/h - 95 kt
- Vitesse maximale volets en position atterrissage	176 km/h - 95 kt
- Vitesse d'approche finale (volets en position atterrissage)	120 km/h - 65 kt
- Vitesse maximale de vent de travers démontrée	25 kt

31 Janvier 1988 4.3

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 147 – *La vitesse de taux de montée optimale est donnée dans le manuel de vol.*

Contrôle de la montée

Le paramètre qui doit être maintenu constant en montée est la vitesse, pour des raisons de performance. La vitesse recherchée sera obtenue par affichage de l'assiette adéquate.

On détermine ainsi une vitesse optimale de montée. On la trouve dans le manuel de vol de l'avion, **section 4, Procédures normales – Montée** (fig. 147).

Le vol en descente

De même qu'en montée, le poids n'est plus perpendiculaire au vent relatif. Il admet de la même manière une composante sur l'axe du vent relatif. Mais cette fois, la composante vient s'ajouter à la traction (fig. 148) et devient motrice.

Si la traction reste constante, l'avion va bien sûr accélérer sous l'action de la composante motrice du poids.

Pour conduire votre descente, vous aurez alors la possibilité de maintenir la vitesse constante en réduisant la puissance, ou de laisser accélérer l'avion jusqu'à la vitesse à laquelle la somme de la traction et de la composante motrice du poids équilibre la traînée.

Contrôle de la descente

Il se fait par l'intermédiaire de l'assiette qui pilote le vario (en général, 500 ft/mn est une bonne valeur) et de la puissance qui pilote la vitesse, le choix du couple vario/vitesse déterminant une pente de descente.

Votre vitesse de descente sera néanmoins limitée : vous ne dépasserez pas la « vitesse maximale de croisière » $\mathbf{V_{NO}}$ (de l'anglais « Velocity Normal Operating ») si l'air est turbulent, et vous ne dépasserez en aucun cas la « vitesse à ne jamais dépasser » $\mathbf{V_{NE}}$ (de l'anglais « Velocity Never Exceed »).

Ces deux vitesses figurent dans le manuel de vol de votre avion, **section 2, Limitations – Limitations de vitesses** (fig. 149).

Le cas du vol plané moteur réduit ou arrêté

Vous avez tous vu des oiseaux voiliers ou des planeurs en l'air. Ils volent avec une certaine vitesse. Ils ne « tombent » pas, sans pour autant disposer de la force de traction d'un moteur. Mais leur vol est un peu particulier : ils planent.

Comment cela est-il possible ?

Au moment de la réduction des gaz ou de l'arrêt du moteur, l'avion change de trajectoire, s'il est en palier par exemple, pour se mettre en descente.

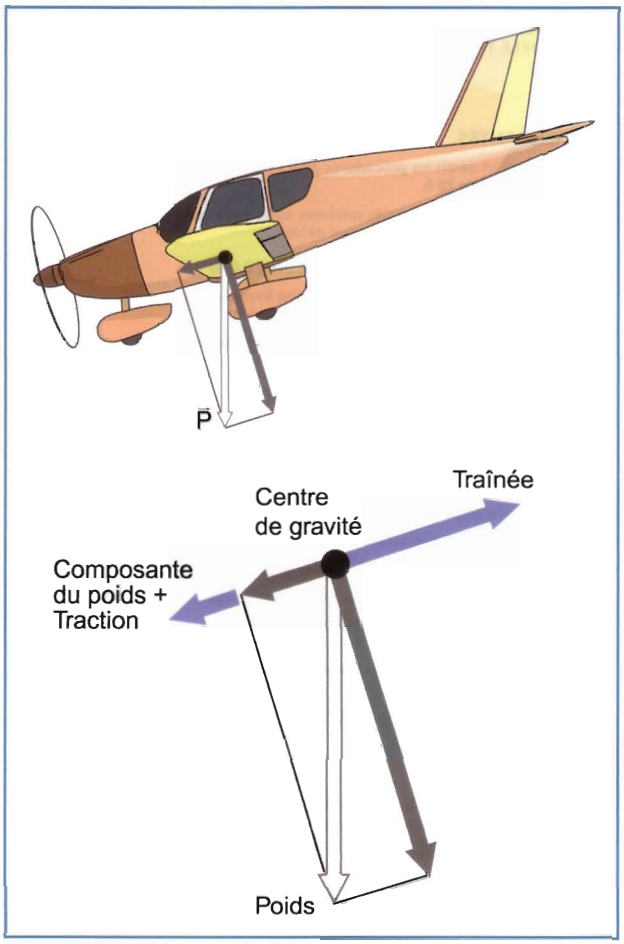
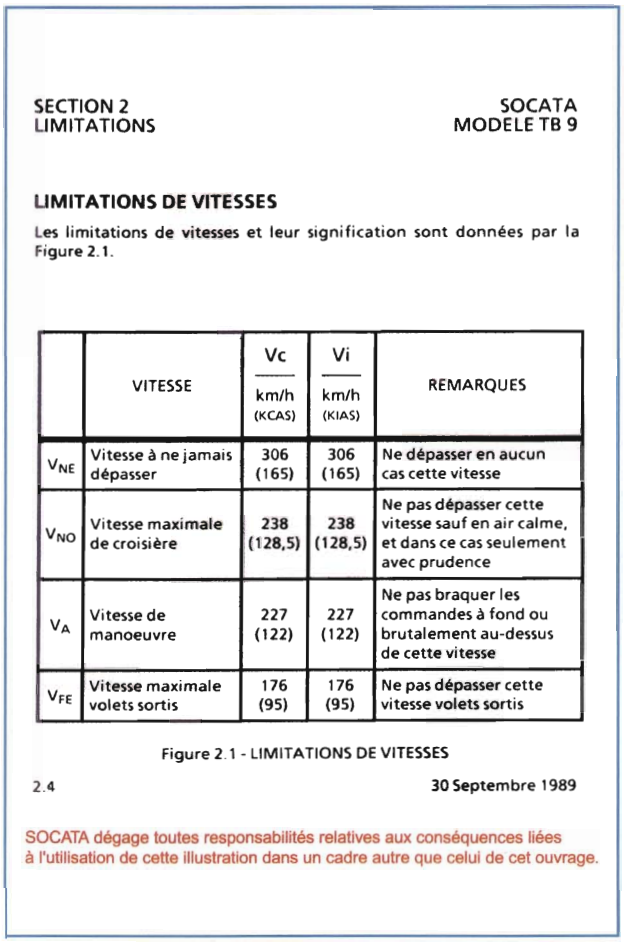


Fig. 148 – *En descente, la composante du poids s'ajoute à la traction du moteur.*



SECTION 2
LIMITATIONS

SOCATA
MODELE TB 9

LIMITATIONS DE VITESSES

Les limitations de vitesses et leur signification sont données par la Figure 2.1.

	VITESSE	Vc km/h (KCAS)	Vi km/h (KIAS)	REMARQUES
V_{NE}	Vitesse à ne jamais dépasser	306 (165)	306 (165)	Ne dépasser en aucun cas cette vitesse
V_{NO}	Vitesse maximale de croisière	238 (128,5)	238 (128,5)	Ne pas dépasser cette vitesse sauf en air calme, et dans ce cas seulement avec prudence
V_A	Vitesse de manoeuvre	227 (122)	227 (122)	Ne pas braquer les commandes à fond ou brutalement au-dessus de cette vitesse
V_{FE}	Vitesse maximale volets sortis	176 (95)	176 (95)	Ne pas dépasser cette vitesse volets sortis

Figure 2.1 - LIMITATIONS DE VITESSES

2.4 30 Septembre 1989

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 149 – *Les vitesses maximales figurent dans le manuel de vol, section « limitations ».*

La résultante aérodynamique R_A s'oppose alors exactement au poids P (fig. 150) : c'est le vol plané rectiligne uniforme.

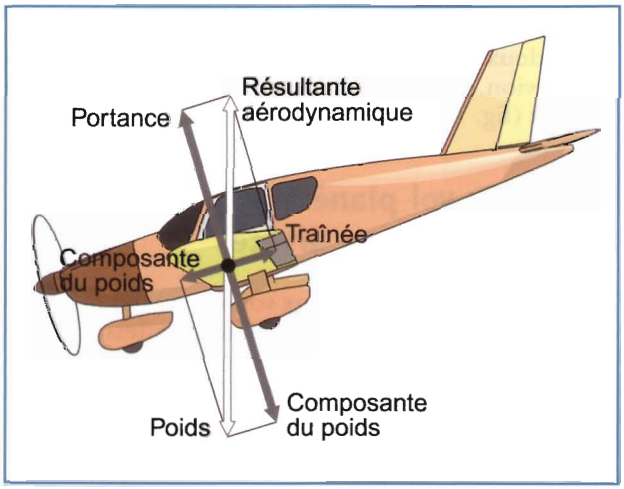


Fig. 150 – *En vol plané, la résultante aérodynamique compense le poids.*

Nous constatons que le vol sans moteur est tout à fait possible, et que l'avion privé de son moyen de propulsion reste encore apte au vol plané. Si vous voliez assez haut, vous pourrez rejoindre une zone dégagée et atterrir dans de bonnes conditions. Si vous voliez plus bas, pensez au moins à contourner les forêts…

A titre d'exemple, voici le temps de vol approximatif et la distance parcourue avant l'impact en cas d'arrêt du moteur en fonction de votre hauteur, pour un avion léger courant :

hauteur de survol	temps de vol approximatif	distance parcourue
6 500 ft	6 min	8,5 NM
3 500 ft	3 min	4,2 NM
3 500 ft	30 s	0,7 NM

Gestion du moteur en descente

Il sera nécessaire de prendre des précautions, comme dans la montée, avec la température du moteur.

En effet, lors d'une descente prolongée, ou avec un fort taux de descente, le moteur se refroidit sous l'action de deux facteurs : la réduction des gaz et l'augmentation du vent relatif.

Si la température chute trop ou trop vite, les parties externes des cylindres se refroidissent plus vite que les parties internes et les pistons.

Les parties externes se contractent plus vite que les parties internes, le jeu permettant au piston d'aller et venir librement dans le cylindre s'annule et le piston cesse son déplacement : c'est le « serrage » du moteur.

Pour éviter cette situation peu enviable, il faudra éviter de réduire complètement les gaz pendant une longue durée, et il faudra remettre un peu de gaz périodiquement, de manière à maintenir la température du moteur dans les limites préconisées par le constructeur.

ÉTUDE DES TRAJECTOIRES DANS LE PLAN HORIZONTAL

Le virage

La mise en virage d'un avion ne s'effectue pas comme pour une voiture : si on essayait d'orienter le nez de l'avion grâce au palonnier, en le faisant pivoter autour de son axe de lacet, on constaterait qu'il volerait « en crabe » et qu'il poursuivrait sa ligne droite pendant quelques instants.

Pour éviter cela, nous choisirons d'incliner la portance pour déclencher un virage (fig. 151). Cette opération se fera en inclinant les ailes.

La composante horizontale de la portance est dirigée vers l'intérieur du virage. Elle constitue ainsi une force déviatrice (fig. 151) qui modifie la trajectoire de l'avion.

Mais cette seule force n'oriente pas le nez de l'avion dans une direction souhaitée. Elle ne fait qu'entraîner l'avion latéralement. Il faut par conséquent aligner l'avion dans le lit du vent relatif.

La solution tient dans l'application de « l'effet de girouette » : on place une surface verticale à l'arrière, la dérive, pour que l'avion ne vole pas en crabe.

Grâce à elle, l'avion pivotera autour de son axe vertical, dit « axe de lacet », et le nez s'alignera tangentiellement au virage.

Nous abordons ici le premier rôle essentiel de la dérive : maintenir l'axe longitudinal de l'avion parallèle à l'axe du vent relatif. Lorsque cette condition est réalisée, le vol est dit « symétrique ».

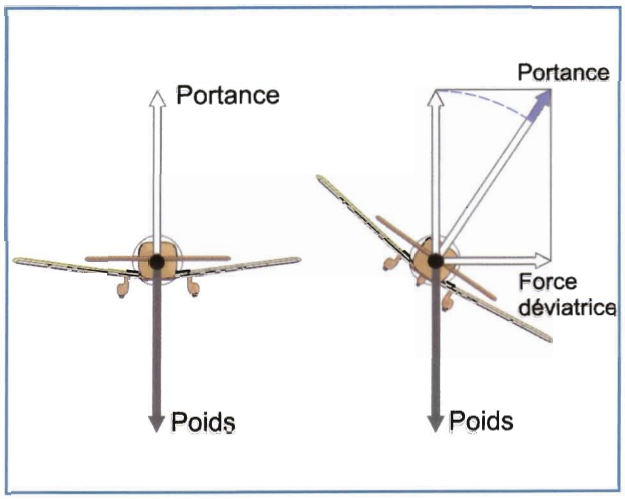


Fig. 151 – *Pour virer, on incline la portance, ce qui crée une force déviatrice.*

Relation entre rayon de virage et vitesse

A même inclinaison, le rayon de virage est d'autant plus important que la vitesse est grande et le taux de virage est plus faible : le rayon est 4 fois plus important pour une vitesse 2 fois plus élevée ($2^2 = 4$ Représentation non à l'échelle sur la fig. 152).

Souvenons-nous qu'à inclinaison donnée :

faible vitesse = petit rayon de virage
grande vitesse = grand rayon de virage

Relation entre le rayon de virage et l'inclinaison

A vitesse constante, le rayon de virage varie dans le sens inverse de l'inclinaison (fig. 153), suivant une loi peu simple que nous ne donnerons pas ici. Il nous suffira de retenir que :

faible inclinaison = grand rayon de virage
grande inclinaison = petit rayon de virage

LE FACTEUR DE CHARGE (NOTÉ n)

C'est une grandeur qui traduit l'effort appliqué à l'aile. Plus il est grand, plus l'aile supporte un effort important. On le détermine de la manière suivante :

$$n = \frac{\text{Portance}}{\text{Poids de l'avion}}$$

Il permet au pilote de voltige, grâce à la lecture d'un accéléromètre gradué en facteur de charge, de doser son pilotage pour ne pas dépasser la limite de résistance de la structure de son avion.

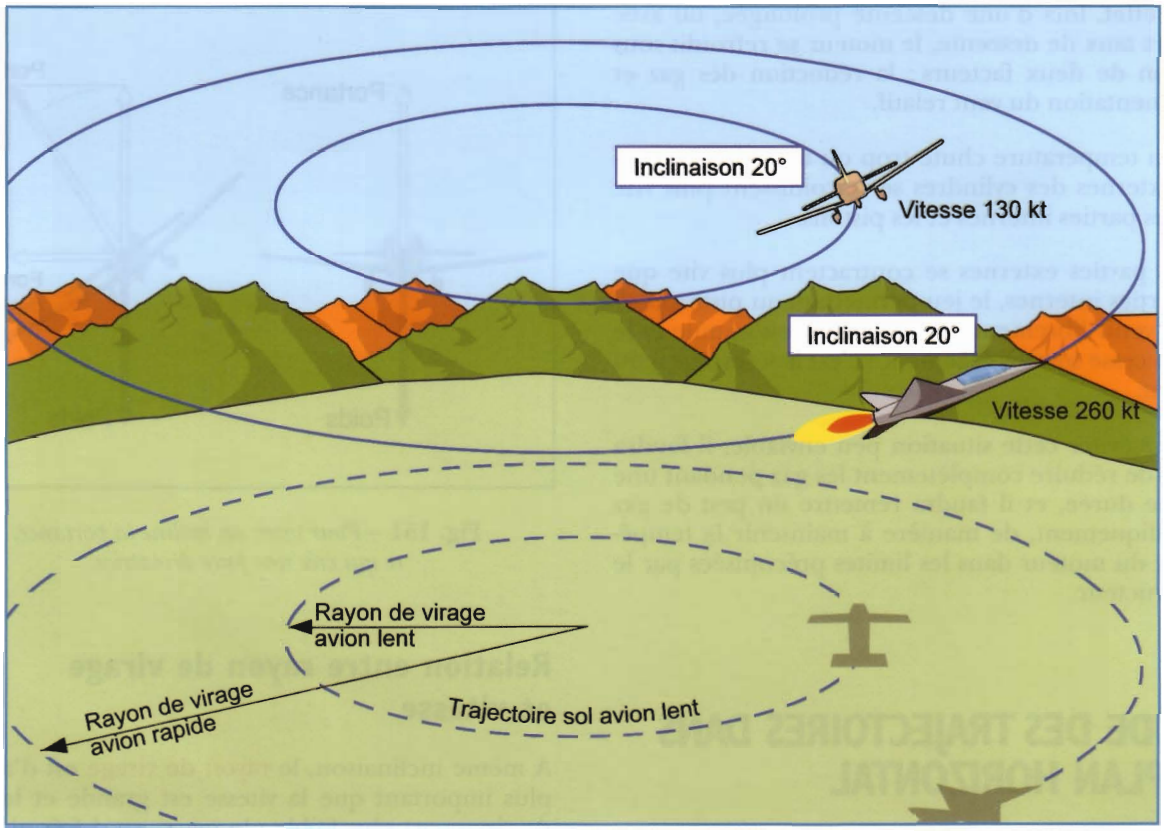


Fig. 152 – *A même inclinaison, le rayon de virage est d'autant plus grand que la vitesse est grande et le taux de virage est plus faible : le rayon est 4 fois plus important pour une vitesse 2 fois plus élevée (Représentation non à l'échelle sur le schéma ci-dessous).*

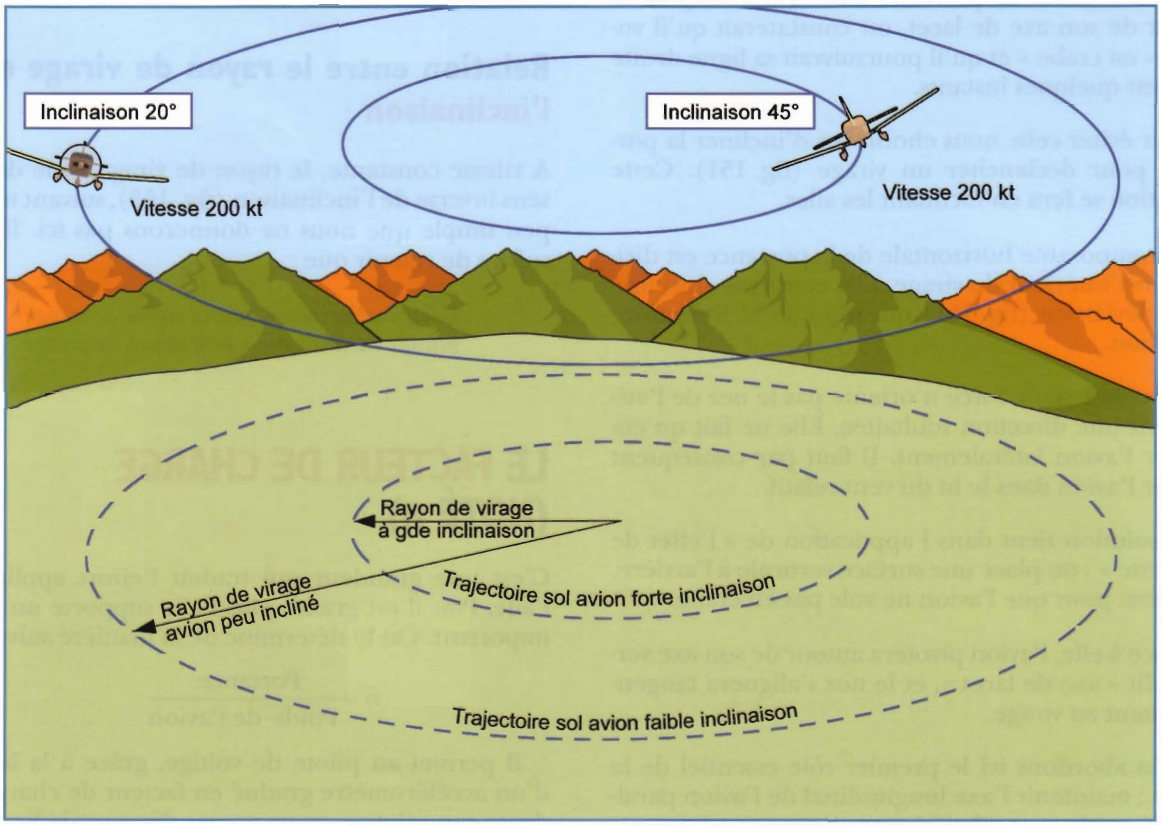


Fig. 153 – *A même vitesse, plus l'inclinaison augmente, plus le rayon de virage diminue.*

Dans les avions de tourisme, il n'y a pas d'accéléromètre. Nous utiliserons d'autres informations pour évaluer le facteur de charge appliqué à l'avion (l'inclinaison par exemple) pour rester dans les limites du domaine de vol de l'avion.

En ligne droite

En palier n = 1, la portance étant égale au poids. En montée ou en descente, en toute rigueur, la portance est inférieure au poids, car elle est alors égale à « mg. cos F » et n < 1 ; dans la pratique, on peut admettre que « n » est peu différent de 1 du fait des faibles pentes de montée ou descente des avions civils.

En virage

Vous avez sans doute déjà constaté lors d'un virage en avion une impression de léger tassement.

Cette sensation est due à l'apparition d'une accélération (modification de la trajectoire), qui s'ajoute à l'accélération de la pesanteur. Cela ne correspond pas à une augmentation subite de votre poids mais à l'apparition d'une force dite « force d'inertie ».

Cette force d'inertie et le poids s'ajoutent pour donner une force dirigée vers le bas (ou le fond) de l'avion, plus importante que le poids (fig. 151).

La portance doit être « égale et opposée » à cette force pour pouvoir maintenir le vol horizontal. Elle est donc plus importante en virage qu'en ligne droite. Cette augmentation de portance est obtenue en adoptant une incidence plus à cabré (augmentation du C_z), elle est quantifiée par le facteur de charge.

Le facteur de charge est donc égal au rapport de la portance en virage (égale, nous l'avons vu, à la force provoquant l'écrasement) sur le poids.

- Si ce rapport vaut 1, la portance est égale au poids, l'inclinaison est nulle.
- Si ce rapport vaut 2, la portance vaut deux fois le poids de l'avion. La force que vous subissez vaut deux fois la force que vous subissez à inclinaison nulle, c'est-à-dire votre poids. Vous avez la sensation de peser deux fois plus lourd. Et les efforts subis par la structure de l'avion sont également deux fois plus importants qu'à inclinaison nulle.

Le tableau suivant nous donne quelques valeurs de « n » en fonction de l'inclinaison :

Inclinaison	Facteur de charge	Augmentation de la portance
30 °	1,15	100 %
30 °	1,15	115 %
45 °	1,45	140 %
60 °	2,15	100 %

Remarquons que ces valeurs de « n » en fonction de l'inclinaison sont valables pour tout avion. Le facteur de charge vaut par exemple 1 quel que soit le poids de l'avion, si l'inclinaison des ailes est nulle.

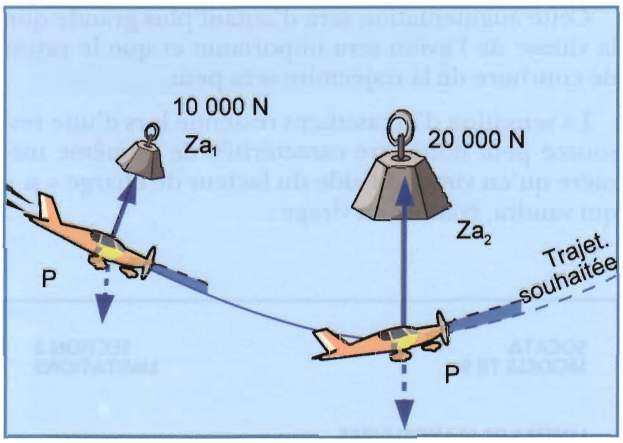


Fig. 154 – *Au cours d'une ressource, la portance augmente momentanément.*

Application numérique

On considérera dans toute la suite que l'accélération de la pesanteur, notée « g », vaut 10 m/s/s. Ainsi, une masse de 10 kg correspond à une force (appelée « poids ») de :

$$10\ kg \times g = 10\ kg \times 10\ m/s/s = 100\ N$$

(le poids s'exprime en effet en newtons)

Pour avoir une idée des efforts supportés par les surfaces portantes d'un avion en virage, envisageons le cas d'un TB 9 dont la masse vaut 1 000 kg.

En ligne droite, la portance générée par les surfaces portantes est égale au poids de l'avion, soit :

Portance en ligne droite =
1 000 kg × 10 m/s/s = 10 000 N

En virage à 60 ° d'inclinaison, la portance est égale à 2 fois le poids de l'avion (voir tableau ci-dessus), soit :

Portance en virage à 60 ° =
10 000 N × 2 = 20 000 N

En virage à 60 °, les surfaces portantes doivent donc supporter les efforts que nécessiterait le vol en ligne droite d'un avion d'un poids égal à 20 000 N, soit une masse de 2 000 kg, c'est-à-dire 2 tonnes !

En évolution

L'augmentation du facteur de charge apparaît dans toute évolution au cours de laquelle la portance varie. Lors d'une **ressource**, par exemple, on passe rapidement d'une trajectoire descendante à une trajectoire montante, par augmentation momentanée de la portance.

Si un géant pouvait suspendre l'avion par un dynamomètre (fig. 154) qui se substituerait à la portance, on constaterait que le dynamomètre s'allonge au moment de la ressource. La portance voit donc sa valeur augmenter lors de ce type d'évolution.

Cette augmentation sera d'autant plus grande que la vitesse de l'avion sera importante et que le rayon de courbure de la trajectoire sera petit.

La sensation d'écrasement ressentie lors d'une ressource peut donc être caractérisée de la même manière qu'en virage à l'aide du facteur de charge « n » qui vaudra, comme en virage :

$$n = \frac{\text{Portance}}{\text{Poids}}$$

Pour terminer ce paragraphe, ne perdons pas de vue une chose très importante : l'avion subit le même facteur de charge que nous lors d'une évolution.

L'augmentation des contraintes qu'il subit est proportionnelle au facteur de charge caractérisant l'évolution (virage, ressource). Ainsi, sous facteur de charge 2, nous avons vu que les efforts en certains points de la structure sont deux fois plus importants qu'en palier à inclinaison nulle !

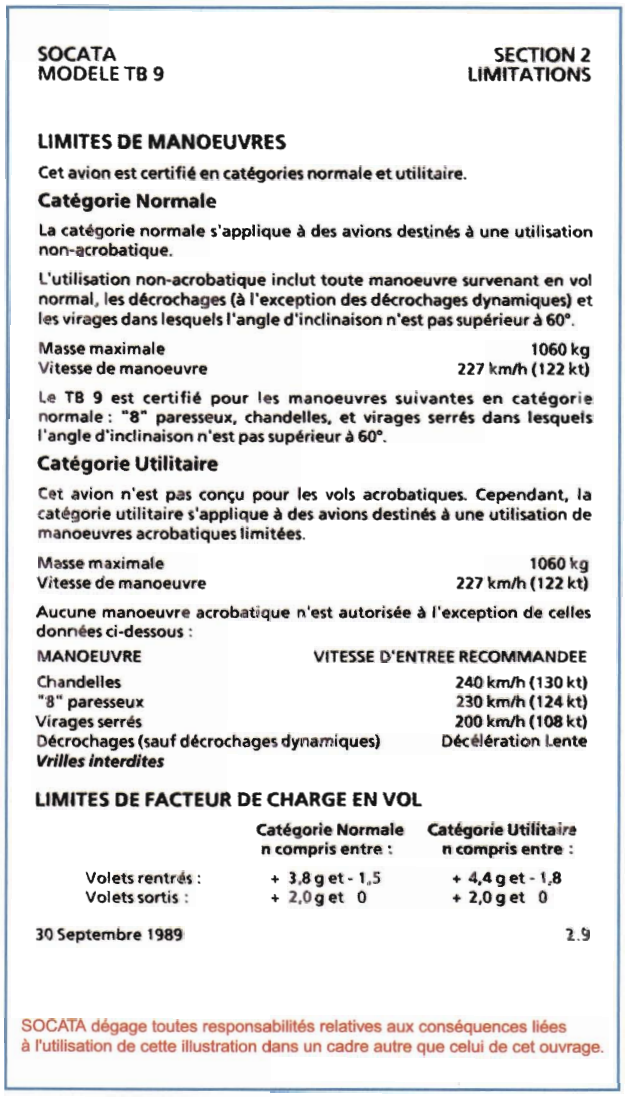
La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge allant de + 3,8 à – 1,5. Les avions de voltige, quant à eux, sont certifiés pour des valeurs de facteur de charge allant de + 6 à – 4 en moyenne.

Ces valeurs sont bien entendu des limites, qui figurent dans le manuel de vol de chaque avion, et au-delà desquelles des déformations permanentes risquent d'apparaître sur la structure de l'avion. Si les valeurs limites sont franchement dépassées, il peut y avoir rupture de pièces essentielles comme le longeron ou le revêtement.

Note

Par convention, un avion subit un facteur de charge positif quand la portance est orientée dans le sens intrados / extrados, et négatif dans le sens contraire. En vol rectiligne stabilisé sur le dos, par exemple, le facteur de charge vaut 1.

Une dernière remarque : n'oubliez pas que les passagers sont comme vous sensibles au facteur de charge (sensation d'être lourd sous facteur de charge supérieur à 1, sensation d'apesanteur sous facteur de charge proche de 0 et sensation d'être projeté vers le haut sous facteur de charge négatif). Limiter le facteur de charge en évolution, c'est donc aussi veiller au confort des passagers.



SOCATA
MODELE TB 9

SECTION 2
LIMITATIONS

LIMITES DE MANOEUVRES

Cet avion est certifié en catégories normale et utilitaire.

Catégorie Normale

La catégorie normale s'applique à des avions destinés à une utilisation non-acrobatique.

L'utilisation non-acrobatique inclut toute manoeuvre survenant en vol normal, les décrochages (à l'exception des décrochages dynamiques) et les virages dans lesquels l'angle d'inclinaison n'est pas supérieur à 60°.

Masse maximale	1060 kg
Vitesse de manoeuvre	227 km/h (122 kt)

Le TB 9 est certifié pour les manoeuvres suivantes en catégorie normale : "8" paresseux, chandelles, et virages serrés dans lesquels l'angle d'inclinaison n'est pas supérieur à 60°.

Catégorie Utilitaire

Cet avion n'est pas conçu pour les vols acrobatiques. Cependant, la catégorie utilitaire s'applique à des avions destinés à une utilisation de manoeuvres acrobatiques limitées.

Masse maximale	1060 kg
Vitesse de manoeuvre	227 km/h (122 kt)

Aucune manoeuvre acrobatique n'est autorisée à l'exception de celles données ci-dessous :

MANOEUVRE	VITESSE D'ENTREE RECOMMANDEE
Chandelles	240 km/h (130 kt)
"8" paresseux	230 km/h (124 kt)
Virages serrés	200 km/h (108 kt)
Décrochages (sauf décrochages dynamiques)	Décélération Lente
Vrilles interdites	

LIMITES DE FACTEUR DE CHARGE EN VOL

	Catégorie Normale n compris entre :	Catégorie Utilitaire n compris entre :
Volets rentrés :	+ 3,8 g et - 1,5	+ 4,4 g et - 1,8
Volets sortis :	+ 2,0 g et 0	+ 2,0 g et 0

30 Septembre 1989 2.9

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 155 – *Les facteurs de charge limites sont indiqués dans le manuel de vol, section « Limitations ».*

Comment connaître les facteurs de charge limites de votre avion

Cette information figure dans le manuel de vol, **section 2 – Limitations**. Voici un extrait donné à titre d'exemple du manuel de vol du TB 9 (fig. 155).

FACTEUR DE CHARGE	INCLINAISON	AUGMENTATION DE LA VITESSE DE DÉCROCHAGE	VITESSE DE DÉCROCHAGE		
			VOLETS RENTRÉS	VOLETS DÉCOLLAGE	VOLETS ATTERRISSAGE
1	0 °	+ 0 %	58 kt	54 kt	50 kt
1,15	30 °	+ 10 %	62 kt	58 kt	54 kt
1,4	45 °	+ 20 %	69 kt	65 kt	59 kt
2	60 °	+ 40 %	81 kt	76 kt	70 kt

Appliquez cet exemple à votre manuel de vol

Un pilote volant en palier, qui prend un virage à vitesse constante, voit sa marge par rapport au décrochage diminuer.

La « catégorie » d'aéronef, catégorie Normale (dite catégorie « N »), ou catégorie Utilitaire (dite catégorie « U »), caractérise les règles opérationnelles d'utilisation de l'aéronef.

La catégorie N correspond à une utilisation non acrobatique de l'aéronef, ce qui veut dire qu'il est possible d'effectuer toute manœuvre ou évolution normales (virages à une **inclinaison** inférieure ou égale à 60 °, montées, descentes, etc.) ainsi que les décrochages non dynamiques (le décrochage dynamique est un décrochage à grande vitesse), les « huit paresseux » et les chandelles.

La catégorie U correspond à une utilisation acrobatique limitée. Elle comprend toutes les manœuvres de la catégorie normale, auxquelles on ajoute les vrilles si l'aéronef est approuvé pour ce type de manœuvre, et les virages à plus de 60 ° d'inclinaison.

Facteur de charge et vitesse de décrochage

Nous avons vu que lorsque le facteur de charge augmente, la portance augmente aussi. Le facteur de charge et la vitesse de décrochage sont de même intimement liés. Lorsque l'un augmente, l'autre augmente aussi.

Note

Le décrochage sera vu plus loin dans cet ouvrage.

Par exemple, lorsque l'inclinaison augmente, nous avons vu que le facteur de charge augmente aussi. Ainsi, lorsque l'on incline l'avion, la vitesse de décrochage augmente. Le tableau de la page précédente donne les variations de la vitesse de décrochage avec le facteur de charge.

Note

L'augmentation de la vitesse de décrochage est fonction du facteur de charge et se calcule avec la formule :

$$V_{sn} = V_s \sqrt{n}$$

V_s est la vitesse de décrochage dans la configuration d'avion étudié.

LES COMPENSATEURS

Plaçons-nous dans le cas du vol stabilisé. Nous déplaçons comme auparavant une lourde sacoche de l'arrière vers l'avant de l'appareil. Le centre de gravité se déplace vers l'avant et il faut agir sur la gouverne de profondeur pour réaligner la portance et le poids (*Cf. Étude des trajectoires dans le plan vertical en page 138*).

Cela entraîne un inconfort de pilotage nuisible à la qualité du vol : le pilote doit se concentrer sur cet effort, et une partie de son attention est « gaspillée » dans cette tâche. Le pilotage est désagréable et fatigant.

Il existe pour cette raison des compensateurs de profondeur et, sur certains avions, des compensateurs de direction et d'aileron. Ces systèmes ont pour but d'annuler les efforts de longue durée produits sur les commandes. Ils sont appelés « compensateurs de régime ».

Comment fonctionnent-ils ?

Le but est d'arriver à maintenir le braquage de la gouverne dans la position souhaitée sans effort de la part du pilote. Il faut donc la placer dans une situation d'équilibre. Braquée comme ci-dessous (fig. 156a), la gouverne subit une force aérodynamique qui tend à la ramener à braquage nul. Nous souhaiterions pouvoir la maintenir dans une position braquée.

Comment faire ?

Nous avons un système articulé autour d'un axe de rotation qui subit une force tendant à l'entraîner en rotation (vers sa position neutre).

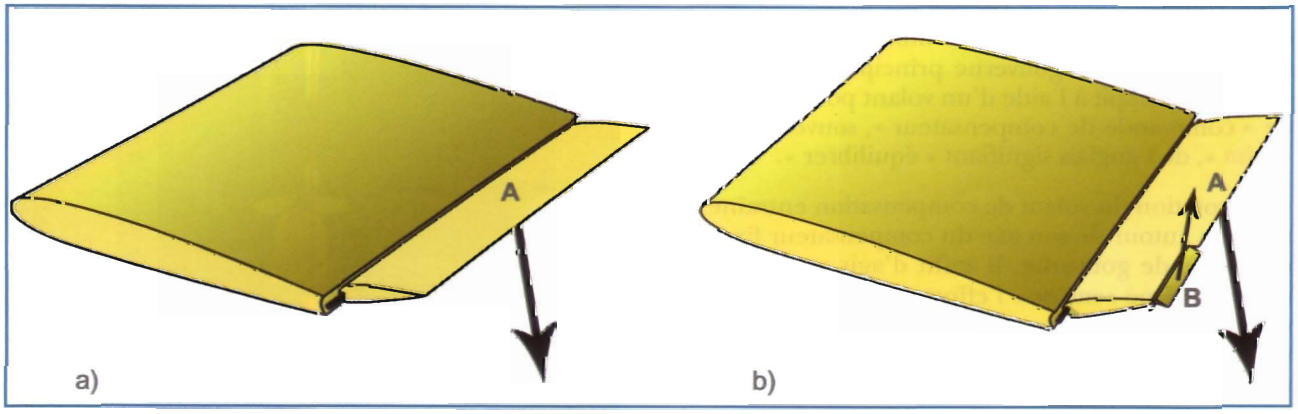


Fig. 156 – *Le compensateur de régime annule l'effort sur la commande en mettant la gouverne en équilibre.*

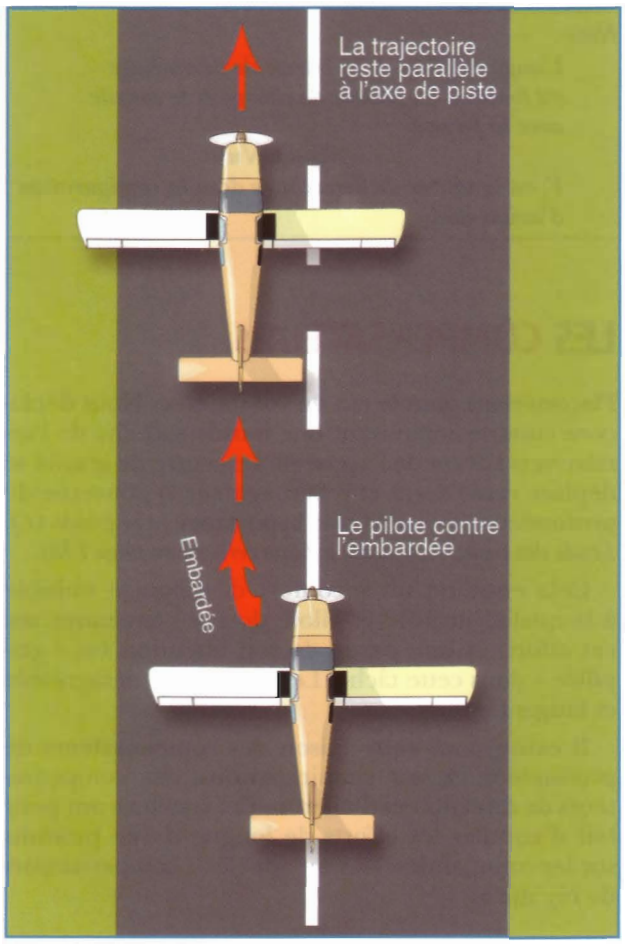


Fig. 157

Il nous suffit de générer au bout de la gouverne une force bien moins importante, en appliquant le principe du bras de levier, et dont le moment par rapport à la charnière annule le moment de rotation créé par la force aérodynamique (fig. 156b).

Le bilan est une situation d'équilibre de la gouverne et une résultante totale (somme des forces en A et B) non nulle rendant la gouverne efficace. La gouverne produit donc une force aérodynamique permettant de diriger l'avion, mais ne nécessitant pas d'effort de la part du pilote.

Le compensateur de régime est donc une petite surface qui s'apparente à une mini-gouverne placée à l'extrémité de la gouverne principale. Elle est réglable du cockpit à l'aide d'un volant portant le nom de « commande de compensateur », souvent appelé « **trim** », de l'anglais signifiant « équilibrer ».

La rotation du volant de compensation entraîne la rotation autour de son axe du compensateur fixé en extrémité de gouverne. Il suffit d'agir sur le volant dans le même sens que l'effort produit : si vous devez pousser le manche pour maintenir le régime de vol, vous tournez le volant de trim vers l'avant jusqu'à annulation de l'effort. Le rôle du compensateur de régime est d'annuler l'effort aux commandes produit lors d'un changement de régime de vol.

Notons qu'il existe aussi des « compensateurs d'évolution », qui diminuent l'effort produit par le pilote sans l'annuler. Ils fonctionnent suivant le principe du compensateur de régime en créant une petite force qui compense, sans l'annuler, le moment dû à la force aérodynamique produite par la gouverne. Mais leur fonctionnement est automatique et le pilote n'a pas à les manœuvrer.

LE DÉCOLLAGE

Le décollage se décompose en quatre phases distinctes :

1. L'alignement sur la piste

Il s'effectue à vitesse réduite en utilisant le minimum de piste. L'avion doit être préparé et seules les actions prévues par la check-list alignement doivent être entreprises. Il importe que l'avion soit parfaitement aligné avant la mise en puissance. C'est le pilote aux commandes qui doit être parfaitement aligné sur l'axe de piste, ce qui facilite le maintien de l'axe pendant le décollage.

2. La mise en puissance

Cette dernière engendre un écoulement dissymétrique de l'air autour du fuselage. L'avion a alors tendance à s'écarter de l'axe (fig. 157). Une action sur le palonnier pour maintenir l'alignement est nécessaire, celle-ci allant en diminuant au fur et à mesure que la vitesse augmente.

Attention à l'erreur de parallaxe, lorsque vous êtes aux commandes d'un avion biplace côte à côte. En effet vous êtes assis à gauche de l'axe longitudinal ; ne prenez pas un repère dans l'axe passant par

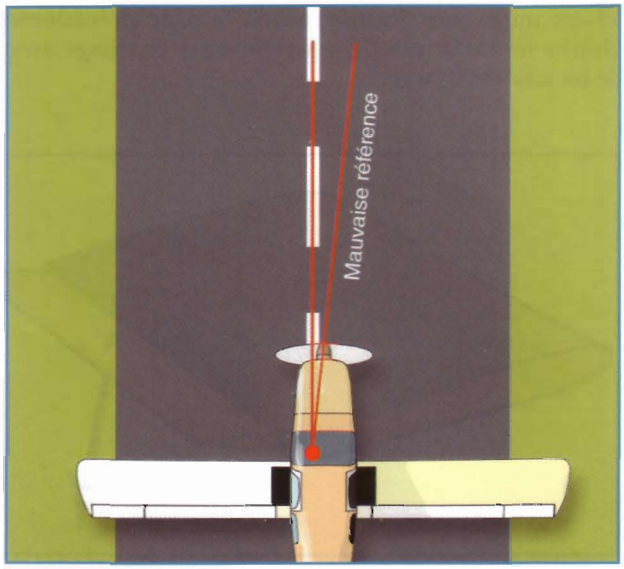


Fig. 158

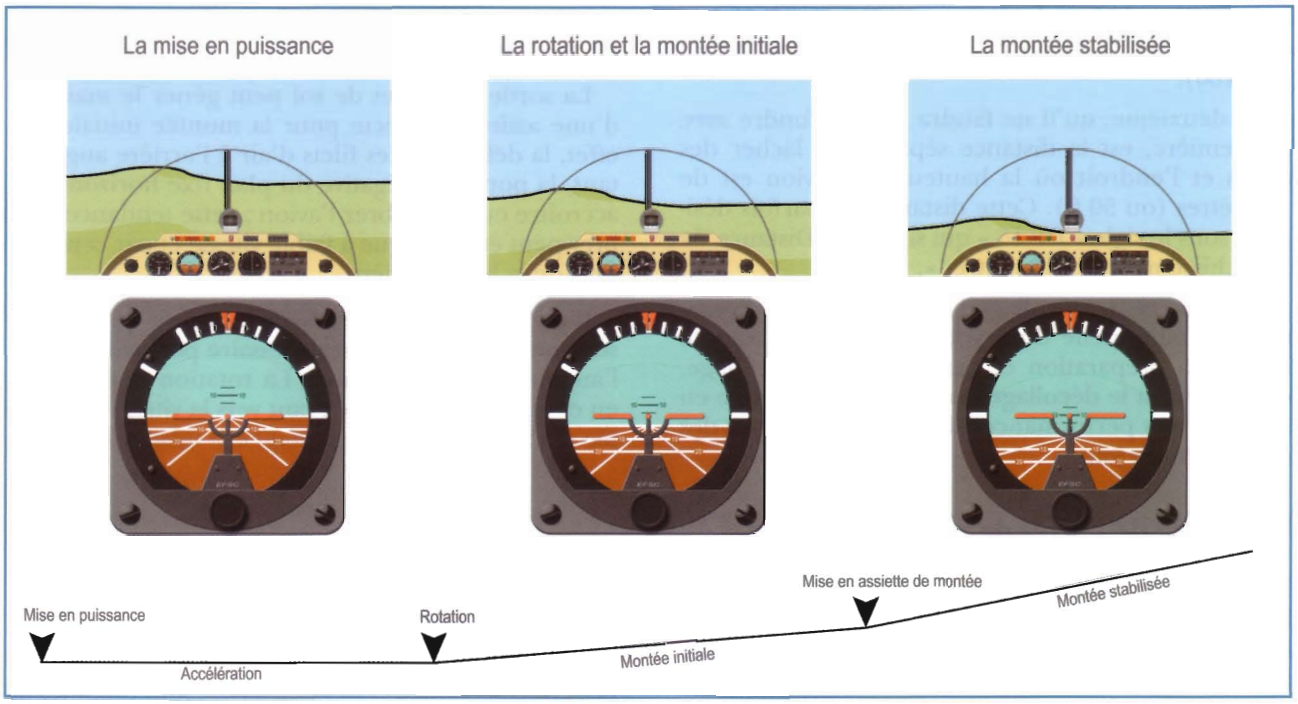


Fig. 159 – *Le décollage.*

la casserole de l'hélice mais un repère face à vous (fig. 158).

3. La rotation

Lorsque la vitesse de décollage est atteinte, vous cabrez l'avion vers une assiette intermédiaire de montée (fig. 159) qui permet à l'avion de décoller tout en continuant d'accélérer vers la vitesse associée au type de montée choisi.

4. La montée

Dès que la vitesse de montée est atteinte vous affichez l'assiette de montée.

Symétrie du vol

Pendant la phase d'accélération et durant toute la phase de montée, il est nécessaire de contrôler la symétrie du vol. Les conditions, vitesse faible et pleine puissance, engendrent un **dérapage** si celui-ci n'est pas maîtrisé par une action de la gouverne de direction. L'instrument qui vous renseigne sur la symétrie du vol est la **bille**.

Un vol symétrique est nécessaire pour bénéficier des meilleures performances d'accélération de votre appareil et ainsi atteindre plus rapidement la vitesse de montée.

Pour ramener l'appareil en vol symétrique vous devez agir sur le palonnier dans le sens indiqué par la bille.

Performance au décollage

Définition des différentes distances associées au décollage

Nous en distinguerons deux :

- la distance de roulement au décollage ;
- la distance de décollage.

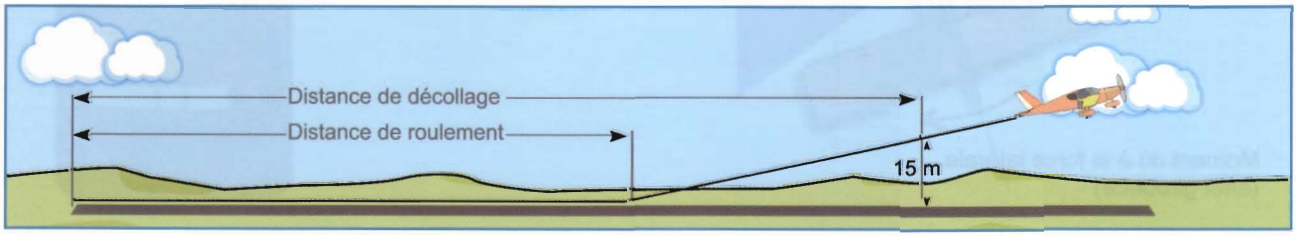


Fig. 160 – *Les deux distances associées aux performances au décollage.*

La première désigne la distance qui sépare le lâcher des freins de l'endroit où les roues quittent le sol (fig. 160).

La deuxième, qu'il ne faudra pas confondre avec la première, est la distance séparant le lâcher des freins et l'endroit où la hauteur de l'avion est de 15 mètres (ou 50 ft). Cette distance est parfois désignée sous le sigle « DF 15 » qui signifie « Distance de Franchissement des 15 mètres ».

La distance de décollage correspond à une limitation opérationnelle dont vous devrez tenir compte lors de la préparation et l'exécution du décollage, et qui rendra le décollage possible ou impossible en fonction des performances de votre appareil et des conditions du jour.

Influence de l'effet de sol au décollage

Nous avons vu dans la phase 1 la formation des tourbillons marginaux et leur conséquence : la traînée induite. Cette traînée induite a une influence nuisible au décollage.

En effet, tant que l'avion est en effet de sol, la traînée induite est négligeable mais sera importante à la sortie de l'effet de sol. Ainsi, une forte assiette à cabrer à la rotation fait sortir rapidement de l'effet de sol et l'augmentation de la traînée induite est rapidement au maximum : l'avion risque de s'enfoncer et le décrochage peut survenir.

La sortie de l'effet de sol peut gêner le maintien d'une assiette correcte pour la montée initiale ; en effet, la déflexion des filets d'air à l'arrière augmentant, la portance négative du plan fixe horizontal va accroître et faire cabrer l'avion ; cette tendance à cabrer peut être critique à faible vitesse et par centrage près de la limite arrière.

Il est donc nécessaire d'avoir à l'esprit qu'un léger surcroît de puissance est nécessaire pour compenser l'augmentation de traînée. La rotation doit se faire en douceur tout en accélérant vers la vitesse de montée recommandée *(cf. le § relatif à la rotation ci-dessus).*

LES EFFETS SECONDAIRES DES GOUVERNES

Les effets secondaires des gouvernes sont rappelés ici à titre indicatif car ils ne sont guère perceptibles sur les avions modernes ; ils sont toutefois bien présents sur les planeurs et moto-planeurs mais aussi sur des avions anciens encore utilisés dans les clubs ou avions de collection.

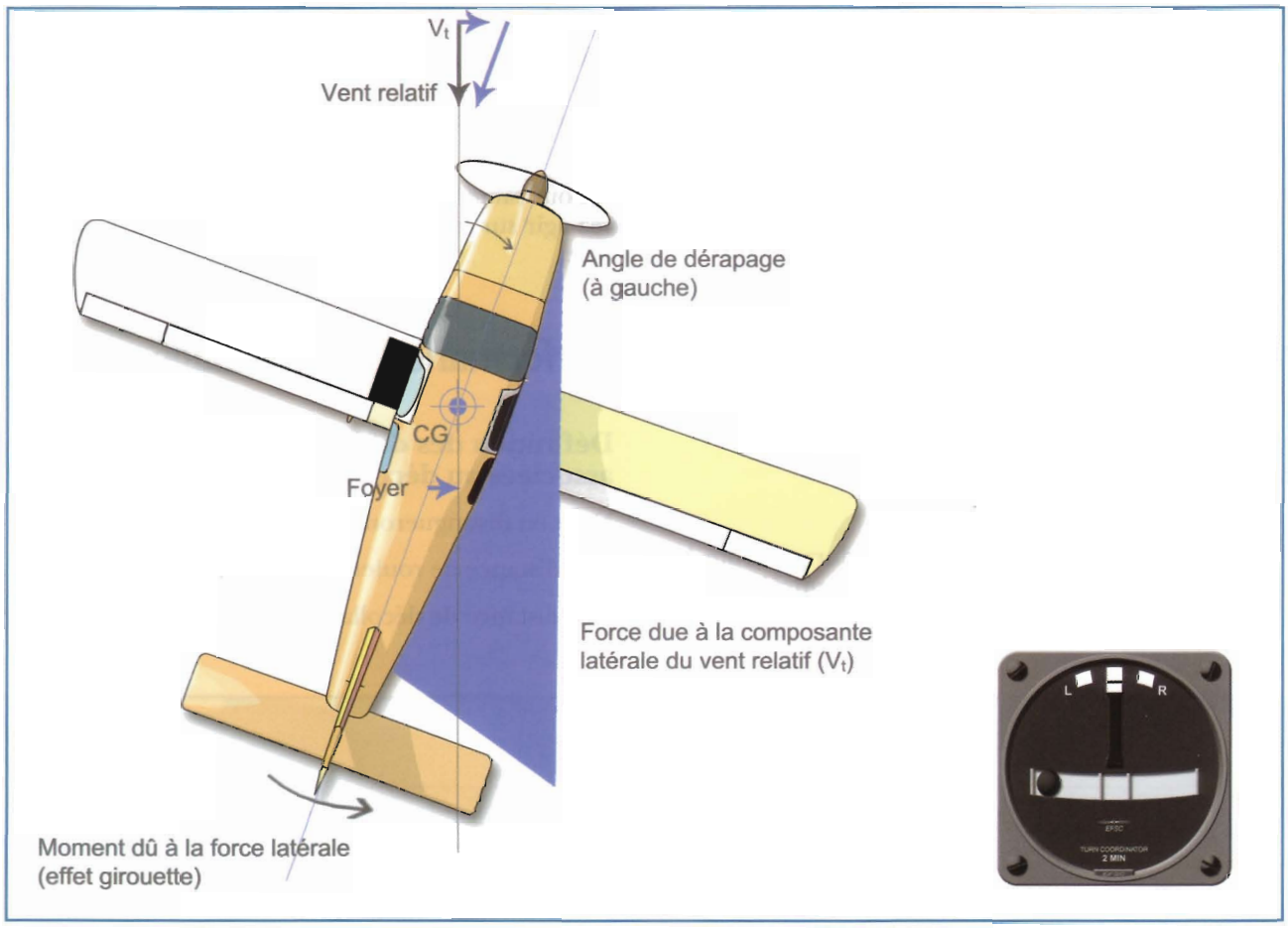


Fig. 161 – *Le dérapage.*

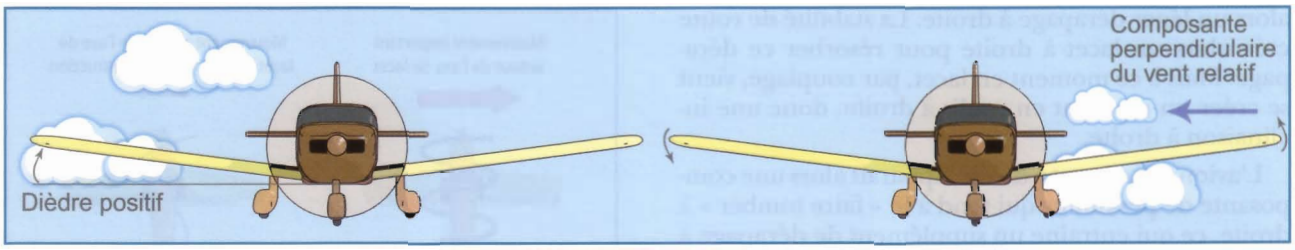


Fig. 162 – *Le dérapage d'un avion ayant un dièdre positif entraîne un roulis.*

Description sommaire des phénomènes

Le lacet inverse

Lors d'une mise en virage à droite par exemple, l'aileron de gauche se baisse en provoquant une traînée supplémentaire ; cette traînée va provoquer, à son tour, un mouvement de lacet à gauche plus ou moins sensible selon l'avion. Ce mouvement est dont contraire au mouvement souhaité, c'est le « lacet inverse ». Notons que sur les avions certifiés aujourd'hui, les constructeurs ont, par des artifices comme le braquage différentiel des ailerons, minimisé ce phénomène, mais il existe malgré tout un défaut de symétrie à la mise en virage et en sortie de virage qui nécessite une action sur la gouverne de direction (dans la même sens que l'action au manche) pour maintenir une symétrie parfaite, surtout dans la plage du vol lent.

Le roulis induit

Lors d'une rotation autour de l'axe de lacet due au braquage de la gouverne de direction à droite par exemple, l'aile gauche extérieure va plus vite que l'aile droite intérieure ce qui provoque une différence de portance qui entraîne inclinaison à droite : c'est le roulis induit.

Le moment d'amortissement en lacet

Lors d'une rotation autour de l'axe de lacet due à un braquage de la gouverne de direction, l'aile extérieure est plus rapide mais a une traînée plus forte que l'aile intérieure plus lente ce qui provoque un mouvement de lacet tendant à s'opposer à la rotation en lacet commandée.

Le dérapage

Quand le vent relatif n'est pas parallèle à l'axe longitudinal de l'avion on dit qu'il y a dérapage (fig. 161). Lors d'un dérapage, certains phénomènes apparaissent. Ils peuvent être nuisibles, voire dangereux pour le vol : L'aile sous le vent est légèrement masquée par le fuselage. Elle génère donc une portance moins importante que la portance de l'aile au vent. Il en résulte un couple qui engage l'avion en roulis.

Lorsque la vitesse de l'avion est importante, le roulis est simplement contré par une action sur les ailerons, le problème se solde seulement par un supplément de traînée générée par le braquage des ailerons.

Par contre, à faible vitesse , ce masquage peut être très dangereux car le risque de décrochage dissymétrique résultant peut engendrer un départ en vrille *(cf. « les situations délicates » en page 333)*.

Le dérapage est donc à proscrire surtout aux faibles vitesses.

La stabilité de route (ou effet girouette)

Elle s'oppose au dérapage ; en effet, la composante latérale du vent relatif s'exerçant sur les surfaces verticales, crée une force latérale (cf Fig.60) engendrant de ce fait un moment en lacet qui tend à annuler le dérapage.

L'effet dièdre

Le dièdre est l'angle formé par l'aile et l'horizontale (fig. 162). Il est positif si l'extrémité de l'aile est plus haute que l'horizontale et négatif dans le cas contraire. Notons qu'un avion à ailes hautes ou en flèches équivaut à un dièdre positif.

Dans le cas d'un dérapage (à gauche comme sur la fig. 161), la composante perpendiculaire au vent relatif crée une augmentation d'incidence sur l'aile au vent (aile gauche) ce qui engendre un moment en roulis à droite qui a tendance à diminuer le dérapage par rotation du vecteur vitesse vers la droite.

Nécessité d'un compromis entre « stabilité de route » et « effet dièdre »

Les constructeurs s'arrangent pour que les avions volent à peu près sans dérapage. On pourrait se demander pourquoi la stabilité de route ne suffirait pas à la poursuite de cet objectif. Supposons qu'un avion subisse une rafale de vent par la droite. Apparaît

alors un léger dérapage à droite. La stabilité de route crée alors un lacet à droite pour résorber ce dérapage. Mais à ce moment en lacet, par couplage, vient se créer un moment en roulis à droite, donc une inclinaison à droite.

L'avion s'inclinant à droite, apparaît alors une composante de pesanteur qui tend à le « faire tomber » à droite, ce qui entraîne un supplément de dérapage à droite, d'où un nouveau moment en lacet qui cherche à le résorber et ainsi de suite. Ce moment est divergent et porte le nom de spirale.

La spirale est ce moment naturel engendré par la stabilité de route et le moment en roulis dû à la vitesse de lacet.

La stabilité de route contribue à cette divergence aussi faut-il trouver les moyens de contrer cette instabilité.

Deux choses vont s'opposer à ces phénomènes :

- l'effet dièdre qui va s'opposer au moment en roulis en créant un moment en roulis contraire ;
- le moment d'amortissement en lacet même si ce dernier est faible sur les avions modernes comme on l'a vu.

Si le produit des effets qui contrent la spirale est égal au produit des effets qui engagent, on dit que l'avion est « stable spirale ». Il faut donc parvenir à un judicieux équilibre de tous ces moments pour que l'avion « vole droit » sans intervention, du pilote.

LES EFFETS MOTEUR

Effet sur l'assiette

Couple cabreur ou piqueur

L'assiette est l'angle que forment la référence fuselage et l'horizontale.

A chaque variation de la puissance, on observe un effet sur l'assiette.

A vitesse stabilisée, une **augmentation de la puissance** tend à faire **cabrer** l'avion. Inversement, une **diminution de la puissance** tend à faire **piquer** l'avion.

Moyen de correction

Pour contrer cet effet, vous devez agir sur la gouverne de profondeur.

Effet sur la symétrie du vol

Souffle hélicoïdal

L'écoulement de l'air est hélicoïdal dans le sillage de l'hélice. Cet effet est d'autant plus important que le régime est fort et la vitesse faible (cas du décollage par exemple).

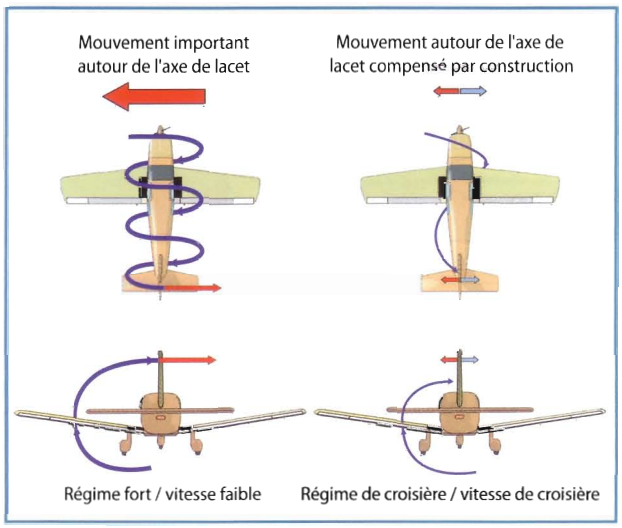


Fig. 163

Son influence sur les surfaces verticales tend à modifier l'orientation du plan de symétrie. Le constructeur résout le cas du vol en croisière par un léger désaxage du moteur et de la dérive.

Moyens de correction

A toutes les autres vitesses ou régimes moteur, vous devez agir sur la gouverne de direction pour maintenir le vol symétrique.

Il est à noter que le calage de l'empennage vertical n'a aucun effet lorsque la vitesse de déplacement de l'avion est nulle ou négligeable.

La meilleure illustration en est la mise en puissance au décollage. Au cours de cette phase le souffle hélicoïdal de l'hélice constitue pratiquement le seul vent relatif frappant l'empennage vertical, d'ou la tendance à embarquer (fig. 163).

UNITÉ D'INSTRUCTION II.3

L'AÉRODROME

La vigie ou le bâtiment technique

En général, c'est le bâtiment le plus visible sur un aérodrome à cause de sa hauteur. Elle permet d'avoir une vue d'ensemble de l'aérodrome. On l'appelle aussi « tour de contrôle » ou « tour », bien que ce soit en fait le nom de l'organisme qui s'y trouve dans certains cas.

Elle abrite deux types d'organismes de la circulation aérienne, suivant que l'aérodrome est contrôlé ou non contrôlé :

- la **tour de contrôle** ou TWR (contrôlé) ;
- l'organisme **AFIS** (non contrôlé).

Fig. 164

L'aérodrome contrôlé

On appelle aérodrome contrôlé un aérodrome où le service du contrôle de la circulation aérienne est assuré. La circulation des aéronefs au sol et en vol y est soumise à une **clairance** délivrée par un contrôleur.

Sur une fréquence appelée « fréquence tour » (TWR) qui figure sur la carte d'aérodrome appelée carte VAC (pour « Visual Approach and landing Chart », ou carte d'approche à vue), le contrôleur vous donne des clairances auxquelles vous devez vous conformer. Ainsi, vos déplacements et toutes les actions qui leur sont liées (roulage, alignement sur la piste, décollage, etc.) devront avoir été approuvés ou autorisés par le contrôleur avant d'être engagés.

L'organisme qui est chargé du contrôle de la circulation d'aérodrome s'appelle simplement **l'organisme du contrôle d'aérodrome**, ou **tour de contrôle**. Il prend place dans la vigie.

Son objectif est d'ordonner et accélérer la circulation des aéronefs au sol et en circuit d'aérodrome d'une manière sûre et efficace. Pour cela, il prévient les collisions entre aéronefs en les espaçant, et en fournissant une information de trafic. Vous restez malgré tout responsable des collisions avec les autres aéronefs et avec les obstacles, et devrez donc rester très vigilant.

Sauf autorisation particulière, l'aérodrome contrôlé n'est accessible qu'aux aéronefs pouvant établir la liaison radio avec la tour de contrôle. Vous ne pourrez donc utiliser un tel aérodrome que si vous disposez à bord d'un équipement de radiocommunication en état de marche ou, si votre radio est en panne, que si vous vous estimez en situation d'urgence.

Au premier contact, l'organisme de contrôle vous transmettra les paramètres de l'aérodrome : piste en service, vent, nébulosité, visibilité, température, QNH, QFE, état des pistes, niveau de transition (si nécessaire) et autres consignes particulières éventuelles.

Les paramètres qui concernent directement la sécurité (piste en service, calage altimétrique) ainsi que par la suite, les altitudes, les fréquences, les codes pour le transpondeur, les autorisations de décollage ou atterrissage, devront être systématiquement collationnés ; le **collationnement** consiste à répéter les paramètres ou instructions **strictement** dans les mêmes termes lors de l'accusé de réception des messages.

Sur les aérodromes les plus importants, les paramètres sont transmis par un système automatique d'information de région terminale : **ATIS** (pour **A**utomatic **T**erminal **I**nformation **S**ervice) ; chaque enregistrement est identifié par une lettre (Information Alpha, Information Bravo…) qui sert de référence pour signaler la validité des informations disponibles.

Lorsque qu'un ATIS est disponible, vous devez l'écouter avant de contacter l'organisme du contrôle et lui signaler la référence des informations reçues ; ceci tient lieu de collationnement.

Un ATIS a normalement une portée opérationnelle de 80 NM au FL200 ; toutefois, sur les aérodromes ne recevant que du trafic VFR , un ATIS peut être installé avec des faibles portées ; ils sont alors désignés

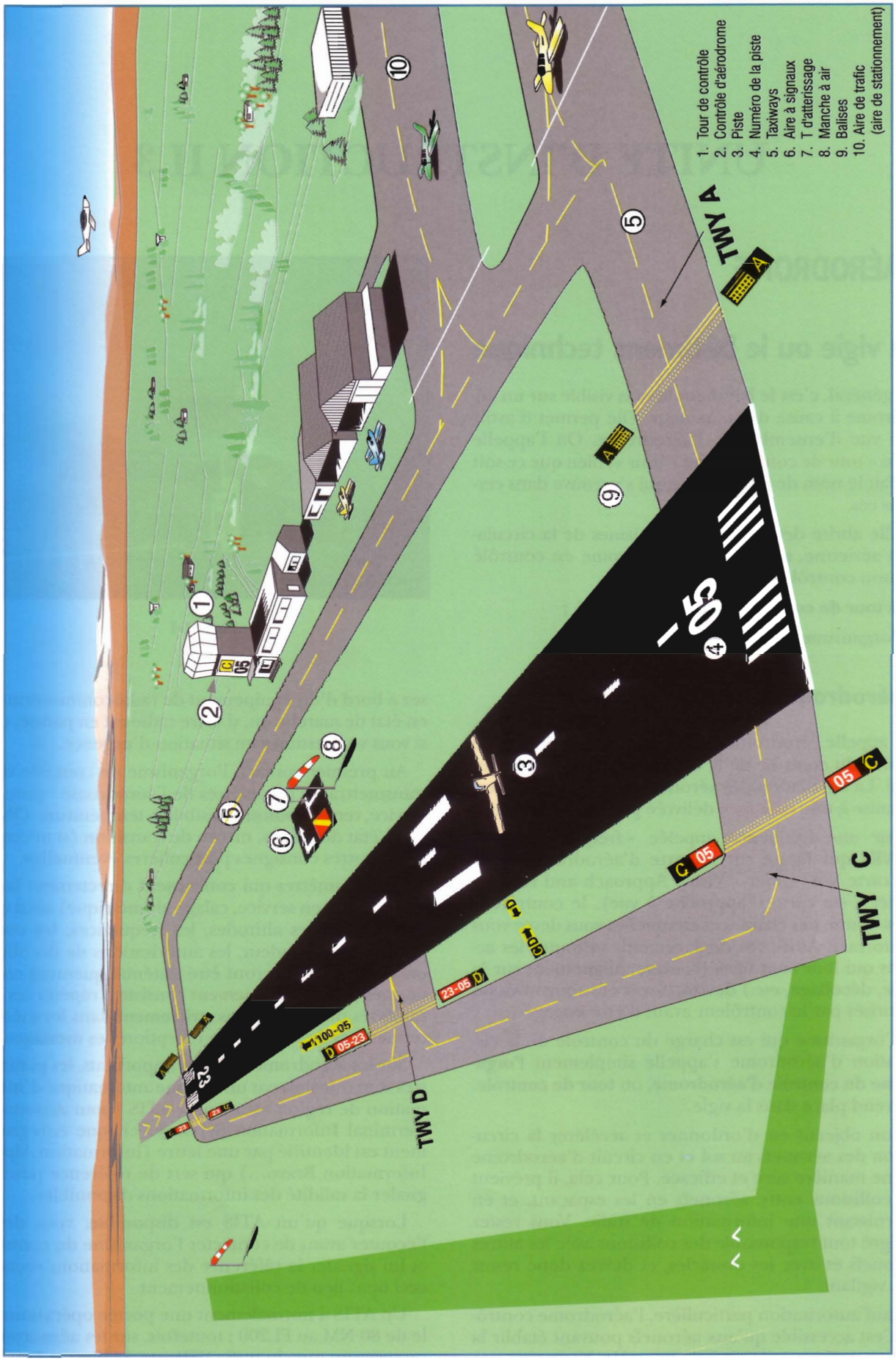

1. Tour de contrôle
2. Contrôle d'aérodrome
3. Piste
4. Numéro de la piste
5. Taxiways
6. Aire à signaux
7. T d'atterrissage
8. Manche à air
9. Balises
10. Aire de trafic (aire de stationnement)
TWY A
TWY C
TWY D
05
23-05 D
100-05
05-23 D
C 05
05 C

Fig. 165

ATIS/V lorsque la portée correspond à celle requise pour une TWR ou **ATIS/S** lorsqu'il ne bénéficie d'aucune protection : il n'est alors utilisable que par des aéronefs évoluant dans la circulation au sol sur l'aérodrome.

Procédures en cas de panne radio à l'arrivée

Deux cas peuvent se présenter :

- Vous avez déjà établi le contact avec le contrôleur, qui vous a autorisé à vous intégrer dans la circulation d'aérodrome. Vous agirez alors comme il vous a autorisé et suivrez éventuellement les signaux lumineux que l'on vous adressera de la vigie *(voir le paragraphe « signaux » page 156).*
- Vous n'avez pas encore établi le contact radio avec la tour de contrôle. Vous ne pourrez alors utiliser l'aérodrome qu'en cas d'urgence (problème de moteur, malade à bord nécessitant des soins, etc.), que vous devrez justifier après votre atterrissage. Si vous n'êtes pas dans une situation d'urgence, vous devrez vous dérouter vers un aérodrome ne nécessitant pas d'équipement radio.

L'aérodrome non contrôlé

C'est un aérodrome sur lequel le service du contrôle d'aérodrome n'est pas rendu. Ici, vos déplacements **ne sont pas soumis à la clairance** préalable d'un contrôleur.

Vous pourrez rencontrer deux types d'aérodromes non contrôlés :

- Les aérodromes munis d'un organisme AFIS (« Aerodrome Flight Information Service » pour service d'information de vol d'aérodrome). Il est géré par un agent AFIS, qui n'est pas un contrôleur, mais qui vous fournira par radio les paramètres de l'aérodrome s'il les a (piste en service, vent, visibilité, types de nuages et hauteur de leur base, température, pression QNH) et une information sur la présence d'autres aéronefs au voisinage de l'aérodrome, dans la mesure ou ces aéronefs se sont fait connaître.

Notez bien la différence entre l'information de trafic fournie par le contrôle, et l'information de vol donnée par l'agent AFIS : la première vous assure que, sauf incident, vous serez prévenu de la présence de tout aéronef proche de vous (par exemple : « attention, trafic dans vos 3 heures, à 5 milles nautiques de vous »). L'information de vol, à l'inverse, ne vous donne qu'une information globale sur le trafic au voisinage de l'aérodrome (par exemple : « 3 avions en circuit de piste ») et ne vous garantit pas que vous serez prévenu de la proximité d'un autre appareil. C'est vous qui devrez déterminer la position des autres avions par une observation attentive de l'espace qui vous entoure.

L'organisme AFIS prend place dans la vigie, ou plus souvent dans le bâtiment technique qui regroupe aussi le bureau de piste et le bureau météorologie lorsqu'ils existent.

- Les aérodromes sans organisme de circulation aérienne, où vous pratiquerez **l'auto-information**, si vous êtes équipé d'une radio : vous transmettrez des comptes rendus de position et vos intentions sur la fréquence assignée à l'aérodrome, que vous trouverez sur la carte VAC.

Lorsque plusieurs fréquences de radiocommunication sont indiquées, l'auto-information se fait sur la première fréquence citée. En l'absence de fréquence particulière, l'auto-information se fait sur la fréquence 123,5 mHz sur les aérodromes et sur la fréquence 130,0 mHz sur les altiports (ces fréquences sont systématiquement rappelées sur les cartes VAC éditées par le SIA à partir d'août 2004).

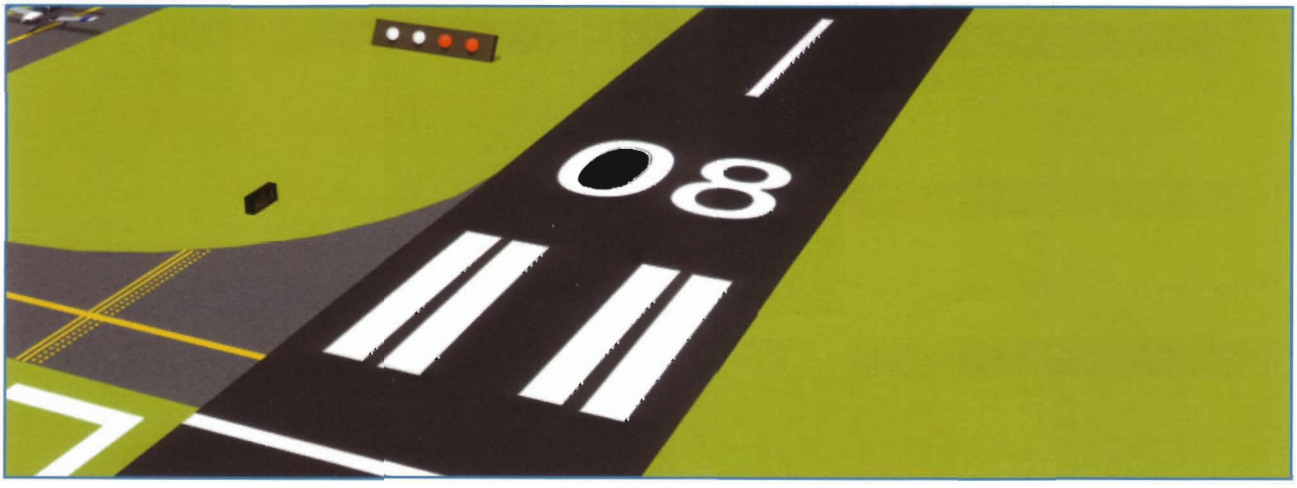


Fig. 166 – *Numéro de piste et marques de seuil*
(le nombre varie de 2 x 2 barres sur pistes étroites à 2 x 8 barres sur pistes très larges).

La piste de décollage et d'atterrissage

De dimensions variables, elle peut être en dur (béton, ciment ou goudron), en terre battue ou encore gazonnée.

Elle est caractérisée par son **numéro de piste** (fig. 166), qui est indiqué par des chiffres peints aux deux extrémités de la piste, lorsqu'elle est en dur. Ce numéro de piste correspond à son orientation magnétique en dizaines de degrés, arrondie à la plus proche. Par exemple, une piste orientée au 308 ° (magnétique) est numérotée 31. Son choix dépend de la direction d'où souffle le vent.

Lorsque vous atterrirez ou décollerez, le cap que vous lirez sur votre conservateur de cap devra correspondre, à 5 degrés près, au numéro de piste. Au sol, pour rejoindre la piste en service, on utilise des voies de circulation parfois appelées bretelles dans leur partie qui rejoint la piste. On utilise souvent leur désignation anglaise : **taxiway**.

Certains grands aérodromes possèdent plusieurs pistes, souvent parallèles (Toulouse-Blagnac). Les pistes sont alors désignées par les lettres L pour « Left » (gauche) ou R pour « Right » (droite) qui suivent le numéro de piste. Parfois, les pistes sont orientées dans des directions diverses (Paris-Orly).

Les aires de trafic, l'aire de mouvement, l'aire de manœuvre et l'aire d'atterrissage

On entend par « aires de trafic » les aires de stationnement, d'avitaillement en carburant et d'entretien. Elles regroupent donc l'aire de stationnement, la station d'avitaillement en carburant et les hangars.

L'« aire de manœuvre » est la partie de l'aérodrome qui doit être utilisée pour les décollages, les atterrissages et la circulation en surface des aéronefs à l'exclusion de l'aire de trafic : il s'agit donc de la piste d'atterrissage et des voies de circulation (taxiways).

L'« aire de mouvement » est l'ensemble des aires de trafic et de l'aire de manœuvre.

L'« aire d'atterrissage » est la partie de l'aire de mouvement servant à l'atterrissage et au décollage des aéronefs.

Les aires de stationnement peuvent être indiquées par une lettre qui désigne les différentes parties du parking suivie d'un chiffre qui indique le numéro du poste de stationnement. Sur les aérodromes où le nombre de mouvements est important, la gestion de la circulation des aéronefs au sol se fait sur une fréquence particulière : la « fréquence sol ».

Sur cette fréquence sont données les instructions de roulage depuis la sortie du parking jusqu'au point d'arrêt (limite au-delà de laquelle vous pénétrez sur la piste), ou de la piste jusqu'à l'entrée de l'aire de stationnement. Sur le parking, vous êtes responsable de votre roulage. Sur un aérodrome contrôlé, c'est la TWR qui gère la circulation dès la sortie de l'aire de trafic et de la circulation en vol dans la circulation d'aérodrome (circuit, et entrée / sortie).

Longueurs déclarées utilisables pour les décollages et atterrissages (fig. 167)

Certaines pistes sont dotées :

- d'un seuil décalé (**SDE** ou **DTHR** pour « Displaced THReshold » lorsqu'un obstacle se trouve dans la trouée d'approche et nécessite de se poser au delà du seuil physique de la piste ; ce déplacement réduit d'autant la distance utilisable pour l'atterrissage **LDA** pour « Landing Distance Available » (fig. 168a) ; les performances des aéronefs à l'atter-

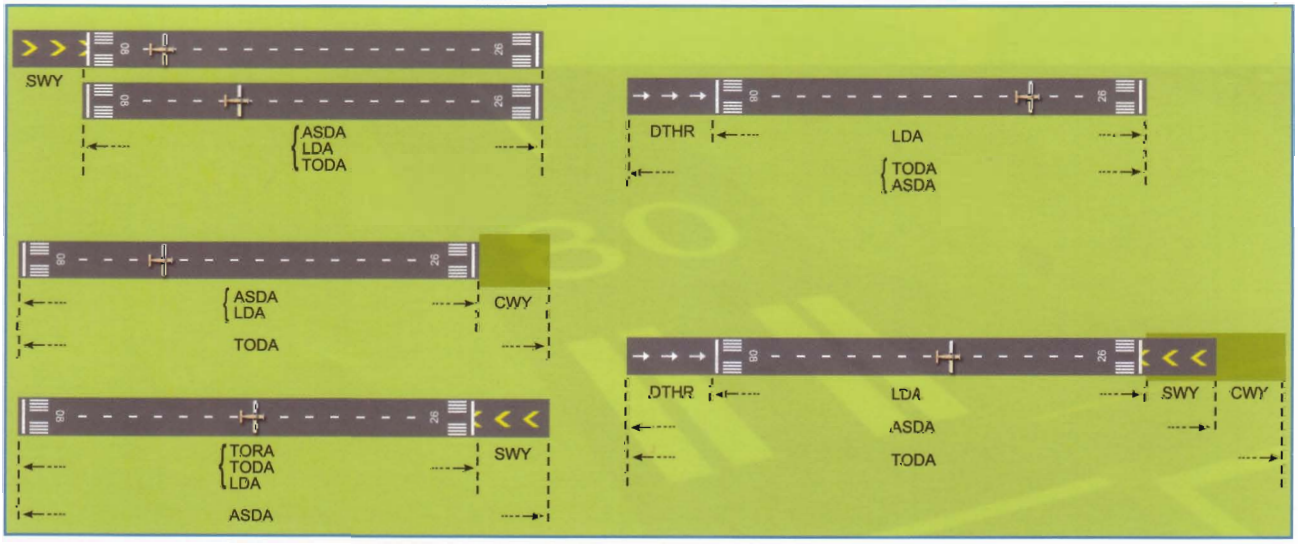


Fig. 167 – *Aire d'atterrissage – Distances déclarées (toutes les distances déclarées sont représentées pour des ATT/DEC de gauche à droite).*

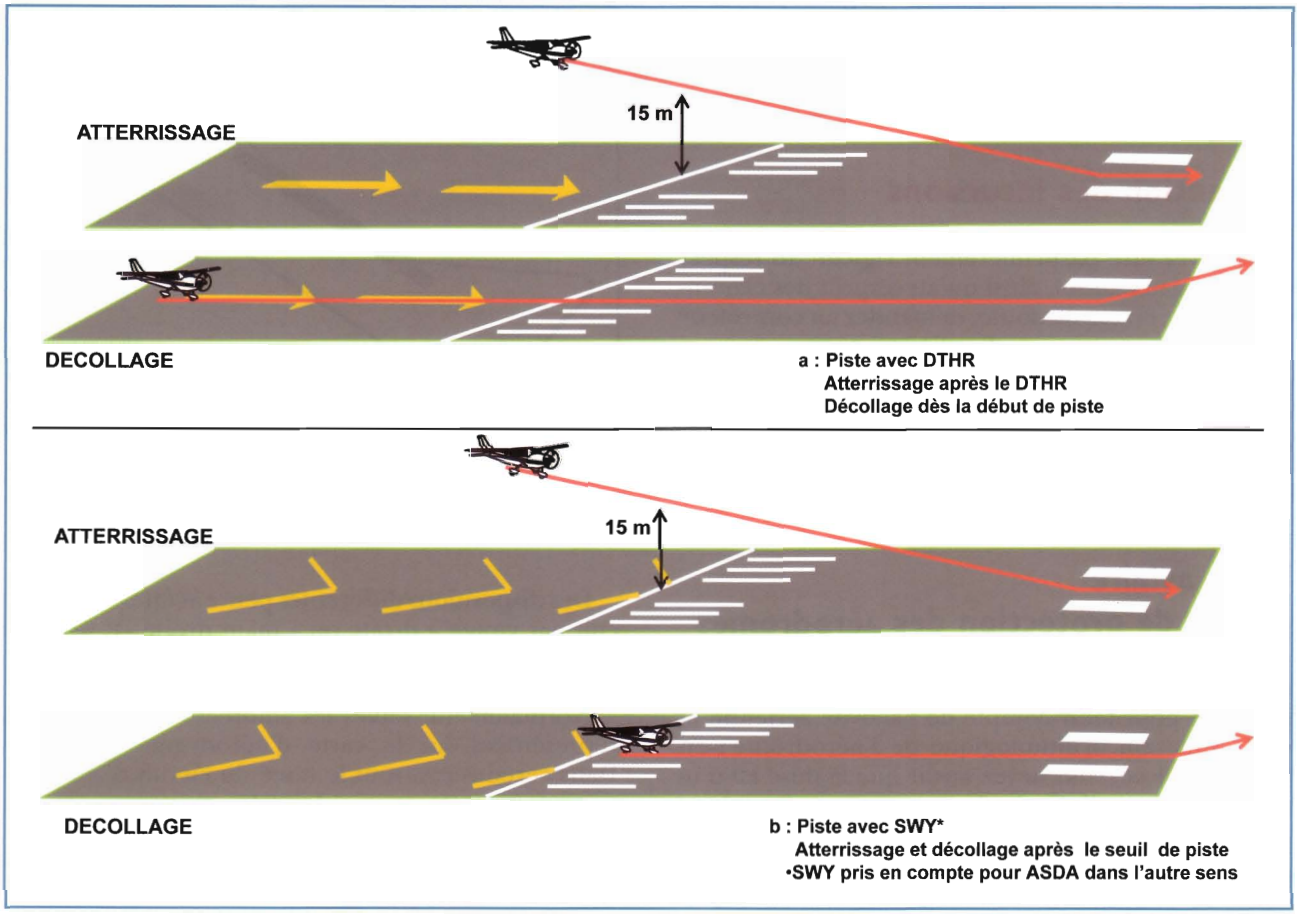


Fig. 168 – *Atterrissage et décollage.*

rissage sont calculées avec un passage à 15 mètres au seuil de piste ou SDE s'il existe (voir le Manuel de vol en Phase 3 : Performances d'atterrissage) ;

- d'un prolongement d'arrêt (**PA** ou **SWY** pour « StopWaY » ; le SWY est situé au-delà de la fin de piste dans le sens de l'atterrissage et est inclus dans la distance utilisable dans le cas d'un décollage interrompu (concerne les multimoteurs) **ASDA** pour « Accelerate Stop Distance available » car il peut servir à arrêter l'aéronef, si nécessaire, en cas de décollage interrompu ; d'une largeur égale à celle de la piste, il peut cependant ne pas avoir la même résistance car il n'est normalement utilisé qu'occasionnellement ;

- d'un prolongement dégagé (**PD** ou **CWY** pour « ClearWaY » ; le CWY est situé au-delà de la fin de piste dans le sens du décollage et d'une largeur supérieure à celle de la piste ; il est inclus dans la distance utilisable au décollage (**TODA** pour « Take-Off Distance Available » ; le CWY est inclus dans la TODA car il s'agit d'une surface dégagée de tout obstacle qui peut servir à atteindre une hauteur de 15 mètres au plus tard en fin du CWY.

La distance de roulement au décollage **TORA** (pour Take-Off Run Available) correspondant en fait à la longueur de la piste entre les deux extrémités de la piste.

Toutes ces distances sont indiquées sur les cartes VAC afin de vérifier si les performances de l'aéronef sont compatibles avec les longueurs déclarées. Des exemples de calculs selon les diverses variantes de l'infrastructure de l'aérodrome sont indiqués dans la figure 166.

La circulation au sol

Des points d'arrêt sont normalement établis en limite de l'aire de servitude de la piste ; au départ, un aéronef doit donc, sur un aérodrome contrôlé, obtenir une clairance avant de franchir cette limite ; sur un aérodrome non contrôlé, il doit s'assurer qu'aucun aéronef n'est en train d'atterrir avant de s'engager sur le piste. Sauf consignes particulières, un aéronef ne doit pas attendre à l'extrémité de la piste en service, y compris sur les raquettes, lorsqu'un autre aéronef est en train d'atterrir *(cf. les panneaux et marques au sol en page 161)*.

Lorsque les points d'arrêts non pas été établis ou que les marques ne sont pas visibles, et sauf consignes particulières , tout aéronef doit attendre à une distance du bord de piste au moins égale à :

- 30 mètres pour une piste revêtue d'une longueur inférieure à 1 000 mètres ou une piste non revêtue ;

- 50 mètres pour une piste revêtue d'une longueur égale ou supérieure à 1 000 mètres, ceci pour tenir compte des envergures des aéronefs susceptibles d'utiliser l'aérodrome.

Prévention des incursions

Vous devez être particulièrement vigilant au respect des panneaux au sol, ainsi qu'au respect des clairances reçues ; en cas de doute, demandez au contrôleur de répéter son message afin d'éviter toute incursion de piste. Les clairances de circulation au sol amenant à engager une piste doivent être collationnées par le pilote en précisant l'identification de la piste : maintien avant piste, alignement, décollage, atterrissage, option, toucher, traversée ou remontée de piste.

Lutte aviaire
Niveau de protection des aérodromes

Un niveau de protection est publié pour chaque aérodrome pour tenir compte de l'activité aérienne et de la situation ornithologique de l'aérodrome ; en tant que pilote, vous devez savoir que la mise en œuvre des moyens d'effarouchement peut se faire à votre demande :

- pour les niveaux B et C ;
- pour le niveau D en dehors de la période de l'année durant laquelle les interventions sont permanentes.

Pour le niveau A, seule une information sur le risque aviaire est fournie alors que pour le niveau D, les interventions sont permanentes toute l'année.

Le circuit d'aérodrome

C'est une trajectoire « de principe », c'est-à-dire qui indique les manœuvres que doivent effectuer les avions qui se trouvent aux abords de l'aérodrome pour atterrir dans des conditions normales de sécurité.

Le circuit d'aérodrome comporte plusieurs parties, ou « branches », définies comme suit (fig. 169) :

① : montée initiale

② : **vent traversier**

③ : **vent arrière**

④ : base

⑤ : approche finale ou finale

Attention : la position du point où l'on s'annonce en vent arrière à la radio se trouve à mi-piste.

Le virage reliant la base et la finale est appelé « **dernier virage** ».

Le circuit type se fait à 1 000 ft (≅ 300 m) et par virage à gauche (on dit aussi « circuit main gauche »). Notez que ce sens de virage a été choisi pour offrir au pilote une meilleure visibilité en virage.

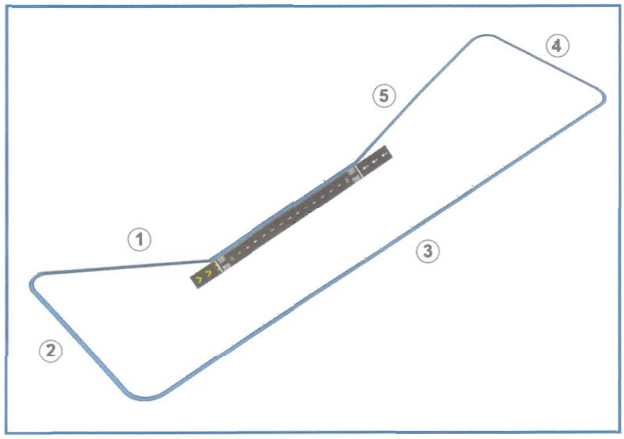


Fig. 169 – *Le circuit d'aérodrome.*

Des dispositions différentes peuvent être prises (circuit par virage à droite ou « main droite »), souvent pour éviter le survol d'obstacles ou d'habitations.

Normalement, seules les amorces de circuits sont représentées sur la carte d'aérodrome (fig. 170). Dans certains cas, tout le tracé du circuit d'aérodrome a été conçu pour réduire les nuisances sonores dues au passage répété des avions en tour de piste, le circuit est alors dessiné dans sa totalité sur la carte VAC.

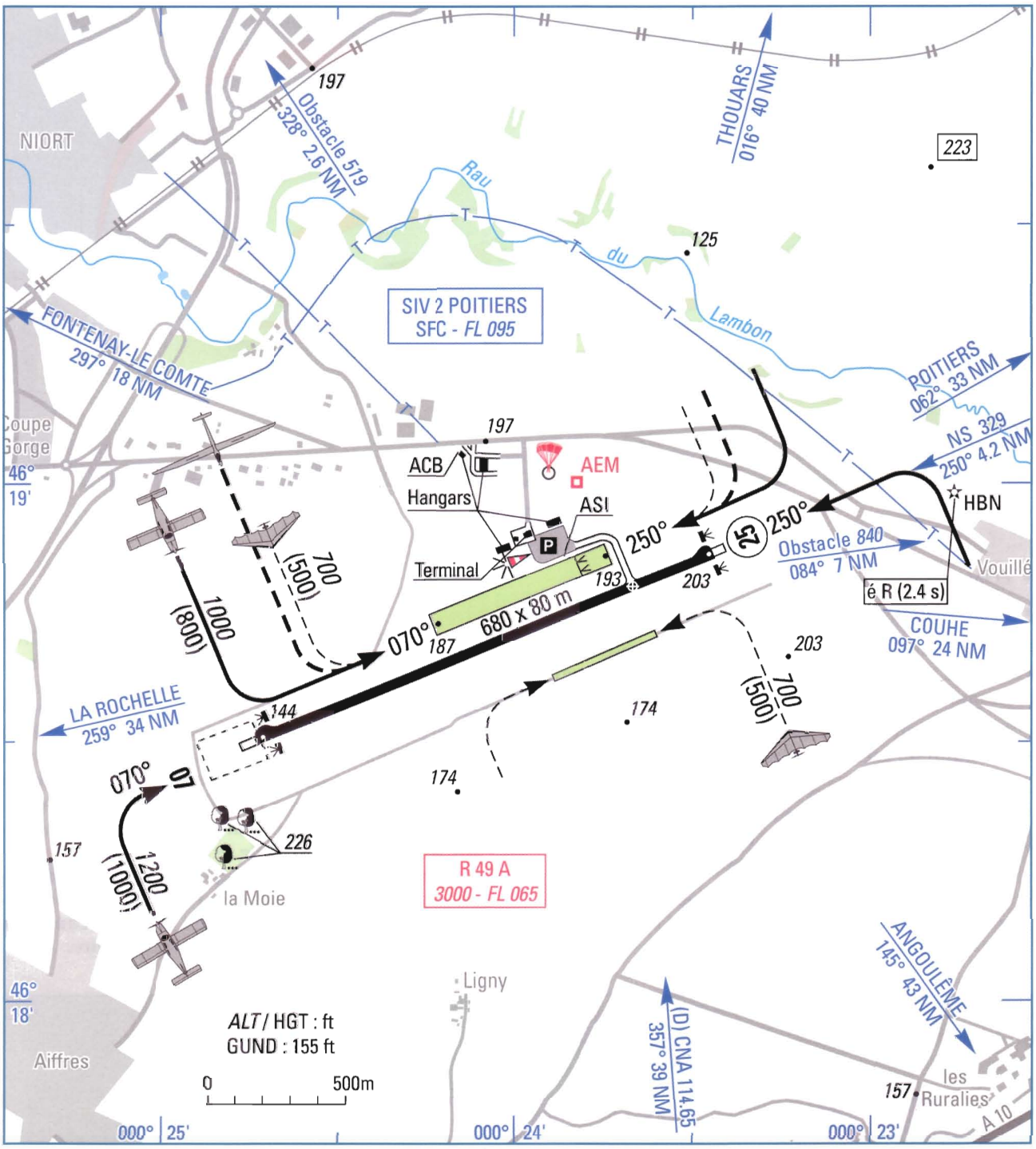
Sur les anciennes cartes VAC , l'absence d'information sur la hauteur du circuit signifie qu'il doit se faire à la hauteur du circuit type (1 000 ft AAL). Par contre, sur les nouvelles cartes publiées à partir d'août 2004, l'altitude et la hauteur (en parenthèses) sont systématiquement publiées. Exemple : « 1 300 (1 000) » pour un aérodrome dont l'altitude est de 300 pieds.

Les zones sensibles peuvent être représentées sur la carte et signalées comme zone dont le survol doit être évité dans la mesure du possible. Elles sont dans ce cas indiquées dans la rubrique « consignes particulières » de la carte.

Signaux

Il existe un certain nombre de signaux adaptés à des situations particulières qui permettent dans tous les cas d'entrer en contact et d'échanger des informations importantes avec les occupants d'un appareil. Il s'agit de situations telles que la panne des moyens de radiocommunication, des situations d'urgence ou de détresse.

La connaissance de ces signaux peut simplifier considérablement la gestion de telles situations. Elle relève directement de la sécurité des occupants de votre avion, au même titre que la connaissance des plus élémentaires panneaux de signalisation routière pour le conducteur d'une voiture.



Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA n° E11/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 170 – *En général, le circuit de piste n'est figuré que par des amorces de trajectoire.*

Signaux pour la circulation d'aérodrome

Lorsqu'un avion et l'organisme chargé de la circulation aérienne d'un aérodrome n'arrivent pas à établir de liaison radio pour échanger les instructions nécessaires au roulage, à l'atterrissage ou au décollage, ils communiquent à l'aide des signaux suivants :

Signaux lumineux ou pyrotechniques émis par la vigie et accusé de réception du pilote

On dénombre cinq signaux lumineux :

- feu vert continu,
- éclats verts,
- feu rouge continu,

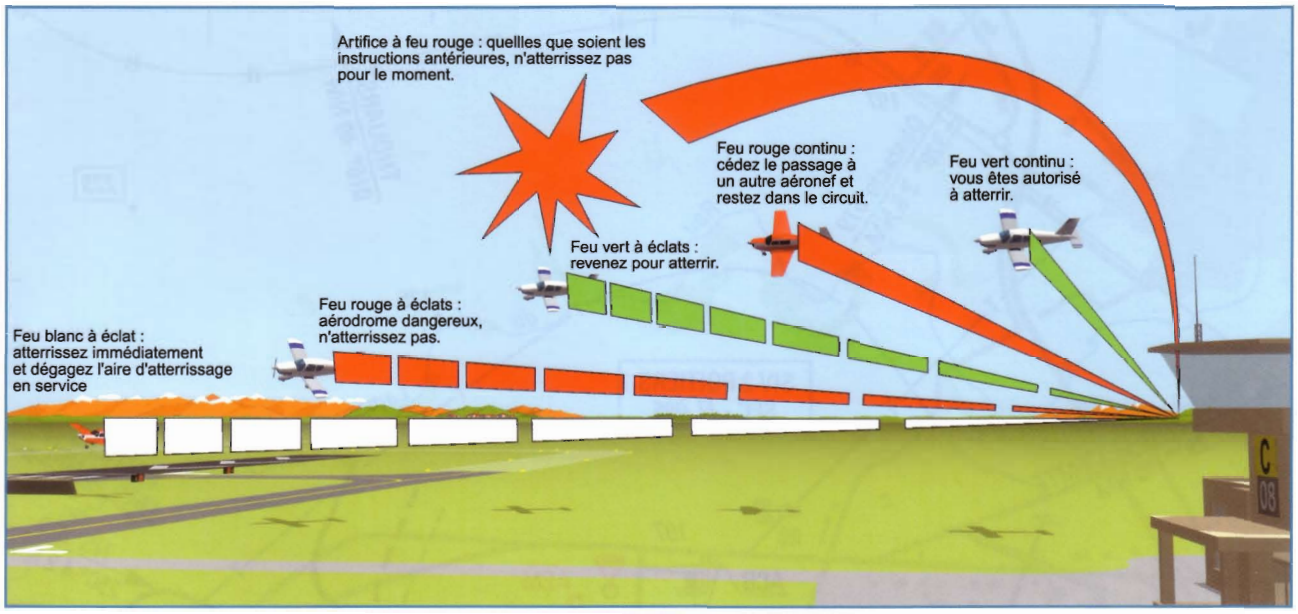


Fig. 171 – *En vol.*

- éclats rouges,
- éclats blancs.

qui ont deux significations différentes suivant que l'avion se trouve en vol ou au sol, et un signal pyrotechnique (fusée rouge) (fig. 171 et 172).

L'avion peut appeler l'attention du contrôleur sur sa situation ou accuser réception de ces signaux :

– de jour, en faisant des battements d'ailes s'il est en vol et en remuant les ailerons et la gouverne de direction s'il est au sol, ou en faisant des appels à l'aide du phare d'atterrissage s'il en est équipé ;

– de nuit, en faisant des appels à l'aide du phare d'atterrissage ou à défaut en allumant et éteignant les feux de position.

Signaux visuels au sol

Lorsqu'un avion se trouve à l'arrivée sur un aérodrome et qu'il n'est pas possible d'établir une liaison radio avec l'organisme chargé de la circulation aérienne de l'aérodrome (s'il existe), il est possible de prendre connaissance des éléments indispensables à la réalisation de l'approche, de l'atterrissage et du roulage jusqu'au parking grâce aux signaux qui se trouvent au sol et qui sont visibles depuis l'avion en vol. Ces signaux sont pour la plupart regroupés dans **l'aire à signaux**, sur laquelle se trouve aussi la **manche à air** girouette blanche et rouge qui indique la direction d'où vient le vent et sa force (fig. 173) Notons que l'usage des signaux lumineux ou pyrotechniques et des aires à signaux a tendance à disparaître.

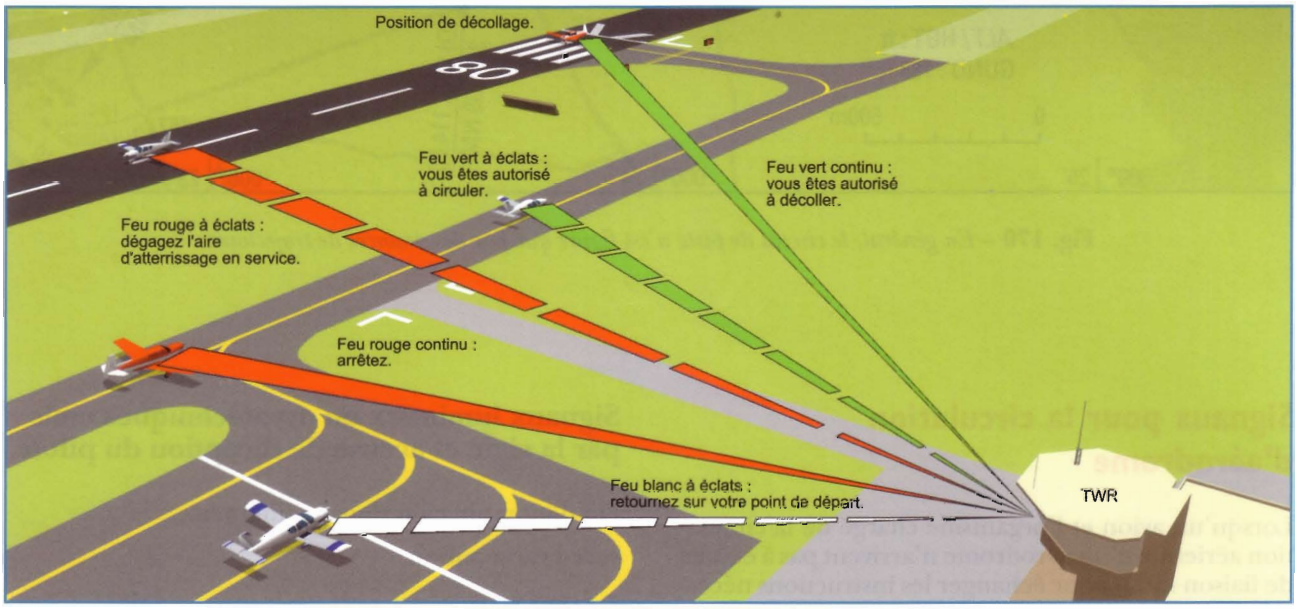


Fig. 172 – *Au sol.*

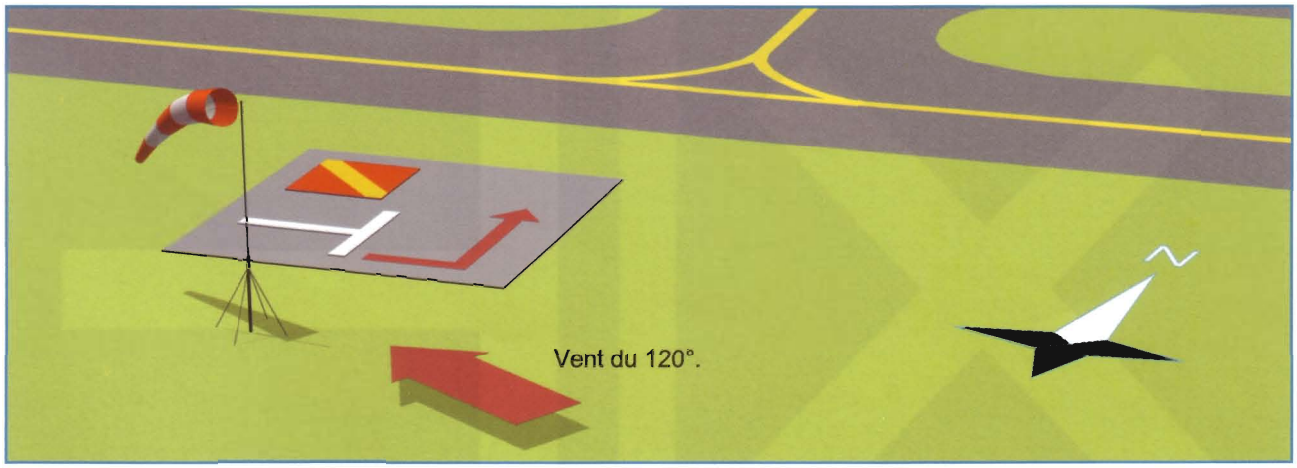


Fig. 173 – *La* ***manche à air*** *indique la direction d'où vient le vent, ici du 120°.*

Interdiction d'atterrissage

Un panneau carré rouge à diagonales jaunes indique que les atterrissages sont interdits et que l'interdiction peut se prolonger (fig. 174).

Précautions spéciales à prendre au cours de l'approche ou de l'atterrissage

Un panneau carré rouge à une seule diagonale jaune indique que des précautions spéciales doivent être prises au cours de l'approche et de l'atterrissage (fig. 175).

Fig. 174

Fig. 175

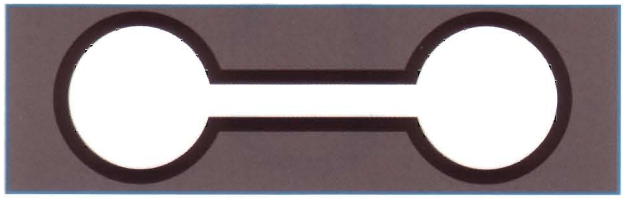


Fig. 176

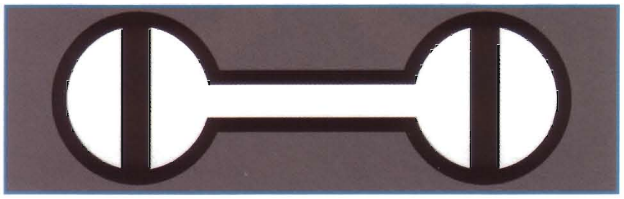


Fig. 177

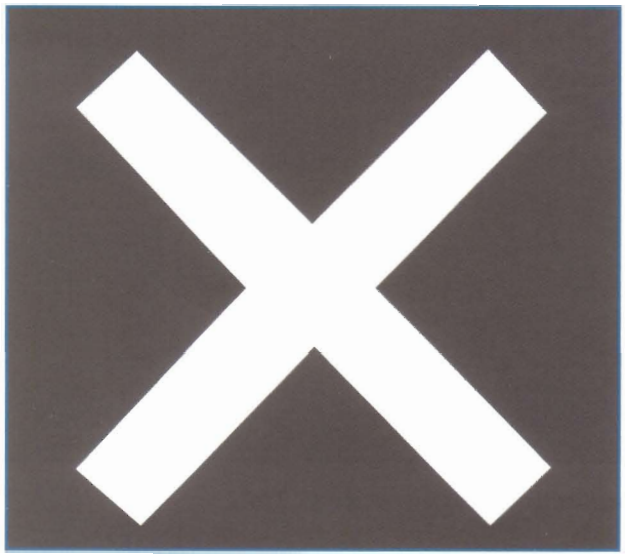


Fig. 178

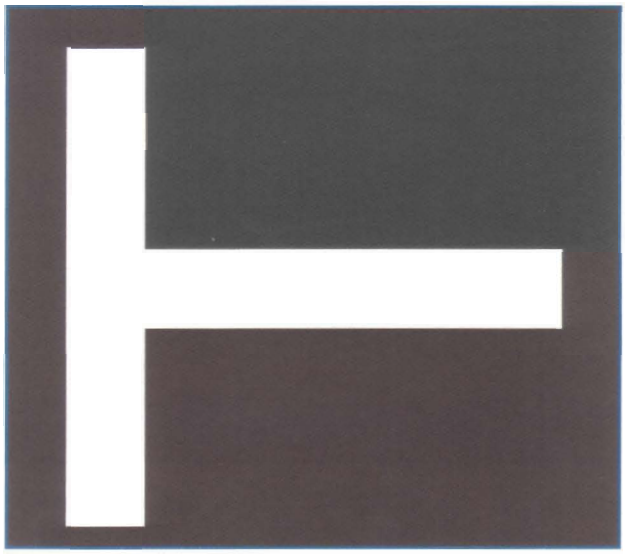


Fig. 179

Utilisation des pistes et voies de circulation

Un panneau blanc en forme d'haltères indique qu'il est prescrit aux aéronefs d'atterrir, de décoller et de circuler exclusivement sur les pistes et voies de circulation (fig. 176).

Un panneau blanc en forme d'haltères comportant deux bandes noires perpendiculaires à la barre transversale indique qu'il est prescrit aux aéronefs d'atterrir et de décoller sur les pistes seulement, mais que les autres manœuvres peuvent être effectuées ailleurs que sur les pistes et voies de circulation (fig. 177).

Des croix d'une couleur uniforme contrastante, jaune ou blanche, disposées horizontalement sur des pistes ou des voies de circulation ou sur des parties de piste ou de voies de circulation indiquent des zones impropres aux manœuvres des aéronefs. Une portion de piste inutilisable porte une croix blanche à chaque extrémité de la portion. Ce peut être la piste entière (fig. 178).

Direction d'atterrissage et de décollage

Un T d'atterrissage horizontal blanc ou orangé indique aux aéronefs la direction à utiliser pour l'atterrissage et le décollage. Le T symbolise l'avion (fig. 179).

Un groupe de deux chiffres jaunes, placés verticalement sur le bâtiment de la tour de contrôle d'aérodrome ou près de celle-ci, indique aux aéronefs au roulage la direction du décollage, exprimée en dizaines de degrés du compas magnétique, arrondie à la dizaine la plus proche (fig. 180).

Fig. 180

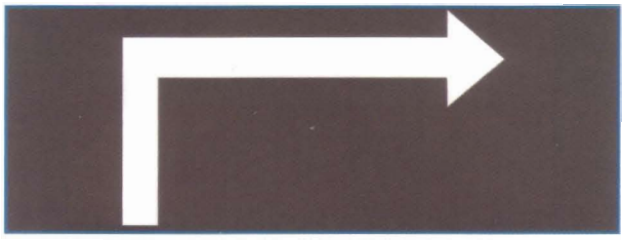


Fig. 181

Fig. 182

Circulation à droite

Une flèche de couleur voyante (généralement blanche), dirigée vers la droite (fig. 181), placée sur l'aire à signaux ou disposée horizontalement à l'extrémité de la piste ou de la bande en service, indique que le circuit dans le sens de la flèche est main droite. Il sera main gauche si l'autre QFU est utilisé.

Bureau de piste

La lettre **C**, noire sur fond jaune, placée verticalement, indique l'emplacement du bureau de piste.

Vols de planeurs en cours

Une double croix blanche, disposée horizontalement dans l'aire à signaux, indique que l'aérodrome est utilisé par des planeurs et que des vols sont en cours.

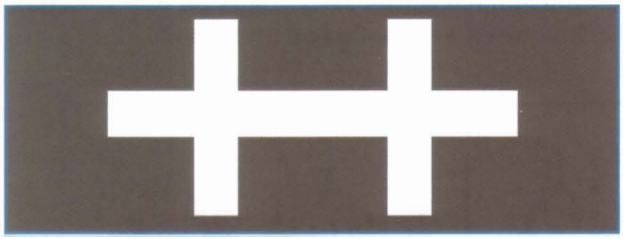


Fig. 183

Implantation des points d'arrêts et panneaux associés

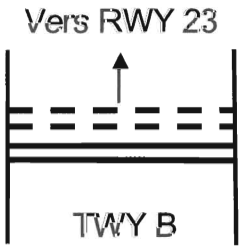
Les panneaux d'obligation portent une inscription blanche sur fond rouge et les panneaux d'indication portent une inscription jaune sur fond noir.

- *Panneaux d'obligation*

Panneau de point d'arrêt avant piste

(Exemple : point d'arrêt sur TWY « B » à l'entrée de la RWY 23)

Marque au sol (Marque simple)



Au-delà de cette marque vous engagez la piste. *(voir le paragraphe relatif à la circulation au sol en page 155).*

Panneau de point d'arrêt avant piste

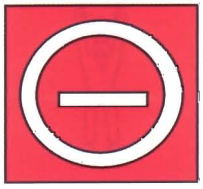
(Exemple : point d'arrêt sur TWY « A » avant la piste 05 d'un côté et 23 de l'autre)

Autre panneau de point d'arrêt avant piste

(Exemple : point d'arrêt dénommé « B2 » sur le TWY « B »)

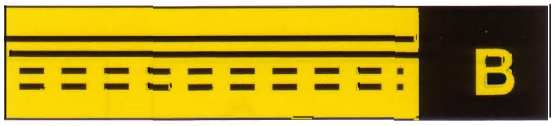
Sert à délimiter une surface de limitation d'obstacles ou une zone de gêne pour le fonctionnement des aides radio à la navigation.
Vous devez vous arrêter au niveau de ce panneau et obtenir une clairance pour aller au-delà sur un aérodrome contrôlé ; si l'aérodrome n'est pas contrôlé, marquer l'arrêt et ne franchir cette limite qu'après avoir assuré la sécurité.

Entrée interdite



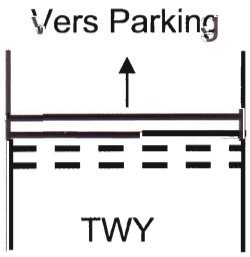
- *Panneaux d'indication*

Panneau de dégagement de la bande



(Exemple : sortie de piste sur TWY B)

Marque au sol



La piste n'est considérée dégagée que lorsque l'avion qui vient de se poser a franchi ce panneau

Panneau d'indication Sortie de piste

Indique l'identification du prochain TWY du côté du panneau

(Exemple : prochaine sortie TWY « A » sur la gauche)

Panneau de direction

Indique l'identification du TWY sur lequel vous vous trouvez et celui sur lequel vous allez déboucher ou la direction à prendre pour rejoindre l'aire de trafic

(Exemple 1 : vous êtes sur le TWY « B » et le TWY « D » est sur la gauche)

(Exemple 2 : pour rejoindre l'aire de trafic tournez à gauche à la prochaine intersection)

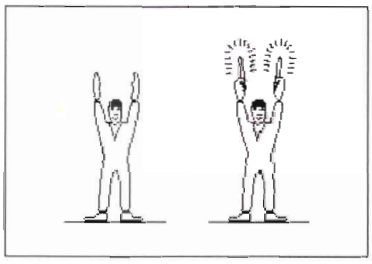
Panneau de distance restante

Panneau sur un TWY débouchant sur une piste avec indication de la TORA disponible depuis l'intersection dans le sens indiqué par la flèche (le NR de RWY peut ne pas être indiqué)

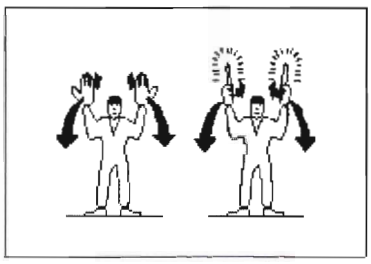
(Exemple : il reste 1 100 mètres pour un décollage en 05)

Signaux de circulation au sol

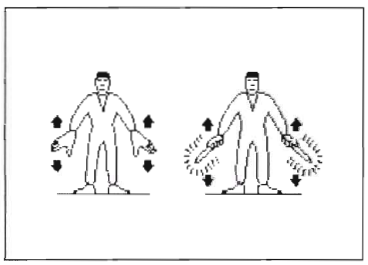
Ci-dessous les principaux signaux utilisés par un signaleur pour la circulation au sol ; ces signaux sont conçus pour être employés par un signaleur (dont les mains sont éclairés au besoin pour être mieux vues du pilote) placé devant l'aéronef. Ils vous seront utiles notamment sur les aérodromes où une assistance technique est systématiquement fournie.



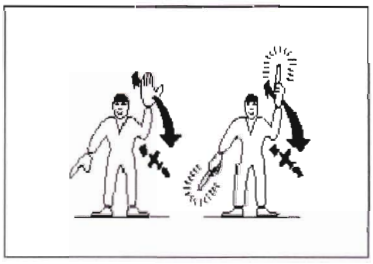
Placez-vous devant moi



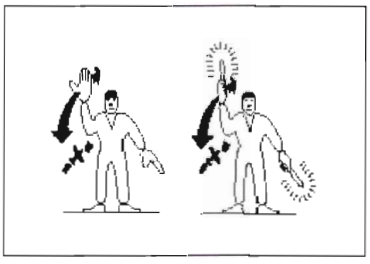
Avancez



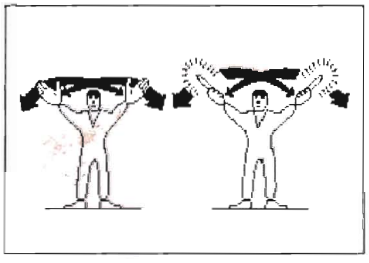
Ralentissez



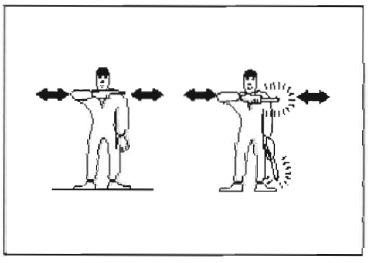
Virez à gauche



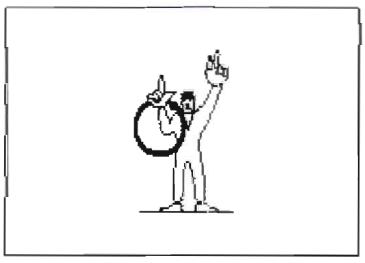
Virez à droite



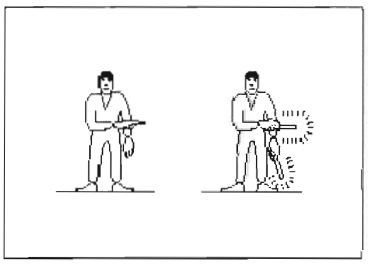
Stoppez (la rapidité du mouvement est fonction de l'urgence à exécuter l'ordre)



Coupez le moteur



Démarrez le moteur



Dirigez-vous vers le signaleur suivant

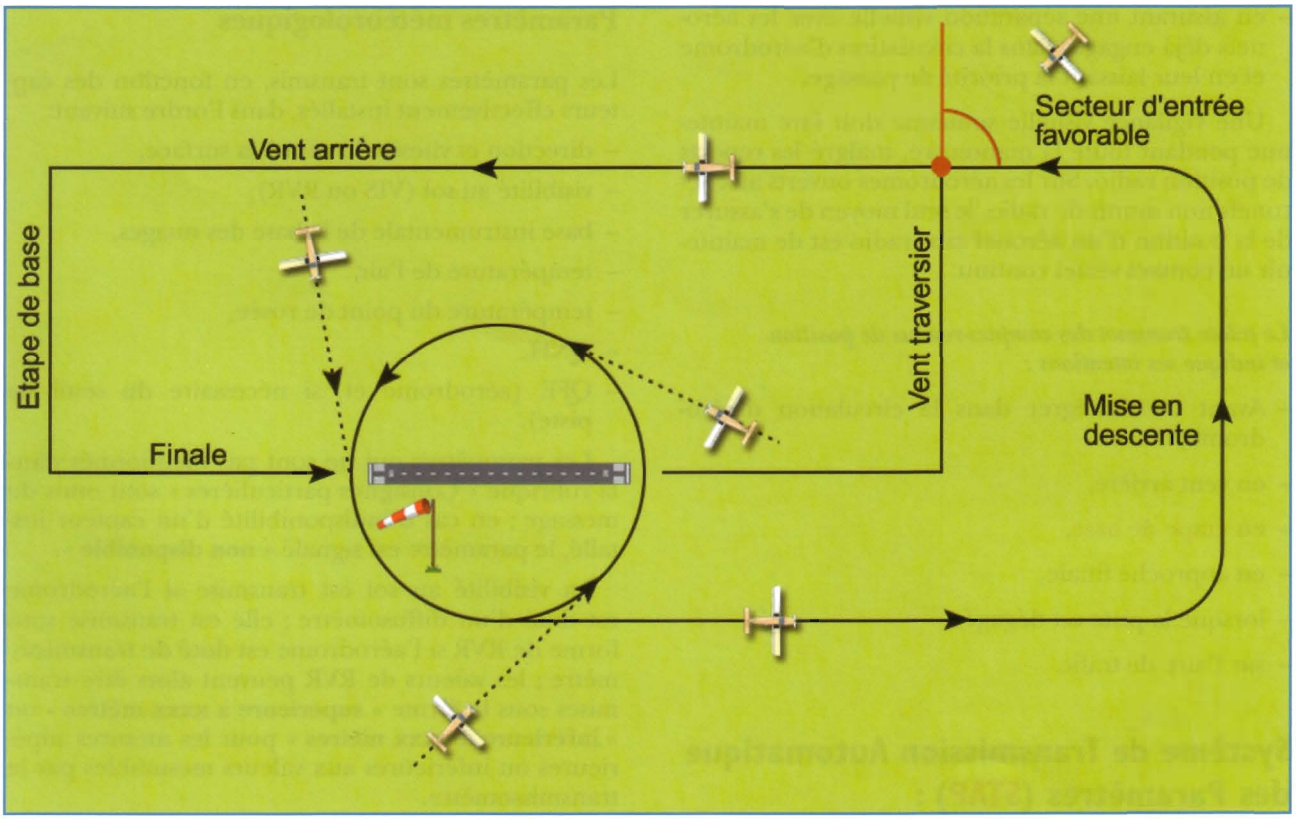


Fig. 184

Intégration dans la circulation d'aérodrome

Aérodrome contrôlé

– s'intégrer en respectant les clairances reçues.

Aérodrome AFIS

Si l'aérodrome est réservé aux aéronefs munis de radio et que l'AFIS signale qu'il n'y a pas de trafic connu :

– s'intégrer en début de vent arrière, en début de l'étape de base et en longue finale selon sa trajectoire d'arrivée.

Dans le cas contraire :

– s'intégrer en début de vent arrière comme indiqué sur la figure 184.

Autre aérodrome

– avant de s'intégrer dans la circulation d'aérodrome, procéder à l'examen de l'aérodrome.

– s'intégrer en début de vent arrière comme indiqué sur la figure 184.

Sur ces aérodromes, le pilote peut se dispenser d'effectuer l'examen de l'aérodrome lorsqu'il a pris connaissance de la piste en service en exploitant les messages d'auto-information des autres aéronefs et qu'il a pris connaissance du vent et des restrictions éventuelles d'utilisation de l'aérodrome (dans le cas d'un retour d'un vol local assez court au cours duquel les conditions météorologiques n'auront pas eu le temps de changer notablement, par exemple).

Recueil des informations nécessaires à l'approche

En fonction des conditions météorologiques et des activités en cours sur l'aérodrome, la reconnaissance se fait par *un 360 ° à la verticale de la piste, dans la mesure du possible à une altitude supérieure d'au moins 500 ft à celle du plus haut des tours de piste.*

Le pilote :

– applique la phraséologie d'auto information ;

– *interprète des renseignements rassemblés sur l'aire à signaux ;*

– évalue l'état des surfaces d'atterrissage et de roulage ;

– *évalue le vent* (force et direction) et *détermine la piste à utiliser,* en se conformant prioritairement au sens de la circulation pratiqué par les autres aéronefs présents dans le circuit d'aérodrome ou en se conformant à l'indication du QFU préférentiel figurant éventuellement sur la carte d'aérodrome ;

– *évalue les obstacles* présents sur les trajectoires d'approche finale et de remise de gaz ;

– *observe la position des autres aéronefs* évoluant dans la circulation d'aérodrome.

Les procédures générales de la circulation aérienne pour l'utilisation des aérodromes imposent que le CdB s'intègre :

– en début de vent arrière ;

– à la hauteur du circuit d'aérodrome ;

– en assurant une séparation visuelle avec les aéronefs déjà engagés dans la circulation d'aérodrome et en leur laissant la priorité de passage.

Une vigilance visuelle soutenue doit être maintenue pendant toute la manœuvre, malgré les reports de position radio. Sur les aérodromes ouverts aux aéronefs non munis de radio, le seul moyen de s'assurer de la position d'un aéronef sans radio est de maintenir un contact visuel continu.

Le pilote transmet des comptes-rendus de position et indique ses intentions :

– Avant de s'intégrer dans la circulation d'aérodrome,
– en vent arrière,
– en étape de base,
– en approche finale,
– lorsque la piste est dégagée,
– sur l'aire de trafic.

Système de Transmission Automatique des Paramètres (STAP) :

Généralités

Un système de transmission automatique (STAP) est installé sur certains aérodromes ; il permet, en l'absence d'un organisme de la circulation aérienne, la transmission en français et dans certains cas exceptionnels, en anglais, des paramètres météorologiques utiles à l'atterrissage et au décollage des aéronefs ; ces paramètres peuvent être complétés par des informations locales.

Ces informations sont accessibles généralement sur la fréquence utilisée pour assurer l'auto information dans la circulation d'aérodrome ; exceptionnellement, sur des aérodromes ayant un trafic significatif et disposant d'un ATIS pendant les horaires ATS, le STAP fonctionne sur la fréquence de l'ATIS. Les informations peuvent être également disponibles via un serveur vocal téléphonique ou un serveur télématique dont le numéro d'appel est indiqué sur la carte VAC.

Un STAP est généralement associé à une télécommande de balisage (PCL).

La présence d'un STAP est signalée dans le bandeau COM des cartes VAC ; les paramètres effectivement disponibles sont signalés dans la rubrique « Consignes particulères ».

Mise en œuvre

La transmission automatique des paramètres se fait à l'initiative du pilote sur réception de 3 coups d'alternat en moins de 5 secondes (ordre identique à celui prévu pour la mise en œuvre de la PCL).

Paramètres météorologiques

Les paramètres sont transmis, en fonction des capteurs effectivement installés, dans l'ordre suivant:

– direction et vitesse du vent à la surface,
– visibilité au sol (VIS ou RVR),
– base instrumentale de la base des nuages,
– température de l'air,
– température du point de rosée,
– QNH,
– QFE (aérodrome et, si nécessaire du seuil de piste).

Les paramètres qui ne sont pas mentionnés dans la rubrique « Consignes particulières » sont omis du message ; en cas d'indisponibilité d'un capteur installé, le paramètre est signalé « **non disponible** ».

La visibilité au sol est transmise si l'aérodrome est doté d'un diffusomètre ; elle est transmise sous forme de RVR si l'aérodrome est doté de transmissomètre ; les valeurs de RVR peuvent alors être transmises sous la forme « **supérieure à xxxx mètres** » ou « **inférieure à xxxx mètres** » pour les mesures supérieures ou inférieures aux valeurs mesurables par le transmissomètre.

Note

Le fait de disposer des paramètres à l'aide d'un STAP ne modifie en rien les régles d'intégration dans la circulation d'aérodrome d'un aérodrome sans organisme de la circulation aérienne en service.

Utilisation du STAP par des aéronefs en transit

Un aéronef en transit peut écouter les paramètres transmis par un STAP ; toutefois, de nuit, si le STAP est associé à une PCL, le pilote doit veiller à éteindre le balisage en respectant la procédure rappelée au chapitre relatif au VFR de nuit, *(§ relatif à la mise en œuvre du balisage page 414).*

Utilisation des aérodromes en fonction de leur statut

L'accès aux aérodromes au trafic aérien est fonction de leur statut. On distingue :

– les aérodromes « **Ouverts à la circulation aérienne publique** » c'est à dire accessibles à tous les aéronefs sous réserve de respecter les consignes particulières propres à chaque aérodrome publiées par la voie de l'information aéronautique ;
– les aérodromes à « **Usage Restreint** » réservés généralement aux aéronefs qui y sont basés et à ceux basés sur des aérodromes proches ; cette restriction est souvent justifiée par le fait que l'aérodrome ne respecte pas toutes les normes de dégagement et l'utilisation de tels aérodromes nécessite de bien connaître leurs particularités ;

– les aérodromes « **Réservés aux administrations** » ; ces aérodromes sont essentiellement les aérodromes militaires ; le trafic aérien civil peut cependant être autorisé sous certaines conditions définies dans les consignes particulières.

Le statut des aérodromes est précisé sur les cartes VAC et IAC publiées par le SIA ; il est également indiqué sur les cartes de navigation avec une symbologie particulière pour chaque usage.

Enfin certains aérodromes « **privés** » peuvent accueillir du trafic aérien ; ils sont toutefois autorisés qu'au seul propriétaire ainsi qu'à ses invités ; ils ne sont pas indiqués sur les cartes de navigation publiées par l'administration à l'exception des aérodromes privés avec une piste revêtue du fait qu'ils constituent des repères remarquables pour la navigation.

Règles particulières pour les vols internationaux

Un Arrêté du 20 avril 1998 mis à jour notamment par un dernier arrêté du 18 avril 2002 fixe les modalités pour effectuer les formalités de douane, de police et de santé pour les vols internationaux.

Il y a lieu de distinguer **les vols internationaux effectués à l'intérieur de la zone Schengen** [1] pour lesquels, tous les aérodromes, les hélisurfaces et les terrains agréés pour l'accueil des aéronefs ultralégers motorisés, sont accessibles sans aucune formalité, à condition que l'usage auquel ils sont destinés soit respecté.

Toutefois, ces vols restent des vols internationaux et, à ce titre, restent soumis à l'obligation de dépôt de plan de vol *(cf. les obligations de dépôt de plan de vol en page 361)*.

Par contre, pour **les vols internationaux vers ou en provenance d'un aérodrome situé en dehors de la zone Schengen**, les formalités doivent se faire sur un aérodrome douanier figurant dans l'une des trois listes prévues par l'arrêté du 20 avril 1998 :

– les aérodromes sur lesquels les formalités sont assurées en permanence ;

– les aérodromes sur lesquels les formalités sont assurées pendant une certaine période de l'année ou selon certains horaires et éventuellement sur demande en dehors de la période ou horaires prévus ;

– les aérodromes sur lesquels les formalités sont assurées en fonction des nécessités sur demande.

Par conséquent, pour les vols internationaux vers ou en provenance d'un aérodrome situé en dehors de la zone Schengen, vous devez faire une escale intermédiaire sur un aérodrome de l'une de ces trois listes après vérification de la possibilité d'y effectuer les formalités réglementaires en fonction de vos horaires, si vous envisagez de partir ou d'arriver d'un aérodrome ne répondant pas à l'une des ces conditions.

Pour connaître le statut d'un aérodrome, la période, les horaires, les modalités d'ouverture et les autorités à contacter, il y a lieu de se reporter aux informations aéronautiques publiées pour l'aérodrome concerné notamment aux « Informations diverses », rubrique « Douane Police » associées à la carte VAC.

Une disposition particulière est prévue pour les aéronefs en provenance ou à destination du secteur français de l'aérodrome de Genève-Cointain qui peuvent ainsi utiliser un aérodrome dépourvu de contrôle de douane, de police et de santé.

(1) Au 1er janvier 2008, font partie de la zone Schengen, les 24 États suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Slovaquie, Slovénie, Suède.

LA RADIOTÉLÉPHONIE

L'équipement de radiocommunication fait partie de l'équipement minimal de l'avion. C'est aussi un facteur important de sécurité : il permet d'informer les organismes de la circulation aérienne de sa position et de ses intentions, de recevoir des conseils et des instructions appelées aussi « clairances », d'obtenir des informations sur la météorologie d'un aérodrome ou d'une zone, et de transmettre des messages d'urgence ou de détresse.

La radio ne permet pas, comme le téléphone, de parler en même temps que son interlocuteur. Chacun doit parler à son tour. Il est donc important d'employer un langage commun et précis qui permet d'échanger un nombre important d'informations claires en un minimum de temps.

Ce langage, cette **phraséologie**, propre à l'aviation utilise un code pour exprimer les lettres et les nombres. Il utilise aussi des expressions conventionnelles.

La radio est également un facteur important de sécurité dans la mesure où elle permet d'obtenir en vol des renseignements météo ou d'être aidé, en cas de difficultés.

Les fréquences utilisées pour les communications air-sol sont dans la gamme **VHF** (« Very High Frequency »), de 118 à 136,975 MHz.

Chaque organisme de la circulation aérienne utilise une fréquence qui lui est propre et qu'il vous suffit d'afficher sur votre émetteur-récepteur de bord pour entrer en contact avec lui. (La liste de ces organismes et de leurs fréquences fait partie de votre documentation).

Les émetteurs/récepteurs les plus récents permettent l'affichage de trois décimales ; cependant, la majorité des émetteurs/récepteurs, actuellement installés sur les aéronefs de l'aviation légère, ne permettent que l'affichage de deux décimales ; ainsi, pour une fréquence comme, par exemple, « 118,125 » on affiche « 118,12 ».

Dans certains espaces (pour l'instant en espace supérieur uniquement) des émetteurs/récepteurs avec un espacement à 8,33 kHz sont imposés.

Le squelch

Le **squelch** permet d'éliminer les bruits de fond créés par les parasites atmosphériques. Mais ce faisant, le signal est moins bien reçu, ce qui peut constituer une gêne quand l'échange radio se fait avec une station éloignée. Dans ce cas, il faut retirer le **squelch** pour faciliter la compréhension des interlocuteurs. Le squelch est sans effet sur l'émission.

Expression des lettres et des nombres

Les lettres de l'alphabet

Lorsque vous entrez en contact avec un organisme de la circulation aérienne, vous devez vous identifier en indiquant l'immatriculation de votre avion. Celle-ci se compose de cinq lettres, la première est la lettre F si l'avion est immatriculé en France.

La qualité de la transmission par radio n'étant pas toujours très bonne, vous exprimerez chaque lettre avec un nom qui lui est associé dans l'alphabet international :

Lettre	Mot de code	Prononciation*	Lettre	Mot de code	Prononciation*
A	ALPHA	AL FAH	N	NOVEMBER	NO VÊMM BER
B	BRAVO	BRA VO	O	OSCAR	OSS KAR
C	CHARLIE	CHAR LI	P	PAPA	PAH PAH
D	DELTA	DEL TAH	Q	QUÉBEC	KÉ BÉK
E	ECHO	ÈK O	R	ROMÉO	RO MI O
F	FOX TROT	FOX TROTT	S	SIERRA	SI ÉR RAH
G	GOLF	GOLF	T	TANGO	TANG GO
H	HOTEL	HO TÈLL	U	UNIFORM	YOU NI FORM
I	INDIA	IN DI AH	V	VICTOR	VIK TAR
J	JULIETT	DJOU LI ÈTT	W	WHISKEY	OUISS KI
K	KILO	KI LO	X	X-RAY	ÈKSS RÉ
L	LIMA	LI MAH	Y	YANKEE	YANG KI
M	MIKE	MAÏK	Z	ZULU	ZOU LOU

* Pour la prononciation, les syllabes soulignées doivent être accentuées.

Toutes les lettres que vous direz par radio devront être exprimées à l'aide de l'alphabet international sauf pour le QNH et le QFE pour lesquels les lettres sont transmises sans utiliser l'alphabet international pour éviter les confusions notamment avec les indicatifs d'appel des aéronefs.

En radionavigation, on identifie une balise radioélectrique en écoutant son indicatif, composé de deux ou trois lettres. Cet indicatif n'est pas transmis à l'aide de l'alphabet international, mais à l'aide de l'alphabet **morse**. Il permet le codage des lettres et

des chiffres par des signaux sonores longs (—) et courts (•) :

A	•—	N	—•
B	—•••	O	———
C	—•—•	P	•——•
D	—••	Q	——•—
E	•	R	•—•
F	••—•	S	•••
G	——•	T	—
H	••••	U	••—
I	••	V	•••—
J	•———	W	•——
K	—•—	X	—••—
L	•—••	Y	—•——
M	——	Z	——••

Les nombres

- Les nombres composés d'un seul chiffre (0 à 9) s'énoncent en français, à l'exception de 1 qui se dit « unité » :

Exemple :

B1 Bravo unité R7 Roméo sept

- Les nombres entiers de milliers sont suivis de mille et les centaines de cent :

Exemple :

39 000 trente neuf mille
12 100 douze mille cent

Règles particulières en Français :

- *Pour les codes transpondeurs :*
  4212 se dit quarante deux douze
- *Pour la transmission d'un cap :*
  100 se dit cap unité zéro zéro
  060 se prononce cap zéro six zéro
- *Pour la transmission d'une piste :*
  RWY05 se dit zéro cinq

Les fréquences

Suite à la mise en œuvre de l'espacement des canaux VHF de communication à 8,33 kHz dans l'espace aérien français les procédures de radiotéléphonie pour énoncer les fréquences ont été simplifiées ; en conséquence le terme «canal» n'est plus utilisé. Les procédures sont identiques pour les fréquences à espacement de 25 kHz et 8,33 kHz. Les 6 chiffres de la fréquence sont énoncés, sauf lorsque les 2 derniers sont des zéros, auquel cas seuls les 4 premiers chiffres sont énoncés.

Exemple :

134.055 s'énonce : unité trois quatre décimale zéro cinq cinq
134.500 s'énonce : unité trois quatre décimale cinq (les 2 derniers sont des zéros)
134.000 s'énonce : unité trois quatre décimale zéro (les 2 derniers sont des zéros)

Attention : lorsque seul le dernier chiffre est un zéro, il doit être énoncé.

Exemple :

134.050 s'énonce : unité trois quatre décimale zéro cinq zéro

Procédures spécifiques pour les utilisateurs d'équipements VHF ne permettant que l'affichage de 5 chiffres :

Cet équipement est toléré dans les espaces à 25 kHz.

Lorsque les services ATS transmettent une fréquence à 6 chiffres, vous affichez les 5 premiers, l'équipement prend en compte automatiquement le dernier chiffre.

Lorsque les services ATS transmettent une fréquence à 4 chiffres (lorsque les 2 derniers sont des zéros), affichez ces 4 chiffres suivis d'un zéro.

Lorsque vous disposerez d'un équipement à 6 chiffres, vous afficherez les chiffres énoncés en les complétant, si nécessaire, par des zéros.

Rappel pour le collationnement

Lorsqu'une clairance comporte une fréquence, vous devez collationner cette fréquence en appliquant la procédure réglementaire.

Expressions conventionnelles

De même que pour les lettres et les nombres, à une information que l'on souhaite échanger par radio correspond une seule expression (voir page suivante).

Ordre de priorité des messages

– **Messages de détresse**
Les messages de détresse sont précédés de l'expression « mayday/mayday ».

– **Messages d'urgence**
Les messages d'urgence sont précédés de l'expression « pan pan/pan pan ».

– **Messages du contrôle de la circulation aérienne**
Ces messages comprennent les clairances, les messages de régulation du débit, les C/R de position et C/R en vol.

– **Messages d'information de vol**
Ces messages sont les messages relatifs au service d'information de vol.

affirme	*signifie*	oui
approuvé	*signifie*	vous êtes autorisé à…
autorisé	*signifie*	vous êtes autorisé à… *(employé uniquement pour le décollage, l'atterrissage, le toucher et l'option)*
break break	*signifie*	le message que je vais transmettre maintenant s'adresse à un autre aéronef que celui à qui je viens de m'adresser *(utilisé uniquement par le contrôleur)*
collationnez	*signifie*	répétez-moi tout le message ou la partie spécifiée, exactement comme vous l'avez entendu
confirmez…	*signifie*	vous êtes bien sûr que…
contactez…	*signifie*	établissez le contact radio avec …
correction…	*signifie*	message que je viens de vous transmettre est incorrect, le message correct est…
correct	*signifie*	c'est exact
Indiquez…	*signifie*	donnez-moi l'information concernant…
demandons…	*signifie*	je souhaite ou je désire obtenir…
j'écoute…	*signifie*	transmettez votre message
négatif…	*signifie*	non
vérifiez…	*signifie*	contrôlez un système ou une procédure
rappelez…	*signifie*	faites un compte rendu à l'endroit suivant…
répétez…	*signifie*	répétez toute votre transmission ou la partie spécifiée du message
reçu	*signifie*	j'ai reçu en entier votre transmission
veillez…	*signifie*	gardez l'écoute sur la fréquence suivante…
wilco	*signifie*	votre message a été compris et sera exécuté *(vient de « we WILl COmply », c'est-à-dire « nous allons exécuter »)*

– **Messages entre exploitants d'aéronefs et pilotes**

Ces messages concernent l'exploitation des aéronefs ou les aspects commerciaux.

Lisibilité des messages

La lisibilité des messages est transmise en utilisant l'échelle de lisibilité suivante :

1. message illisible
2. message lisible par instant
3. message difficilement lisible
4. message lisible
5. message parfaitement lisible.

Indicatifs d'appel

Indicatifs d'appel radiotéléphoniques des stations au sol

L'indicatif d'appel est formé :

– du nom de l'emplacement (utiliser le nom abrégé des aérodromes tel qu'il figure en gras sur les cartes VAC ou sur les cartes aéronautiques officielles) ;

– d'un suffixe indiquant l'organisme ou le service rendu (approche, tour, info).

Le nom de l'emplacement et ou le suffixe de la station au sol peuvent être omis dès lors qu'une communication bilatérale directe a été établie et que l'intervalle entre les communications n'induit aucune ambiguïté d'indentification.

Particularité française : il est admis qu'au premier contact radio, l'indicatif d'appel de l'aérodrome soit composé uniquement du nom de l'aérodrome sauf dans le cas du service d'info de vol pour lequel le suffixe « Info » doit être utilisé.

Indicatifs d'appel radiotéléphoniques des aéronefs

Le premier contact se fait en utilisant son **indicatif complet** ; le contrôleur répond en utilisant votre indicatif abrégé découlant de votre indicatif complet s'il n'y a pas de risque de confusion avec un autre aéronef en compte ou, dans le cas contraire, l'une des formes d'**indicatifs abrégés** ci-dessous afin d'identifier clairement l'aéronef auquel s'adresse le message.

Les échanges suivants doivent se faire en utilisant l'indicatif utilisé par le contrôleur et ne plus en changer au cours du vol sauf sur demande du contrôleur.

Exemples d'indicatifs d'appel complets :

– la marque d'immatriculation de l'aéronef (exemple : FBVIA) ;

– l'indicatif de l'exploitant suivi de la marque d'immatriculation

– l'indicatif de l'exploitant suivi de l'identification du vol. Air France 526 K ;

– le nom du constructeur suivi de la marque d'immatriculation (exemple : Cessna FBVIA.

Exemples d'indicatifs d'appel abrégés :

Pour FBVIA : F IA

Pour Air France 526 KL : Air France KL

Pour Cessna FBVIA : Cessna IA

Composition d'un message

TYPE DE MESSAGE

Prise de contact :

Appelé... Appelant... « Bonjour » (indicatif complet).

Contenu du message :

Appelé (facultatif s'il n'y a pas de risque de confusion) ... Appelant (indicatif abrégé) ... Type de l'avion ... Provenance ... Destination ... Position ... Demande ou information.

Réponse et collationnement éventuel :

Appelé (facultatif s'il n'y a pas de risque de confusion) ... Appelant (indicatif abrégé en trois lettres s'il n'y a pas de risque de confusion) ... Répétition des éléments du message nécessitant un collationnement.

Exemple

Avion : Carcassonne approche, Fox Trot Golf Juliett Mike Alpha, bonjour.

Approche : Fox Trot Golf Juliett Mike Alpha Carcassonne approche bonjour.

Avion : Fox Trot Golf Juliett Mike Alpha, TB9, en provenance de Lézignan, à destination de Castelnaudary, trois minutes du point Echo 2 000 pieds, pour transiter verticale vos installations puis vers Whiskey à 2 000 pieds, transpondeur à bord.

Approche : Fox Trot Mike Alpha, autorisé à transiter Echo – verticale – Whiskey à 2000 pieds QNH 1019, transpondeur 7 000, Rappelez verticale nos installations.

Avion : Fox Trot Mike Alpha, transite par Echo – verticale et Whiskey à 2 000 pieds QNH 1 019, transpondeur 7 000, rappellerai verticale.

Langues à utiliser

Le français et l'anglais peuvent être utilisés sauf si la mention « fr uniquement » est indiquée. Ca sera le cas pour l'auto-info sur les aérodromes ayant des procédures IFR utilisables en l'absence d'un organisme ATS.

Cependant en France, les pilotes français doivent utiliser la langue française sauf cas particulier (besoin d'entraînement par exemple).

Compétences linguistiques (FCL 1.028)

Une mention sur le niveau de compétence linguistique est portée sur la licence. 6 niveaux de compétence sont définis ; cependant, le niveau 4 minimum est requis pour les communications radiotéléphoniques avec les organismes de la circulation aérienne.

La validité de la mention dépend du niveau :

- permanente pour le niveau 6 ;
- 6 ans pour le niveau 5 ;
- 3 ans pour le niveau 4.

Les pilotes qui :

- détiennent les privilèges de la radiotéléphonie en français obtiennent la mention « Niveau 6» en français ;
- détiennent une QRI ou ont réussi l'examen d'aptitude à la langue anglaise FCL 1 200 obtiennent la mention « Niveau 4» en anglais.

Après cette date, pour les vols en VFR, la compétence linguistique est obtenue lors d'un contrôle comportant deux épreuves orales dont le contenu est précisé ci-dessous.

La première épreuve est destinée à déterminer l'aptitude du candidat à écouter, comprendre et restituer des enregistrements réels d'une liaison entre un aéronef et un organisme de contrôle de la circulation aérienne et d'une émission météorologique (ATIS ou VOLMET) ; elle consiste, pour le candidat, à collationner par écrit, en anglais ou en français selon l'aptitude visée, certains éléments de la bande sonore écoutée.

La deuxième épreuve est destinée à déterminer la capacité du candidat à communiquer aisément sur tout sujet intéressant les circonstances procédures radiotéléphoniques avec un organisme de contrôle de la circulation aérienne ; cette épreuve comporte l'exécution d'un vol fictif y compris sa préparation.

Le candidat doit s'exprimer et réagir de manière pertinente aux informations et aux instructions qui lui sont communiquées.

Le candidat n'est autorisé à s'exprimer qu'en anglais ou en français suivant le cas.

La plus faible note obtenue détermine le niveau de la mention de compétence :

Une note de 18/20 donne le niveau 6 ;
une note de 14/20 donne le niveau 5 ;
une note de 10/20 donne le niveau 4 ;
une note inférieure à 10/20 à l'une des épreuves est éliminatoire.

Les élèves pilotes natifs de France sont considérés avoir la compétence linguistique en français au vu de leur dossier. Par la suite, la mention est portée sur la licence au moment de la délivrance de la licence PPL en cas de réussite à l'épreuve pratique.

***Note** : Cette exigence étant récente, certains États peuvent ne pas encore l'exiger ; par conséquent, si vous n'avez pas cette mention sur votre licence pour la langue utilisée, assurez-vous, avant d'entreprendre un vol vers un pays étranger, que vous pouvez pénétrer dans son espace aérien.*

LA CIRCULATION AÉRIENNE

Qu'appelle-t-on « circulation aérienne » ?

C'est tout simplement l'ensemble des mouvements des aéronefs.

Dès que vous mettez en mouvement un aéronef par ses propres moyens (c'est-à-dire avec l'aide de sa motorisation), vous vous inscrivez dans la circulation aérienne.

Pour des raisons de sécurité et d'efficacité, la circulation aérienne est régie par des principes et des procédures qui constituent un ensemble de règles regroupées sous le terme de Réglementation de la Circulation Aérienne (appelé aussi RCA).

Pour pouvoir prendre place en toute sérénité au sein de la circulation aérienne, il vous incombera de la respecter.

Les deux types de circulations aériennes

On a distingué, pour des raisons d'ordre technique ou militaire la circulation aérienne générale et la circulation aérienne militaire.

La Circulation Aérienne Générale

Appelée aussi CAG, elle regroupe l'ensemble des mouvements des aéronefs civils et des aéronefs d'États soumis à la réglementation propre à ce type de circulation. Nous nous inscrivons dans la circulation aérienne générale.

La Circulation Aérienne Militaire

Appelée aussi CAM, elle est l'ensemble des mouvements des aéronefs militaires et des aéronefs en vol d'essai et de réception qui ne peuvent se conformer aux règles de la circulation aérienne générale.

Il faut comprendre par « vol d'essai » les vols nécessaires à la certification d'un type d'aéronef ou de certains de ses équipements et par « vol de réception » les vols pendant lesquels chaque aéronef sortant d'usine subit les tests certifiant qu'il est apte au vol (chaque avion subit un vol de réception avant d'être « réceptionné » par son propriétaire).

Ne vous y trompez pas : vous pourrez rencontrer des aéronefs militaires (par exemple des avions de transport comme le Transall) évoluant en circulation aérienne générale.

RÈGLES DE L'AIR RÈGLES GÉNÉRALES

Elles décrivent le comportement et les actions que le pilote doit adopter face aux situations habituelles et inhabituelles qu'il peut rencontrer au sol et en vol.

Les règles de l'air sont donc une véritable banque de données dans laquelle vous découvrirez comment agir pour être en accord avec la réglementation de la circulation aérienne.

Les règles de l'air ainsi que les informations relatives aux services de la circulation aérienne que vous devez connaître sont publiés dans un document intitulé « Guide VFR » édité par le Service de l'Information Aéronautique (SIA). Si vous souhaitez disposez du texte intégral adressez-vous au :

Service d'Information Aéronautique
8, avenue Roland-Garros – Boîte postale 245
33698 MERIGNAC cedex.
Tél. : 05 57 92 56 68 – Fax : 05 57 92 56 69

Tous les textes réglementaires sont par ailleurs disponibles sur le site du SIA :

www.sia.aviation-civile.gouv.fr

Les principaux chapitres qui constituent les Règles générales de l'air sont :

- les règles de vol ;
- les responsabilités du commandant de bord ;
- les hauteurs minimales de survol ;
- les règles de prévention des **collisions**.

Nous reviendrons sur leur contenu détaillé plus loin. Il s'agit dans l'immédiat de vous familiariser avec ces textes réglementaires.

Les deux types de règles de vol

Il y a deux manières de conduire son vol :

- à l'aide des repères visibles à l'extérieur,
- à partir des références données par les instruments qui sont à bord.

Si vous choisissez la première manière, vous volez suivant les règles de vol à vue appelées aussi **VFR** pour

« Visual Flight Rules ». Si vous adoptez la deuxième, vous volez suivant les règles de vol aux instruments ou IFR pour « Instruments Flight Rules ».

La pratique du vol VFR nécessite des conditions météorologiques permettant de conduire son vol en toute sécurité en appliquant la règle fondamentale « VOIR ET ÉVITER ». Ces conditions sont une visibilité minimale et une distance par rapport aux nuages minimale. Elles sont appelées **conditions VMC** (pour « Visual Meteorological Conditions »).

Malheureusement, elles ne sont pas toujours réunies. Si la visibilité ou la distance par rapport aux nuages est inférieure aux valeurs minimales, les conditions météorologiques sont dites **conditions IMC** (pour « Instrument Meteorological Conditions »). Le vol doit alors être piloté à partir des références instrumentales qui sont à bord. Les règles de vol sont alors les règles IFR.

L'objet de ce manuel est de vous permettre de voler en VFR, c'est-à-dire dans des conditions météorologiques VMC. Pour voler en IMC, il vous faudra obtenir la qualification IFR. Néanmoins dans certains types d'espaces aériens, une dérogation permettant de voler dans des conditions météorologiques de vol à vue inférieures à celles requises en espace aérien contrôlé : c'est le VFR spécial, que l'on traitera plus loin.

Retenons que voler en conditions IMC nécessite un entraînement particulier, rendu indispensable à cause des perturbations sensorielles importantes qu'induit la perte de la vue du sol : notre système d'équilibre de l'oreille interne est en permanence leurré par des indications sensorielles contradictoires. Attention donc à ne jamais nous placer dans ces conditions sans avoir subi une formation au vol sans visibilité.

Les responsabilités du commandant de bord

Votre fonction à bord sera celle de commandant de bord. C'est par votre jugement, vos décisions et vos actions que vous rendrez votre vol agréable et sûr.

N'oubliez pas que les jugements que vous élaborerez seront à l'origine des actions que vous mènerez, et des conséquences qui en découleront. Ainsi, votre **sécurité** dépendra intimement de votre **jugement**. Celui-ci ne sera que plus fiable si vous connaissez bien votre rôle et vos responsabilités :

- en tant que commandant de bord, vous êtes responsable de **la conduite** du vol et de l'aéronef. C'est la responsabilité que vous assumerez le plus tôt et le plus vite ;
- vous êtes aussi responsable de la **bonne application des règles de l'air**, même si c'est un autre pilote qui est aux commandes. Vous devez donc bien les connaître, pour être sûr de les appliquer de la bonne manière ;
- vous êtes enfin responsable de la **prévention des collisions**, cela en toute circonstance. C'est à vous d'éviter un rapprochement dangereux avec un autre aéronef, et à vous seul. Ne perdez pas de vue cette responsabilité : même dans le cas où vos trajectoires sont soumises à autorisation par la personne au sol avec qui vous êtes en contact radio, c'est à vous qu'incombe l'évitement des autres aéronefs.

Heureusement, vous y serez aidés dans certaines parties de l'espace aérien par les services de la circulation aérienne qui, selon le cas, devront assurer des espacements entre certains aéronefs ou pourront fournir des informations sur les aéronefs voisins.

Les hauteurs minimales de survol

La Réglementation de la Circulation Aérienne définit les hauteurs minimales de vol, qui doivent être respectées dans tous les cas sauf pour les besoins des décollages et des atterrissages. Il existe trois règles :

Règle 1

Sauf pour les besoins du décollage et de l'atterrissage, ou sauf autorisation des autorités compétentes, aucun vol VFR n'est effectué au-dessus des zones à forte densité des villes ou autres agglomérations ou de rassemblements de personnes en plein air à moins de 300 m (1 000 ft) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de 600 m autour de l'aéronef.

Règle 2

Ailleurs qu'aux endroits spécifiés pour la règle 1, un vol VFR ne doit pas être effectué à une hauteur inférieure à 150 m (500 ft) au-dessus du sol ou de l'eau ; toutefois :

- les planeurs effectuant des vols de pente ainsi que les ballons et les PUL peuvent faire exception à cette règle sous réserve de n'entraîner aucun risque pour les personnes ou les biens à la surface ;
- dans le cadre d'un vol d'instruction en avion, cette hauteur est ramenée à 50 m (150 ft) pour les entraînements aux atterrissages forcés ; d'autre part, une distance de 150 m par rapport à toute personne, tout véhicule, tout navire à la surface et tout obstacle artificiel est respectée en permanence

En dehors des vols d'instruction, la réglementation ne prévoit pas de hauteur minimale au-dessus des obstacles isolés qui dépasseraient la hauteur de 150 m au-dessus de la surface ou de distance latérale par rapport à ces mêmes obstacles : il vous appartient donc de vous tenir à l'écart afin de ne pas mettre en cause votre sécurité ni celle des tiers. Une marge de 150 m (500 ft) semble raisonnable. Votre altitude minimale de sécurité devra donc prendre en compte le franchissement des obstacles isolés notamment lorsque la visibilité en vol risque de ne pas permettre de voir l'obstacle suffisamment tôt pour l'éviter.

La dérogation accordée pour les entraînements aux « atterrissages forcés » concerne bien entendu

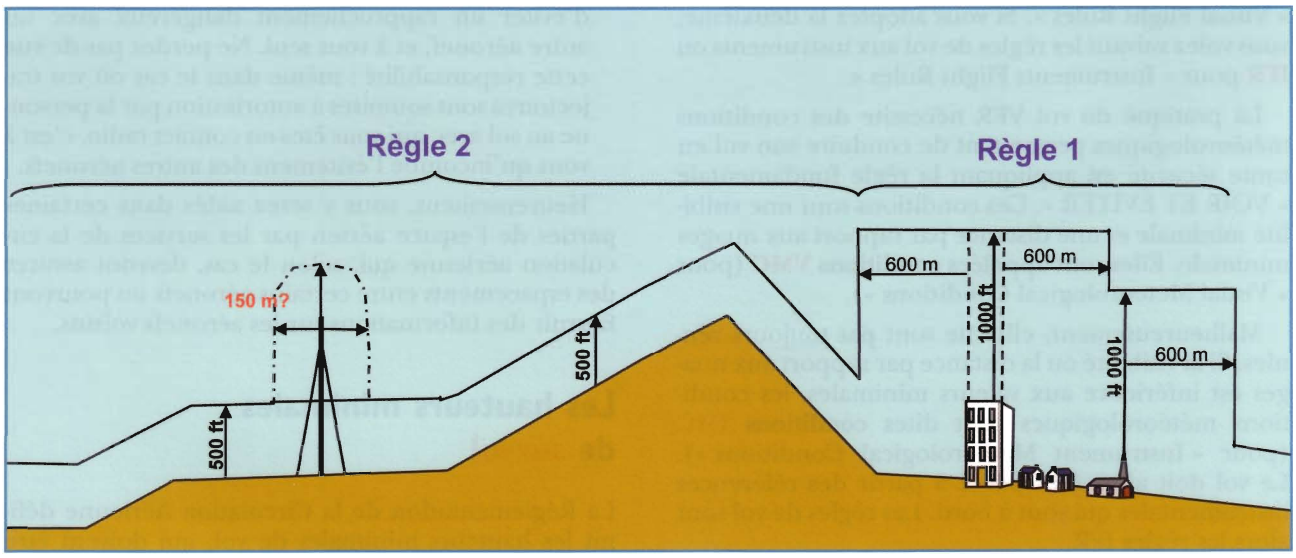


Fig. 185 – *Hauteur et distance minimale de survol.*

les entraînements aux « interruptions volontaires de vol » qui sont en quelque sorte aussi des atterrissages forcés mais qui sont désignés différemment dans l'Arrêté du 29 mars 1999 modifié relatif aux licences et qualifications de membres d'équipage de conduite des aéronefs (Arrêté FCL 1).

Il faut comprendre que plus votre hauteur par rapport aux obstacles est importante, plus vous disposez de temps pour agir sereinement en cas de problème. Voici un exemple de temps de vol avant l'impact en cas d'arrêt du moteur en fonction de votre hauteur, pour un avion léger courant :

hauteur de survol	temps de vol approximatif
6 500 ft	6 min
3 500 ft	3 min
500 ft	30 s

Vous constatez qu'à 500 ft, vous disposez d'environ 20 secondes entre l'arrêt de votre moteur et l'impact. Cette hauteur de 500 ft requise par la réglementation est à juste titre minimale, mais est très souvent insuffisante. C'est à vous de choisir votre hauteur pour avoir notamment assez de temps pour contrôler une panne, et d'ajuster votre altitude afin de voler suffisamment en sécurité, même en cas d'arrêt du moteur. *(voir l'illustration des règles 1 et 2 à la figure 185).*

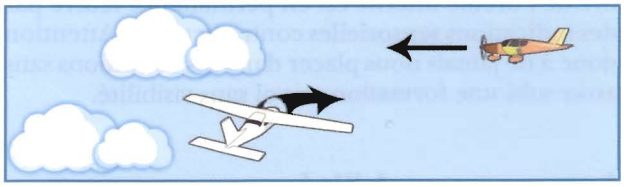


Fig. 186 – *En cas de route convergente, on doit céder le passage à l'avion que l'on voit sur la droite.*

Parc ou réserve naturelle *Park or nature reserve* — Étendus *Large* / Très petits *Small*		(Sauf indication contraire sur la carte) *(Unless otherwise stated on the chart)*
Installations portant une marque distinctive *Site with special marking*		1000 ft *
Agglomérations de largeur moyenne inférieure à 1200 m *Small built-up areas less than 1200 m mean wide*		1600 ft *
Agglomérations de largeur moyenne comprise entre 1200 m et 3600 m *Medium built-up areas between 1200 m and 3600 m mean wide*		3300 ft *
Agglomérations de largeur moyenne supérieure à 3600 m *Large built-up areas more than 3600 m*		5000 ft *
Ville de Paris *The city of Paris*	(ZONE P 23)	6600 ft AMSL *

** Hauteurs pour les aéronefs équipés d'un moteur à pistons ; pour les aéronefs équipés de plusieurs moteurs à pistons ou d'une ou plusieurs turbomachines, les valeurs sont respectivement : 3 300 ft, 3 300 ft, 3 300 ft, 5 000 ft, 6 600 ft*

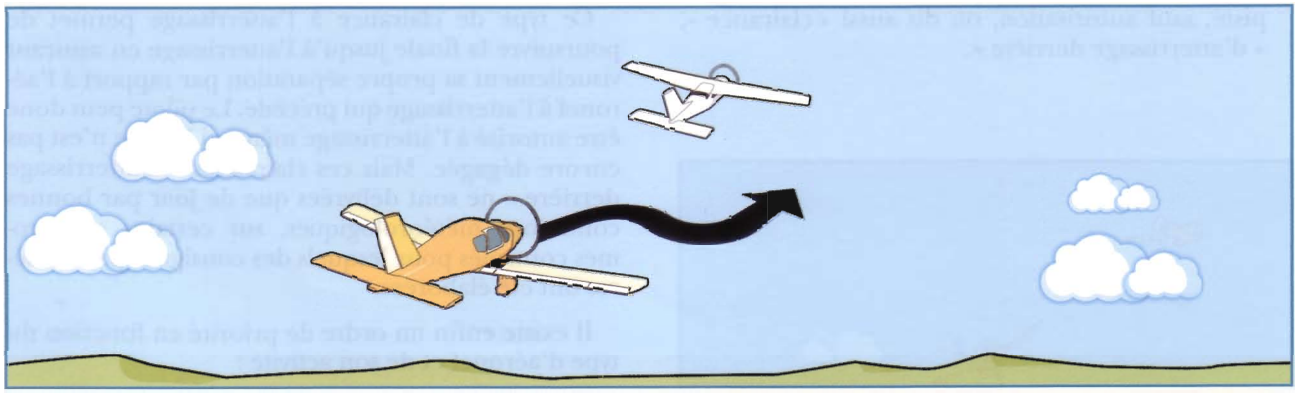


Fig. 187 – *Le dépassement d'un aéronef s'effectue toujours sur la droite.*

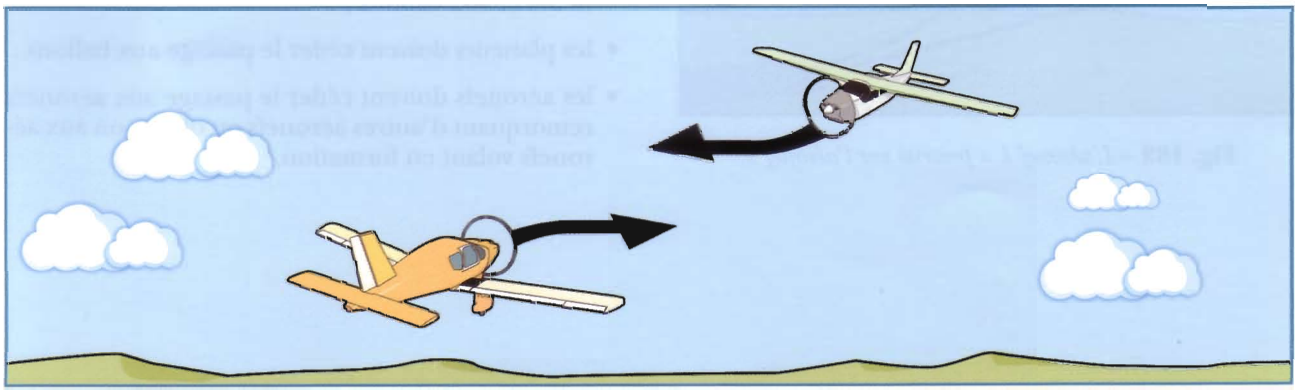


Fig. 188 – *En cas de rapprochement de face, chaque appareil effectue un changement de direction par la droite.*

Règle 3

Un arrêté du 10 octobre 1957 relatif au survol des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux prévoit :

- une hauteur de survol des agglomérations afin de limiter les nuisances sonores générées par les avions et du danger qui pourrait résulter d'un accident aérien ; elles sont résumées dans le tableau ci-dessous (extrait de la légende de la carte au 1/500 000 OACI publié par l'IGN ;
- une hauteur minimale de 300 mètres (1 000 ft) pour les aéronefs équipés d'un moteur à pistons, 1 000 mètres pour les autres aéronefs pour le survol :
  - d'usines isolées ;
  - de toutes autres installations industrielles;
  - d'hôpitaux, de centres de repos ou tout autre établissement ou établissement portant une marque distinctive;
  - ainsi que pour les vols suivant une direction parallèle à une autoroute et à proximité de celle-ci.
- Pour le survol de rassemblement de personnes, une hauteur minimale de :
  - 1 600 ft pour tout rassemblement de personnes ou d'animaux ;
  - 3 300 ft pour un rassemblement de 10 000 à 100 000 personnes ;
  - 5 000 ft pour plus de 100 000 personnes.

Les règles de prévention des collisions

Les règles générales sont les suivantes :

Ces règles générales sont complétées par des règles utilisables aux abords des aérodromes :

- un aéronef en vol a toujours la priorité sur un aéronef au sol. Ainsi, vous ne pouvez vous engager sur la piste si un aéronef est en finale ;
- lorsque deux aéronefs se préparent à atterrir, c'est celui qui est le plus bas qui est prioritaire (fig. 189 page suivante). Notez que vous ne pouvez utiliser cette règle pour doubler par le dessous un aéronef qui est en approche finale, ni pour vous placer en approche finale devant un aéronef qui serait déjà dans cette phase de vol ;
- un aéronef à l'atterrissage ou en approche finale ne doit pas franchir le seuil de piste tant que l'aéronef qui le précède n'a pas franchi l'extrémité de piste ou amorcé un virage, ou tant que tous les aéronefs le précédant à l'arrivée n'ont pas dégagé la

piste, sauf autorisation, on dit aussi « clairance », « d'atterrissage derrière ».

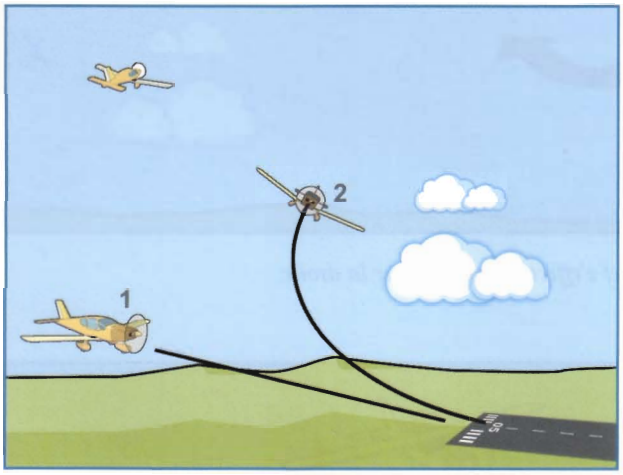


Fig. 189 – *L'aéronef 1 a priorité sur l'aéronef 2.*

Ce type de clairance à l'atterrissage permet de poursuivre la finale jusqu'à l'atterrissage en assurant visuellement sa propre séparation par rapport à l'aéronef à l'atterrissage qui précède. Le pilote peut donc être autorisé à l'atterrissage même si la piste n'est pas encore dégagée. Mais ces clairances « d'atterrissage derrière » ne sont délivrées que de jour par bonnes conditions météorologiques, sur certains aérodromes contrôlés pour lesquels des consignes particulières ont été élaborées.

Il existe enfin un ordre de priorité en fonction du type d'aéronef et de son activité :

- les aéronefs motopropulsés doivent céder le passage aux dirigeables, aux planeurs et aux ballons ;
- les dirigeables doivent céder le passage aux planeurs et aux ballons ;
- les planeurs doivent céder le passage aux ballons ;
- les aéronefs doivent céder le passage aux aéronefs remorquant d'autres aéronefs ou objets, ou aux aéronefs volant en formation.

MÉTÉO : LA PRESSION ET LA TEMPÉRATURE

La pression atmosphérique

En météorologie aéronautique, les pressions sont données, comme nous l'avons vu, en hPa. Nous avons vu aussi que la pression correspondant aux conditions standard au niveau de la mer est de 1 013,25 hPa. Nous verrons en altimétrie que cette valeur particulière revêt une grande importance.

Variations verticales

L'air est un mélange de gaz compressibles. On constate que la pression atmosphérique diminue rapidement lorsque l'on s'élève. Cette diminution est plus sensible dans les basses couches et s'atténue lorsque l'altitude devient importante.

Variations horizontales

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique est variable. Dans nos régions, elle peut osciller entre 950 hPa et 1 050 hPa.

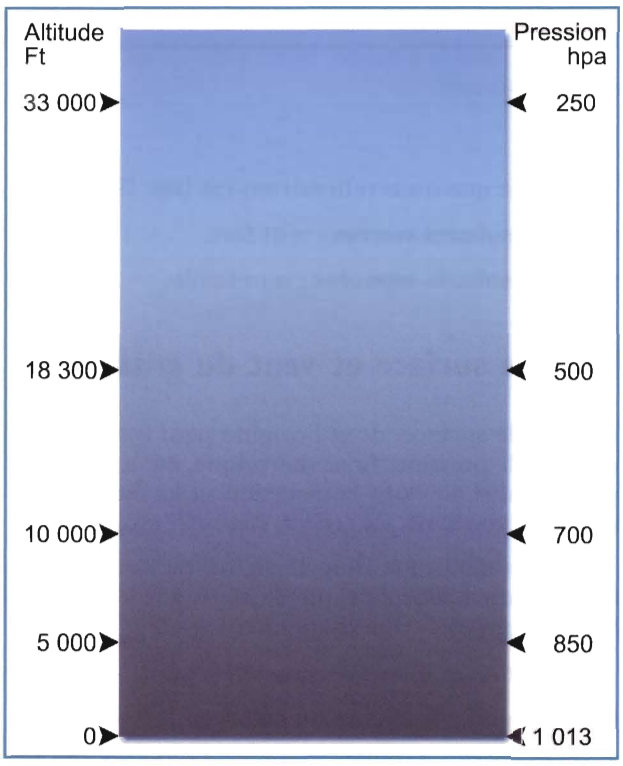


Fig. 190

Le **champ de pression** est obtenu en traçant les différentes lignes **isobares** qui sont les courbes joignant tous les points où s'exerce la même pression.

Les figures isobariques ont une appellation normalisée (fig. 191) :

- **anticyclone** : région où la pression atmosphérique est forte, son centre est représenté par les lettres A (pour anticyclone) ou H (pour High) ;
- **dépression** : région où la pression atmosphérique est faible, son centre est représenté par les lettres D (pour Dépression) ou L (pour Low) ;
- **dorsale** : axe de hautes pressions ;
- **thalweg** : axe de basses pressions ;
- **col** : un col sépare deux anticyclones ou deux dépressions.

Vent et champ de pression

Le vent est un déplacement d'air directement associé aux variations du champ de pression atmosphérique.

Souvent, nous nous représentons le vent comme étant un écoulement d'air dans le plan horizontal. Sachons qu'il existe aussi des vents à composante verticale, parfois appelés « ascendances » ou « descendances ».

Relation avec le champ de pression

Si la Terre était immobile, le vent se dirigerait directement des hautes pressions vers les basses pressions. Par suite de la rotation terrestre, il se produit une déviation des mouvements de l'air vers la droite dans l'hémisphère nord, et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

La direction du vent devient alors sensiblement parallèle aux isobares.

Ainsi, dans l'hémisphère nord, le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre autour des anticyclones, et en sens inverse autour des dépressions (fig. 192).

Dans l'hémisphère nord, un observateur qui se place face au vent a les basses pressions à sa droite et les hautes pressions à sa gauche.

Ce phénomène est inversé dans l'hémisphère sud, où le vent tourne autour des anticyclones dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

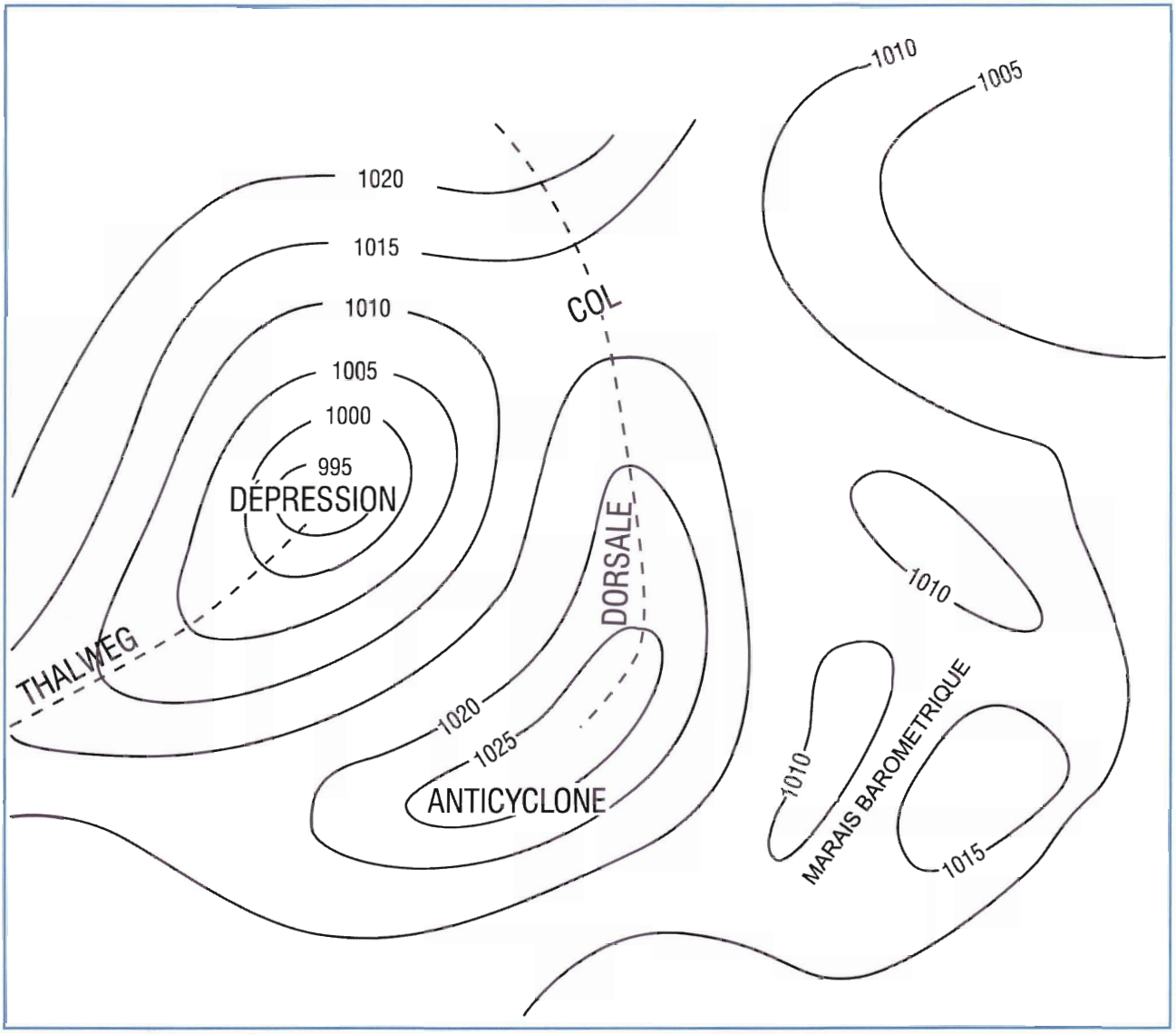


Fig. 191 – *Exemple de champ de pression.*

Ce sont les différences de pression qui créent les forces mettant l'air en mouvement. Ces forces sont d'autant plus importantes que, sur une distance donnée, les variations de pression sont plus grandes, autrement dit que les isobares sont plus proches les unes des autres.

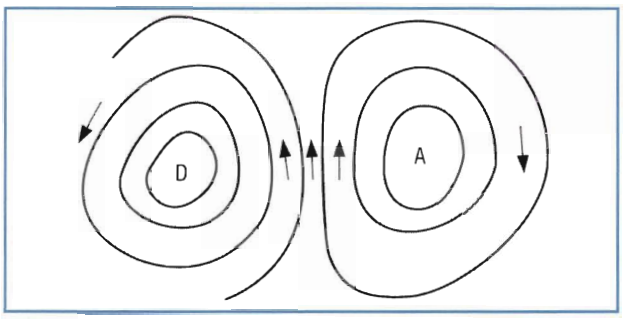


Fig. 192 – *Vent et champ de pression.*

La règle que nous retiendrons est (fig. 193).

- **lignes isobares serrées** : vent fort,
- **lignes isobares espacées** : vent faible.

Vent de surface et vent du gradient

Le vent de surface, dont l'origine peut être variable (champ de pression, brise thermique, etc.), est un déplacement d'air dont la direction et la vitesse subissent l'influence du sol (relief, rugosité, etc.).

Le vent d'altitude dont l'origine est la différence de pression atmosphérique existant entre plusieurs lieux est appelé « vent du gradient ».

Le vent du gradient se caractérise par :

- son origine : le champ de pression ;
- sa direction : parallèle aux lignes isobares (du fait de la force de Coriolis) ;

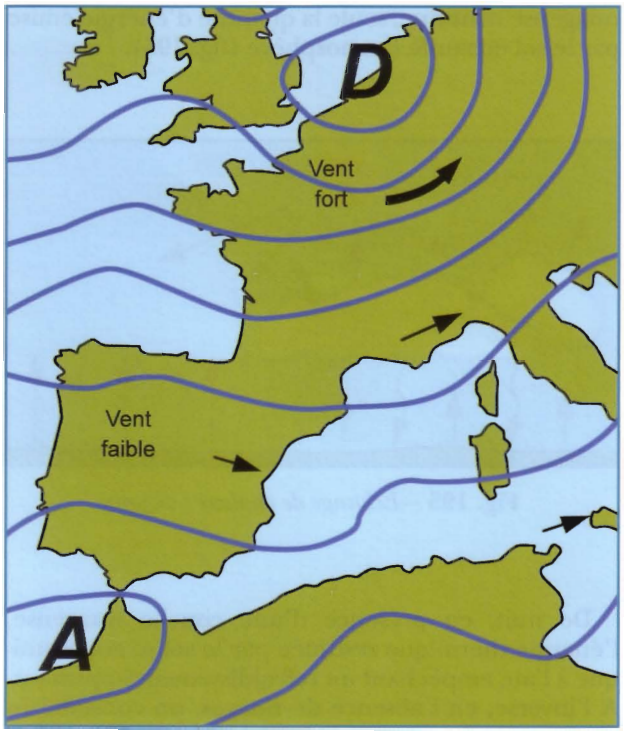


Fig. 193

- sa vitesse : proportionnelle au resserrement des lignes isobares (lignes serrées : vent fort, lignes espacées : vent faible).

Unité de mesure, direction et observation du vent

Unité

L'unité internationale de la **vitesse du vent** est le m/s. En aéronautique, on utilise **le nœud**, noté **kt** pour « Knot » (en anglais). La correspondance entre le kt et le m/s est :

1 kt = 0.5 m/s ou 1 m/s = 2 kt

Notons que l'on utilise parfois improprement le terme « force » pour désigner la vitesse du vent. Retenons que le vent est un déplacement d'air, et qu'un déplacement est quantifié par une vitesse, et non par une force.

Direction du vent

C'est la direction **d'où vient** le vent. Elle est exprimée en degrés, et a pour référence le **Nord géographique** dans les messages météo, le **Nord magnétique** dans les messages transmis par un organisme de la circulation aérienne. L'angle est toujours mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre. La direction du vent a donc une valeur comprise entre 1 ° et 360 °.

Appareils de mesure

Deux ensembles différents d'appareils de mesures sont utilisés suivant que l'on détermine le vent en surface ou le vent en altitude.

- La direction du vent en surface est mesurée à l'aide d'une **girouette**, sa vitesse est déterminée à l'aide d'un **anémomètre** ;
- Le vent en altitude est mesuré en direction et en vitesse grâce au suivi radar de la trajectoire de ballons sondes gonflés à l'hélium, équipés d'un réflecteur radar, et qui ont une vitesse ascensionnelle de l'ordre de 300 mètres/minute ;
- Des images satellitaires sont utilisées pour avoir une idée approchée du vent sur les océans et les régions désertiques.

Observation du vent

En l'air, l'observation de fumées de cheminées, de feux domestiques, etc. permettent une estimation de la direction du vent en surface et, très grossièrement, de sa vitesse. A la direction observée, il conviendra d'ajouter une quinzaine de degrés pour avoir le vent en altitude.

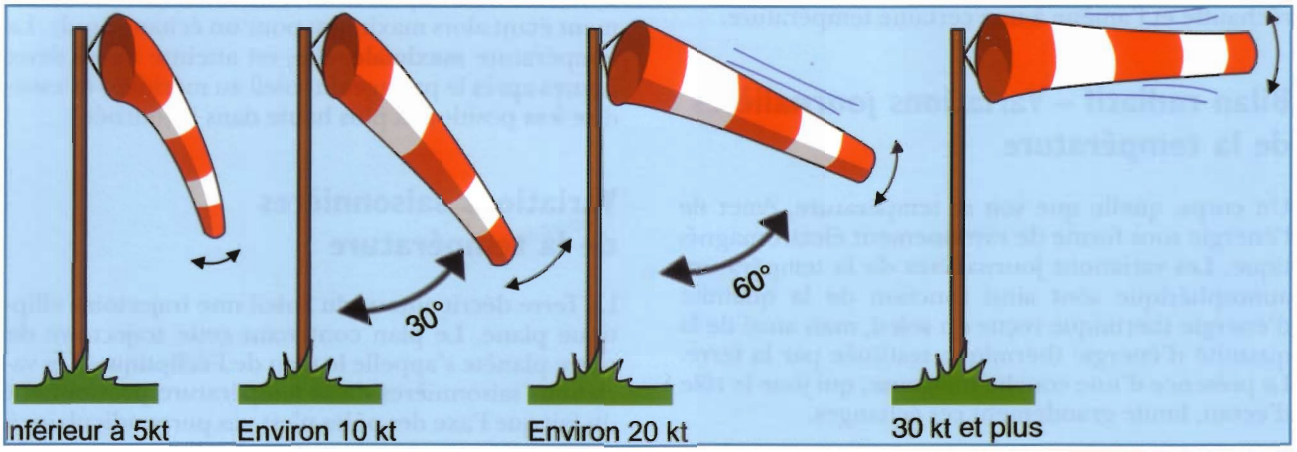


Fig. 194 – *La manche à air.*

Attention en présence de relief le vent au sol et en altitude sont souvent très différents et l'extrapolation indiquée ci-dessus n'est plus valable.

Exemple :

On constate d'après l'observation d'une fumée au sol que la direction du vent (d'où vient le vent) est approximativement du 315°. Nous pouvons déduire que le vent en altitude (au-dessus de 1 000 ft AGL) est de l'ordre du 330°.

Au sol, le déplacement plus ou moins rapide des nuages et l'observation de leur trajectoire donne une idée de la direction et de la vitesse du vent. Mais l'observation de la manche à air permet une estimation plus précise du vent en surface, en particulier pour la détermination de sa vitesse. Chaque bande, rouge ou blanche, symbolise approximativement 5 kt de vitesse ; vous pouvez également déterminer la force moyenne en retenant la règle suivante : 10 kt de vent par 30 ° d'inclinaison de la manche. (fig. 194).

Variations de la température

Le rayonnement solaire est la source primaire de l'énergie reçue par l'atmosphère et la surface terrestre. Les manifestations évidentes de cet apport d'énergie sont la circulation des masses d'air et les échanges continus de chaleur, responsables notamment des variations de température.

Accumulation de chaleur dans le sol ou la mer Transmission à l'atmosphère

La chaleur est un transfert d'énergie agissant de façon désordonnée. L'énergie thermique qui nous vient du soleil nous arrive sous forme de **rayonnement**. En l'absence de nuages, l'atmosphère laisse passer une grande partie de ce rayonnement : seule une faible partie est captée par l'air de la troposphère. Le rayonnement arrive ainsi jusqu'au sol qui, selon sa nature, en absorbe une plus ou moins grande partie, ce qui le réchauffe et l'amène à une certaine température.

Bilan radiatif – Variations journalières de la température

Un corps, quelle que soit sa température, émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Les variations journalières de la température atmosphérique sont ainsi fonction de la quantité d'énergie thermique reçue du soleil, mais aussi de la quantité d'énergie thermique restituée par la terre. La présence d'une couche nuageuse, qui joue le rôle d'écran, limite grandement ces échanges.

De jour, en l'absence de nuage, on constate donc un échauffement de l'air. En présence d'une couche nuageuse continue, seule la quantité d'énergie émise par le sol échauffe l'atmosphère (fig. 195).

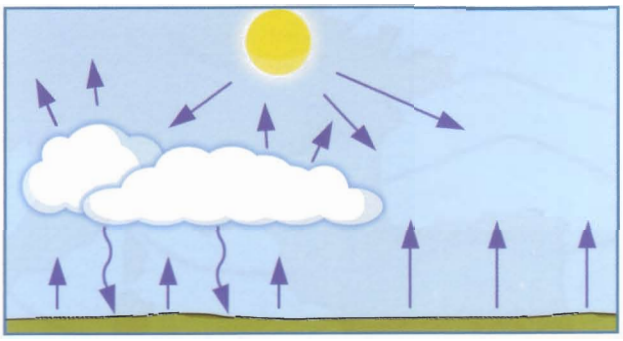


Fig. 195 – *Échange de chaleur : de jour.*

De nuit, en présence d'une couche nuageuse, l'énergie thermique restituée par le sol se communique à l'air, empêchant un refroidissement important. A l'inverse, en l'absence de nuages, on constate un abaissement important de la température (fig. 196).

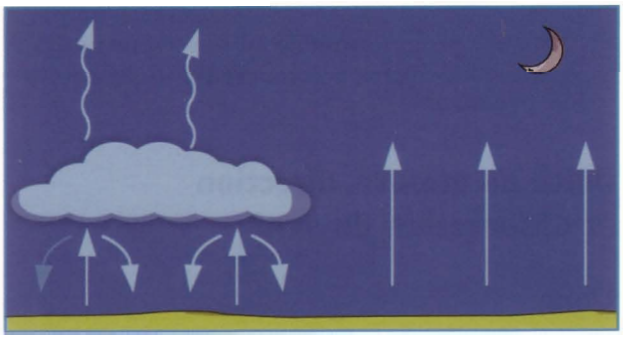


Fig. 196 – *Échange de chaleur : de nuit.*

Suite à ces échanges d'énergie, la température varie chaque jour entre une valeur minimale et une valeur maximale. La température **minimale** est obtenue environ 1 heure après le lever du soleil (le refroidissement étant alors maximum pour un échange nul). La température **maximale**, elle, est atteinte une à deux heures après le passage du soleil au méridien (c'est-à-dire à sa position la plus haute dans la journée).

Variations saisonnières de la température

La Terre décrit autour du Soleil une trajectoire elliptique plane. Le plan contenant cette trajectoire de notre planète s'appelle le plan de l'écliptique. Les variations saisonnières de la température proviennent du fait que l'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à ce plan. Il forme avec le plan de l'écliptique un angle de 23 ° 27'.

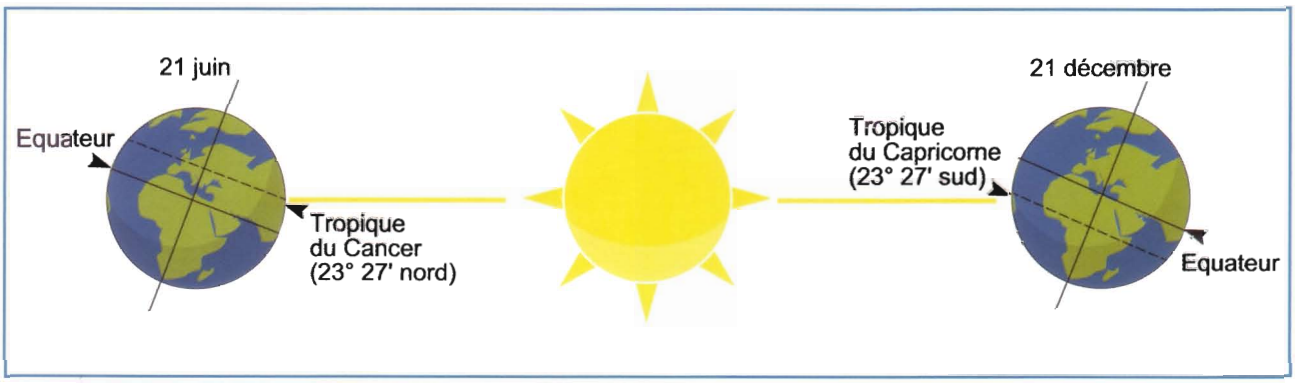


Fig. 197 – *Les saisons.*

De ce fait, au cours d'une même année, un point de la surface terrestre n'est jamais « éclairé » de la même manière (fig. 197).

En Europe, la quantité d'énergie thermique reçue par le sol pour une même surface est plus faible au mois de décembre qu'au mois de juin.

Les échanges thermiques

Nous ne parlerons ici que de la convection thermique qui est le principal moyen d'échange thermique dans les basses couches de l'atmosphère.

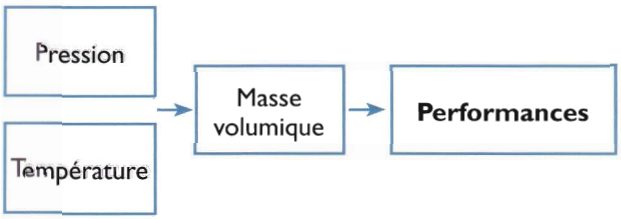
L'air en contact avec le sol s'échauffe par transfert de chaleur du sol vers l'air. Sa densité diminuant, l'air s'élève. Il est remplacé par de l'air plus froid, qui s'échauffe à son tour. Le mouvement de **convection** est créé (fig. 198). Plus le rayonnement solaire est important plus le phénomène de convection est actif.

La masse volumique de l'air

La masse volumique de l'air est la masse d'air contenue dans un volume d'un mètre cube. La densité de l'air, que nous venons de voir plus haut, n'est que le rapport de cette masse volumique avec une masse volumique de référence.

La masse volumique est une donnée que vous ne retrouverez pas indiquée sur les cartes et autres documents d'information météorologique. Elle est par contre mesurable ou tout au moins calculable à l'aide des paramètres température et pression.

Elle est essentielle pour le pilote : elle conditionne pour une très large part les performances des avions, et notamment les performances au décollage et à l'atterrissage.



Nous aborderons plus en détails cette notion de performances liées à la masse volumique de l'air. Il vous est néanmoins possible de constater dans le **manuel de vol** de votre avion à la section « Performances » les modifications des distances nécessaires au décollage, par exemple, lorsque la température ou la pression, ou les deux, varient.

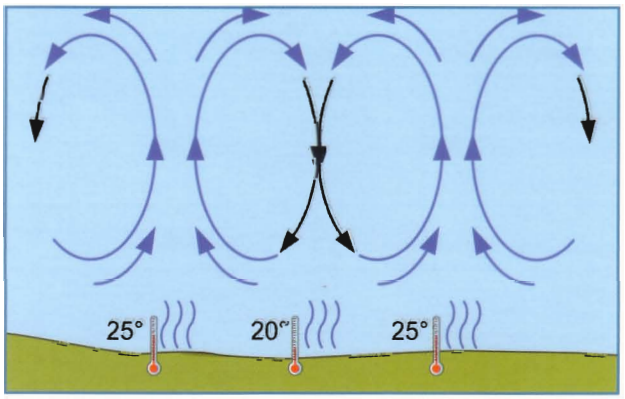


Fig. 198 – *La convection.*

Objectif de la phase :

Vous maîtrisez maintenant le pilotage de base.
Vous allez explorer le domaine d'utilisation de votre avion et de l'espace aérien en vous déplaçant, tout au long de cette phase, sur des aérodromes extérieurs de faible et moyenne intensité de trafic.
Vous allez perfectionner votre pilotage et étudier plus particulièrement l'approche.

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.1**

La navigation 183

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.2**

Décrochage et hypersustentation 205

Approche finale et atterrissage 209

Le circuit de piste à basse hauteur 221

Vol moteur réduit 222

Navigation 225

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.3**

Le VOR, le radiocompas, le Gonio 234

Les cartes d'aérodromes 244

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.4**

L'avion – son équilibre – sa stabilité 246

Le manuel de vol, son utilisation pratique 258

Météorologie 266

PHASE 3

PHASE III

UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.1
LA NAVIGATION

DÉPLACEMENT SUR LA SURFACE DE LA TERRE

La pratique de l'aviation légère dans le cadre du brevet de pilote privé avion est avant tout un loisir. Mais l'avion, même léger, est un moyen de transport et son utilisation est synonyme de déplacement.

L'objectif premier du pilote est de faire en sorte que ce déplacement s'accomplisse en toute sécurité. Pour cela, deux conditions doivent être remplies :

- le pilote doit, à tout moment, être capable de déterminer sa position sur la surface de la Terre ;
- il doit être en mesure de matérialiser une trajectoire permettant d'aller d'un point A à un point B, pour ensuite appliquer cette trajectoire aux mouvements de son avion.

La navigation est l'ensemble des moyens qui permettent de réaliser ces deux conditions.

Modélisation de la Terre : le globe terrestre

Pour naviguer, nous avons besoin d'une représentation simple de notre planète. La forme générale que nous lui connaissons nous pousse à choisir une modélisation sphérique.

La sphère terrestre

C'est en quelque sorte la version « lisse », dépourvue de toute aspérité (vallées, montagnes, etc.), et simplifiée dans sa forme générale, de notre planète.

La considérer comme une sphère simplifie considérablement notre tâche de représentation :

Nous voilà en présence d'une boule qui tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles, qui est partagée en deux hémisphères que nous appelons « Nord » et « Sud », dont la ligne commune est l'équateur (fig. 199).

Les limites du modèle sphérique

Cette représentation a ces limites.

Même dans sa forme très générale, la Terre ne s'apparente pas à une sphère, mais plutôt à une boule aplatie. En effet, le manteau terrestre étant liquide dans sa quasi-totalité, la Terre de par son mouvement de rotation sur elle-même, se déforme : elle est aplatie aux pôles.

Pour des applications nécessitant une grande précision, cette déformation doit être intégrée dans le modèle choisi.

On construit donc des modèles plus proches de la réalité que la sphère. C'est le cas du « géoïde », tout aussi « lisse » que la sphère, mais qui prend en compte les déformations générales de la planète, dont l'aplatissement polaire.

Le géoïde sert de base de représentation pour les systèmes de navigation tels que le GPS (« Global Positioning System »). Il est intéressant de connaître son existence. Nous reviendrons plus complètement sur sa description lors de l'étude du GPS.

Pour nos calculs de navigation, nous nous satisferons de l'approximation sphérique.

Déplacement sur la sphère terrestre

Il y a plusieurs manières d'aller d'un point A à un point B. La démarche la plus naturelle est de prendre le plus court chemin.

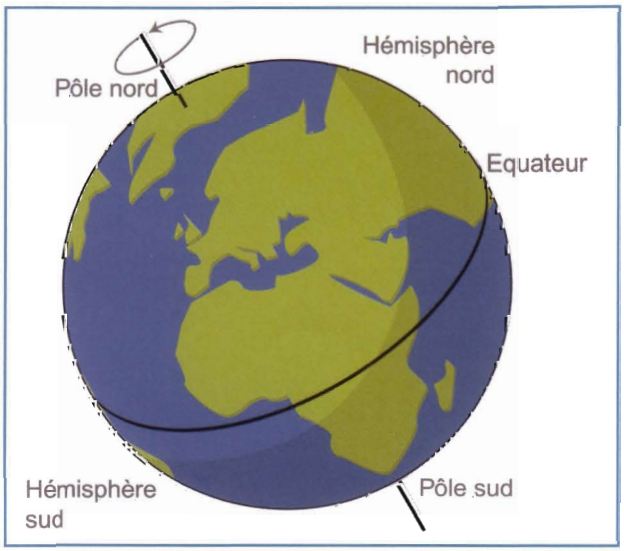


Fig. 199

Lorsque l'on se déplace sur un plan, le plus court chemin entre deux points est bien sûr la ligne droite. Mais sur une sphère, quel est le plus court chemin ?

Avant de répondre, décrivons deux types de cercles qu'il est possible de tracer sur une sphère.

Petits et grands cercles

On appelle « grand cercle » la ligne d'intersection entre la surface terrestre et un plan passant par son centre (fig. 200). L'équateur est un grand cercle particulier : c'est le grand cercle dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles.

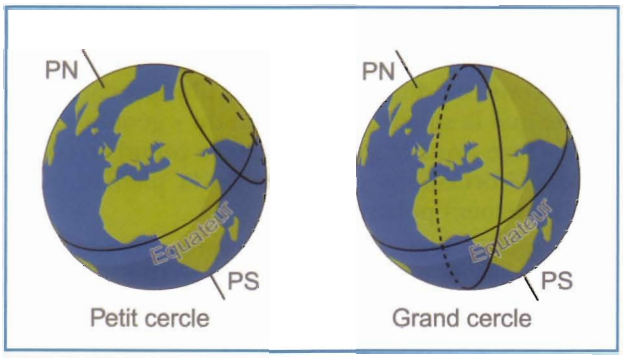


Fig. 200

On appelle « petit cercle » la ligne d'intersection entre la Terre et un plan ne passant pas par son centre (fig. 200).

Plus court chemin sur une sphère
Orthodromie

Comme on le voit sur la figure 201, le plus court chemin pour aller d'un point A à un point B sur une sphère est de suivre un grand cercle. Suivre un petit cercle revient à « faire un détour ».

La géométrie démontre que le grand cercle est la courbe de plus courte distance sur une sphère.

Retenons que la trajectoire qui suit un grand cercle est appelée « **orthodromie** ». L'orthodromie est la trajectoire **de plus court chemin** sur la sphère (en distance, bien sûr).

Le calculateur de navigation intégré à la plupart des systèmes de positionnement par satellite GPS calcule des orthodromies lorsqu'il détermine la trajectoire séparant deux points.

Repérage sur la sphère terrestre

Comme nous l'avons dit plus haut, une bonne navigation passe par un bon repérage sur la sphère.

On a donc tracé sur celle-ci des lignes de repères dont les plans sont perpendiculaires : les parallèles et les méridiens.

Parallèles et méridiens

Les parallèles sont des petits cercles obtenus de la manière suivante : on prend l'axe des pôles et on coupe

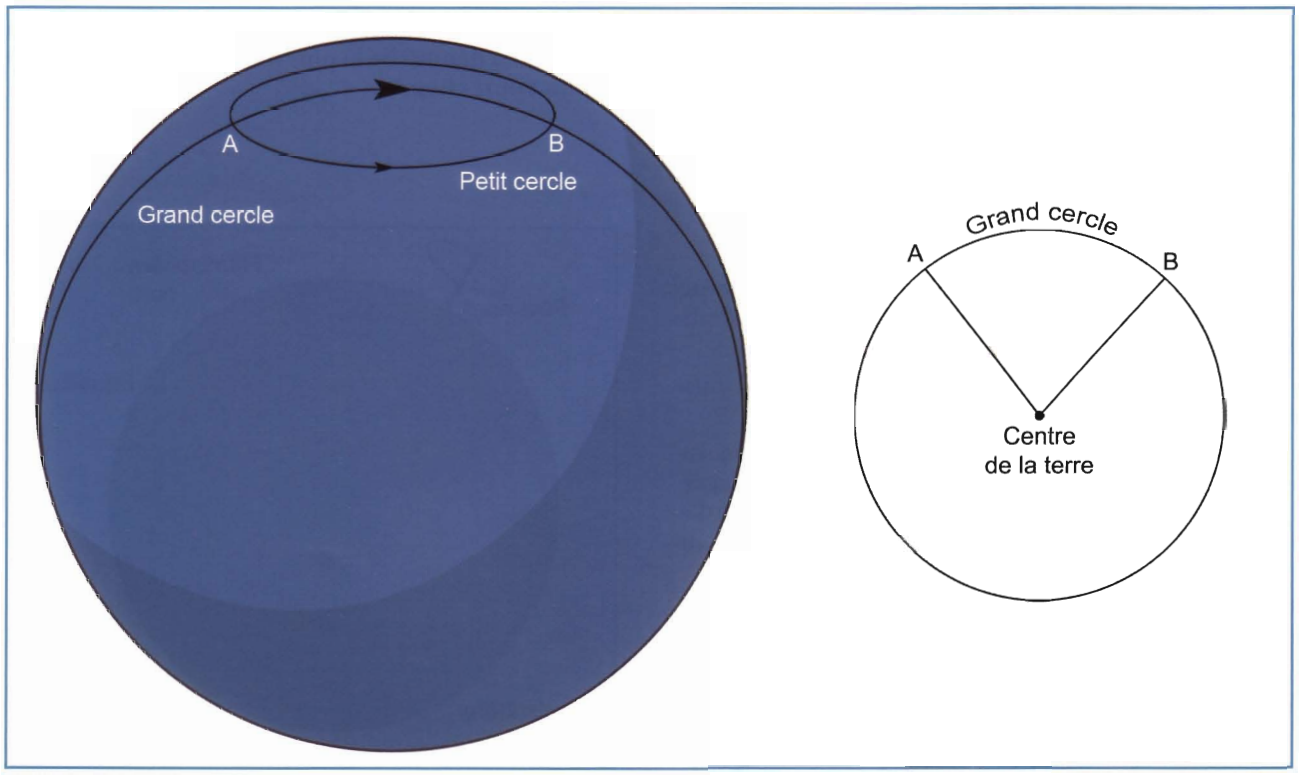


Fig. 201 – *Le plus court chemin sur une sphère : le grand cercle.*

la sphère avec des plans perpendiculaires à cet axe (fig. 202). La particularité des ces plans est qu'ils sont parallèles entre eux. D'où le nom de « parallèles ». L'équateur est un parallèle particulier : c'est celui qui est obtenu en coupant la sphère avec un plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la sphère terrestre.

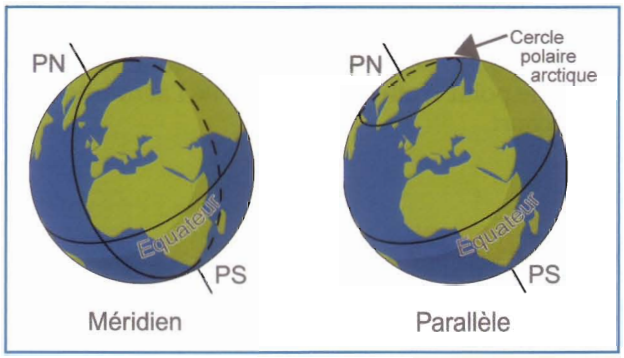


Fig. 202

Les petits cercles situés à la latitude 66 ° 34 N est appelé « cercle polaire arctique », à la latitude 66 ° 34 S, « cercle polaire antarctique ». Les méridiens sont des demi-grands cercles passant par les pôles. Le méridien d'un point quelconque de la sphère est donc le demi-grand cercle passant par les pôles et par ce point (fig. 202).

On notera que les plans supportant les parallèles sont perpendiculaires aux plans supportant les méridiens.

Coordonnées géographiques d'un point

Nous disposons à présent d'un canevas tracé sur la sphère, constitué des parallèles et des méridiens. En chaque point de la sphère passent un parallèle et un méridien.

La position géographique d'un point peut donc être définie avec précision si l'on identifie son méridien et son parallèle par rapport à un méridien et un parallèle particulier constituant des éléments de référence.

Parallèle et méridien de référence

Le parallèle choisi comme référence est **l'équateur**. C'est le parallèle 0 °.

Le méridien qui a été choisi comme référence est celui qui passe par l'observatoire astronomique d'une localité d'Angleterre nommée Greenwich (à noter que ledit observatoire ne s'y trouve plus). Ce **méridien de Greenwich**, appelé aussi méridien origine, est le méridien 0 °.

Coordonnées géographiques latitude et longitude

Pour identifier un parallèle, on évalue l'angle entre la verticale du lieu et l'équateur (fig. 203). On identifie un méridien en évaluant l'angle le séparant du méridien de référence (fig. 203). Ces angles sont appelés **coordonnées géographiques**.

Les coordonnées géographiques d'un point sont :

- la latitude,
- la longitude.

Les coordonnées géographiques d'un point sont toujours présentées dans cet ordre : latitude puis longitude. Il est important de connaître cet ordre, en particulier pour la lecture d'un afficheur de système de positionnement par satellite GPS.

La **latitude**, notée parfois L, d'un point de la sphère est l'angle formé par la verticale en ce point et le plan de l'équateur (fig. 203).

Elle est mesurée en degrés et minutes sexagésimaux, de 0 ° à 90 °, Nord et Sud. La France métro-

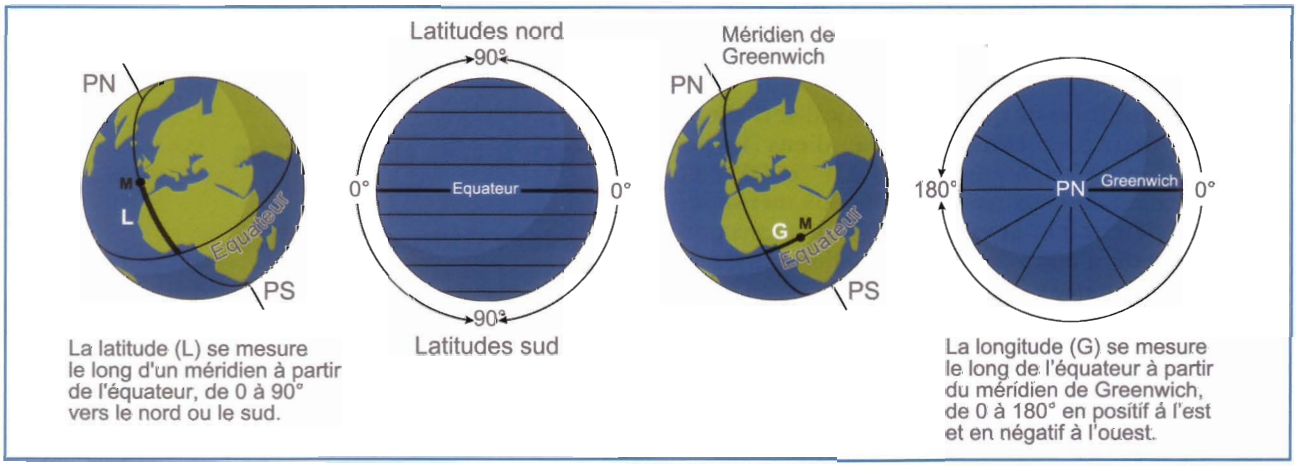


Fig. 203 – *Les coordonnées géographiques d'un point : longitude et latitude.*

politaine est située entre 43 ° de latitude Nord et 51 ° de latitude Nord.

Elle est dite « Nord » (N) ou « Sud » (S) suivant que le point considéré est dans l'hémisphère Nord ou Sud. Elle s'exprime avec deux chiffres pour les degrés et deux chiffres pour les minutes (les secondes ou les fractions de minutes s'ajoutent à ces deux derniers chiffres) : par exemple, une latitude de 2 degrés et 27 minutes Nord s'exprime 02 ° 27' N.

On a par exemple :

Greenwich : 51 ° 28' N
New York : 41 ° 00' N

La **longitude**, notée parfois G, d'un point de la sphère est l'angle formé entre le méridien du point considéré et le méridien de Greenwich (fig. 203).

Dans toutes les applications aéronautiques, elle est, comme la latitude, mesurée en degrés et minutes sexagésimaux, de 0 ° à 180 ° Est ou Ouest.

Elle est dite Est (E) ou Ouest (W : en anglais west) suivant que le point est situé à l'Est ou à l'Ouest du méridien de Greenwich. Elle s'exprime à l'aide de trois chiffres pour les degrés et deux chiffres pour les minutes (les secondes ou les fractions de minutes s'ajoutent à ces deux derniers chiffres). Par exemple, une longitude de 3 degrés et 38 minutes ouest s'exprime 003 ° 38' W.

Paris est par exemple situé en 002 ° 12' de longitude est, notée 002 ° 12' E.

De même :

Greenwich : 000 ° 00'
New York : 074 ° 00' W

Les coordonnées géographiques d'un point sont donc constituées de sa latitude et de sa longitude.

Par exemple :

New York : 41 ° 00' N – 74 ° 00' W

Attention

Certaines cartes notent les longitudes et latitudes en grades. Elles prennent généralement le méridien de Paris comme méridien origine.

Exercices de lecture de coordonnées sur une carte :

1. – *Quelles sont les coordonnées de l'aérodrome de Brienne représenté sur la carte aéronautique (fig. 204) ?*

Pour répondre à cette question, on localise d'abord sur la carte deux parallèles et deux méridiens : les parallèles 48 ° et 49 ° N, les méridiens 004 ° et 005 ° E. L'identification de deux parallèles et deux méridiens permet de déterminer la valeur des graduations portées sur chacun d'eux : chaque graduation représente 1 minute d'angle.

On mène, à l'aide d'une règle, une parallèle au parallèle et au méridien à partir de Brienne. On lit alors :

- la latitude sur le méridien : la latitude est 48 ° 25',5N ;
- la longitude est de 004 ° 29 E.

2. – *Localisez et donnez le nom du lieu dont les coordonnées géographiques sont :*

Latitude : 48 ° 06,5' N
Longitude : 004 ° 48,5' E

Après avoir identifié la valeur des graduations, on repère sur un méridien la latitude 48 ° 06,5 N. On trace ensuite une parallèle au parallèle le plus proche représenté sur la carte (le 48 ° 00 N).

On repère sur un parallèle la longitude 004 ° 48,5' E et on trace une parallèle au méridien le plus proche (le 005 °00 E). Le point d'intersection des deux tracés est le point recherché. Il s'agit de l'aérodrome de Juvancourt.

LES CARTES

Le chapitre précédent nous a permis de nous repérer sur la sphère. Mais nous ne pouvons pas utiliser une maquette de la Terre pour la préparation de notre vol car il faudrait qu'elle soit immense.

Il nous faut donc trouver un autre outil plus facile d'emploi : la surface plane étant la plus adaptée à un cockpit d'avion.

On a cherché depuis fort longtemps à représenter la sphère sur une surface plane : les navigateurs, puis ensuite les aviateurs ont toujours eu grand besoin d'un outil qui permette :

- de se repérer ;
- de savoir dans quelle direction aller.

Mais la représentation de la sphère terrestre sur une surface plane n'est pas simple : une surface sphérique n'est pas développable, c'est-à-dire qu'elle ne peut être appliquée sur un plan sans déchirure. On ne peut pas la faire coïncider avec un plan sans lui faire subir des déformations.

On utilise ainsi des procédés permettant de représenter sur une surface plane une portion de la sphère de telle sorte que, malgré les déformations inévitables, cette représentation plane soit un bon compromis entre les propriétés suivantes, selon l'utilisation que l'on fera de la carte :

- conservation des angles ;
- conservation des distances.

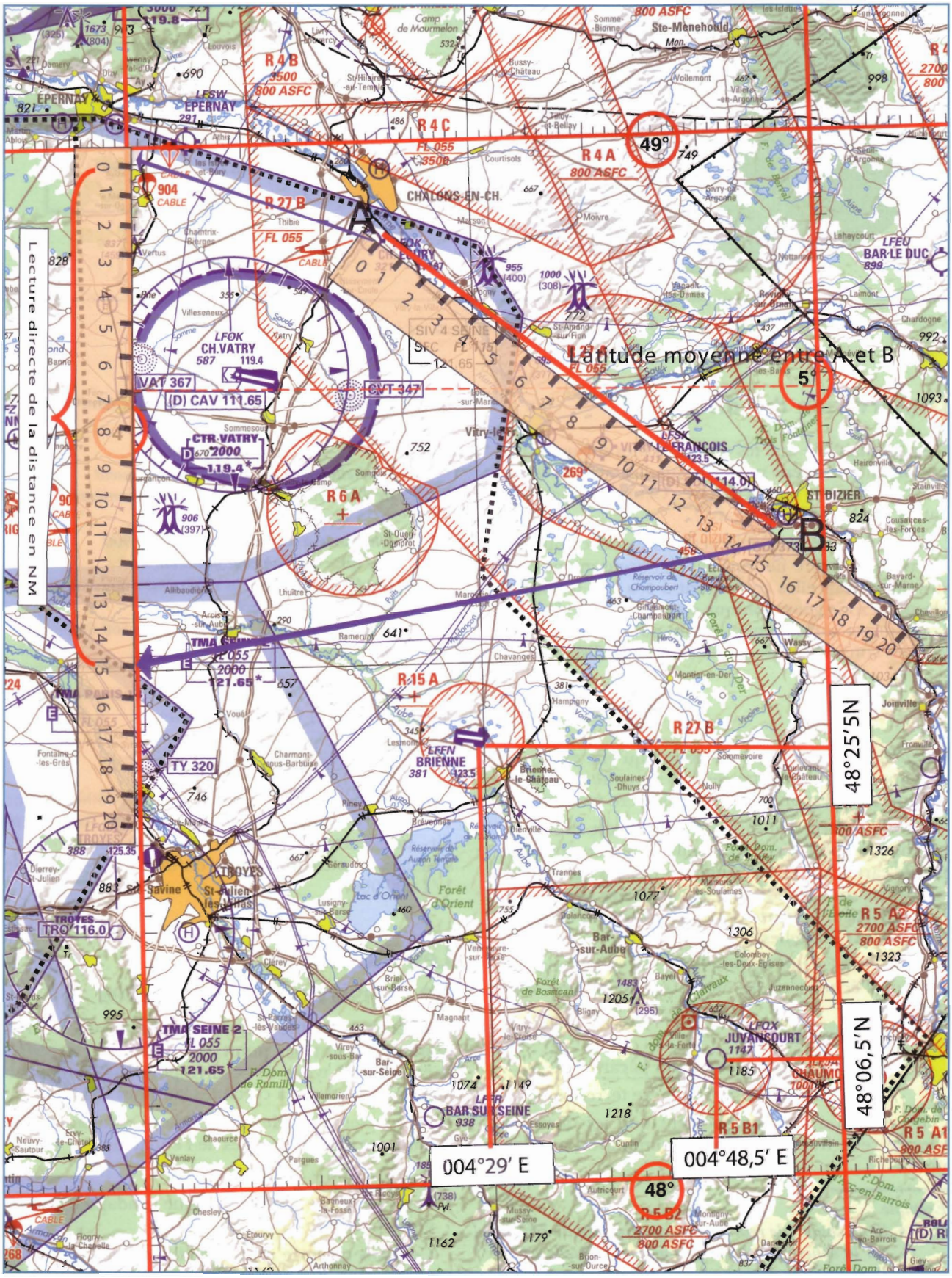
Propriétés des cartes

Conservation des angles

En général, toutes les cartes utilisées en navigation conservent les angles : à un angle sur la sphère correspond un angle égal sur la carte (fig. 205).

Cette propriété des cartes s'appelle la **conformité**.

Elle est très importante : c'est grâce à la conformité des cartes que nous pouvons bâtir notre navigation, en orientant localement une trajectoire.



Carte IGN 1:500 000 OACI © IGN - Paris - 2007 – Autorisation n° 21070455 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 204 – *Mesure d'une distance.*

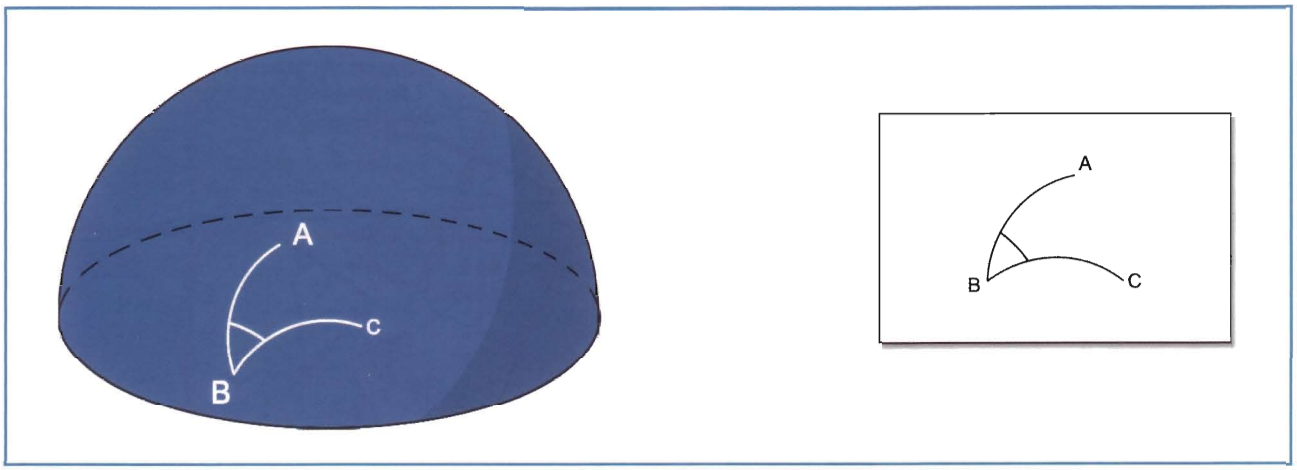


Fig. 205 – *L'angle représenté sur la carte est égal à l'angle sur la Terre.*

Conservation des distances

Il est souhaitable que les distances lues sur une carte aéronautique soient proportionnelles aux distances correspondantes sur la sphère. Cette propriété des cartes s'appelle l'équidistance.

Les méthodes de construction des cartes utilisées en aviation légère ne sont pas rigoureusement équidistantes. Mais elles conservent ***à peu près*** les distances sur la zone géographique couverte par un feuillet. L'erreur est suffisamment petite pour la navigation, et nous considérerons qu'elles sont équidistantes.

L'échelle

L'échelle d'une carte, pour autant qu'elle existe, est le rapport entre les distances lues sur cette carte et les distances correspondantes sur la sphère terrestre.

Sur une carte conforme, l'échelle est différente en chaque point. Cependant elle varie peu pour une même carte car nous considérons que les cartes aéronautiques sont équidistantes, c'est-à-dire que les distances lues sur les cartes et les distances sur la sphère sont proportionnelles.

Pour des calculs approchées, on peut considérer que l'échelle est la même sur toute une zone importante.

L'échelle vaut donc :

$$\text{Échelle} = \frac{\text{Distance lue sur la carte}}{\text{Distance sur la sphère terrestre}}$$

Il est bien entendu important que les deux termes de cette fraction soient exprimés avec la même unité.

Exemple :

- *Si on choisit de représenter une distance de 10 km sur la sphère par 1 cm sur une carte. Quelle est l'échelle de la carte ?*

  10 km = 1 000 000 cm

  A 1 cm sur la carte correspond donc 1 000 000 cm sur la sphère.

  Le rapport de réduction de la carte vaut donc :

  $$\frac{1}{1\,000\,000}$$

  L'échelle de la carte est par conséquent de 1/1 000 000. On dit « un millionième »

- *Une carte a une échelle de 1/500 000 (on dit « un cinq cent millième »). Quelle distance sur la sphère est représentée par 1 cm sur la carte ? D'après l'échelle, 1 cm représente 500 000 cm, soit 5 km.*

On notera que l'échelle 1/500 000 est plus grande que l'échelle 1/1 000 000. En effet :

$$1/500\,000 = 0{,}000002$$
$$1/1\,000\,000 = 0{,}000001$$

0,000002 est plus grand que 0,000001, donc 1/500 000 est plus grand que 1/1 000 000. Autrement dit, une carte d'échelle 1/500 000 a un « grossissement » plus important qu'une carte d'échelle 1/1 000 000.

Les méthodes de construction des cartes

Pour construire une carte, il faut établir une correspondance point par point avec la sphère terrestre. Il existe trois types de « correspondance », chacun étant plutôt adapté à certaines latitudes (fig. 206) :

- la représentation de Mercator, qui est adaptée aux latitudes faibles, proches de l'équateur ;
- la projection « Lambert » ;
- la projection « stéréographique », adaptée aux régions polaires.

Ces trois types de représentations sont conformes (conservation des angles). Chacune est caractérisée par son « parallèle d'échelle minimale », qui est le lieu où la surface de projection, ou de représentation, touche la sphère terrestre.

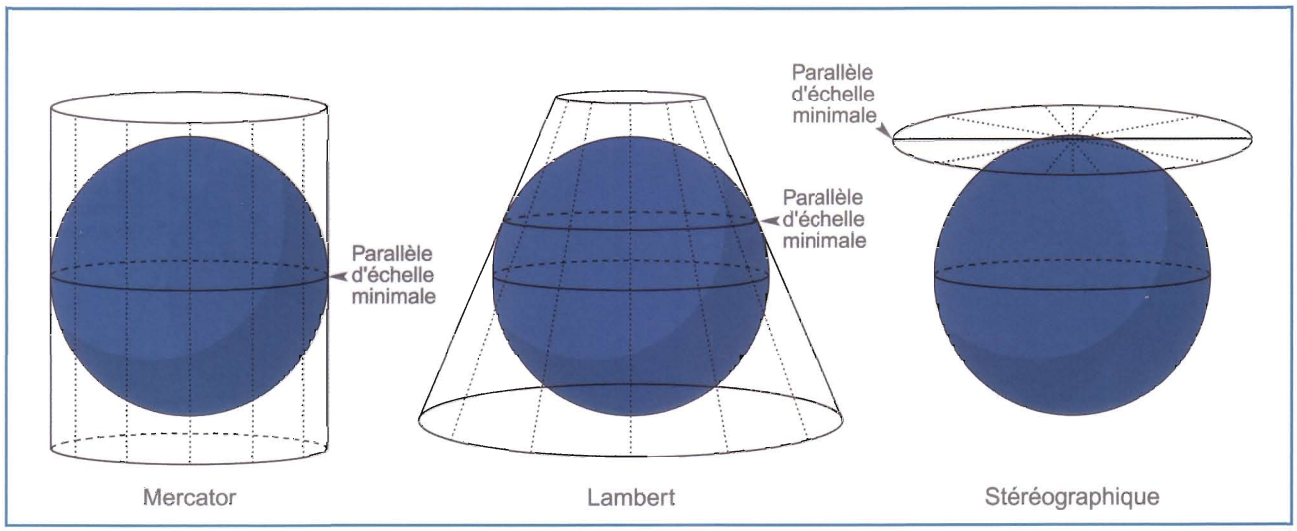


Fig. 206 – *La représentation Mercator et les projections Lambert et stéréographique.*

Le centre des projections Lambert est le centre de la sphère (fig. 207a).

Le centre des projections stéréographiques est le point diamétralement opposé au point de tangence de la surface de projection. Dans le cas d'une carte stéréographique polaire, c'est le pôle opposé au pôle de tangence qui est le centre de projection (fig. 207b).

La projection Lambert conforme

C'est la projection qui est utilisée pour la construction des cartes aéronautiques VFR de France métropolitaine. Elle est aussi dite « projection conique » à cause de la forme de sa surface de projection.

La surface de projection est un cône qui est tangent à la sphère en une latitude précise (fig. 208a), ou qui coupe la sphère en deux latitudes voisines (fig. 208b). C'est proche de cette ou de ces latitude(s) que l'échelle varie peu. Les parallèles correspondant à ces latitudes sont dits « d'échelle conservée ». Sur les cartes utilisées en aviation légères, ce sont généralement les parallèles 45 ° N et 49 ° N.

Représentation des méridiens, parallèles, orthodromies et loxodromies sur une carte Lambert conforme

La surface de projection étant conique, les méridiens représentés sur la carte ne sont pas parallèles : ils sont plus rapprochés vers le Nord que vers le Sud. On dit qu'ils sont convergents. Ce sont des droites.

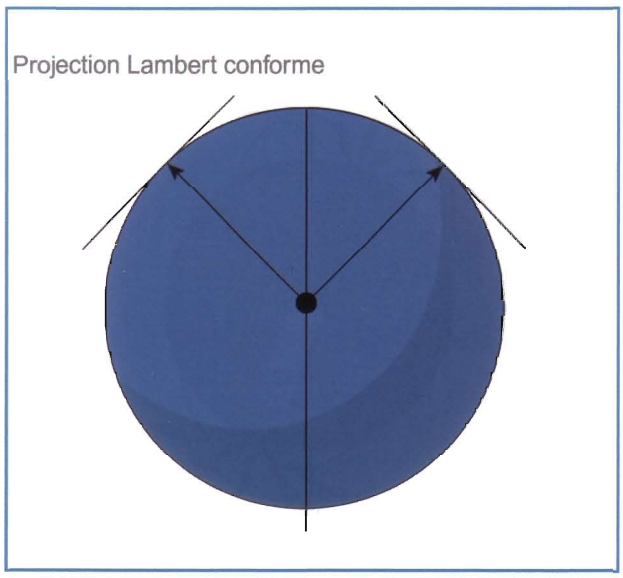


Fig. 207a – *Le centre de la projection est le centre de la sphère.*

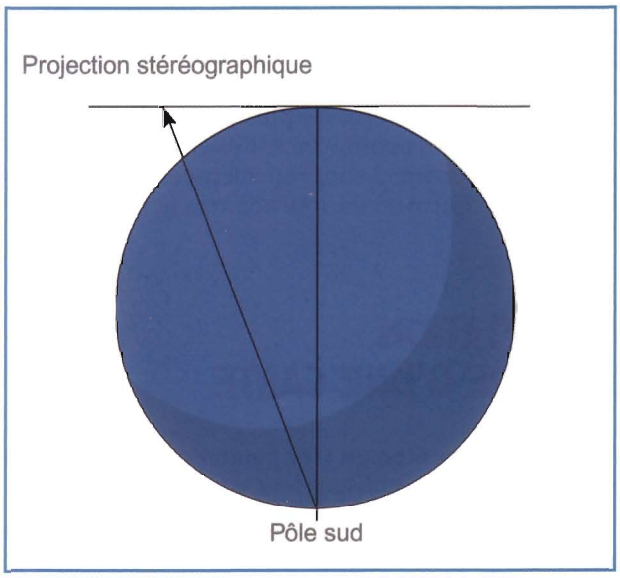


Fig. 207b – *Le centre de la projection est le pôle opposé à l'hémisphère représenté.*

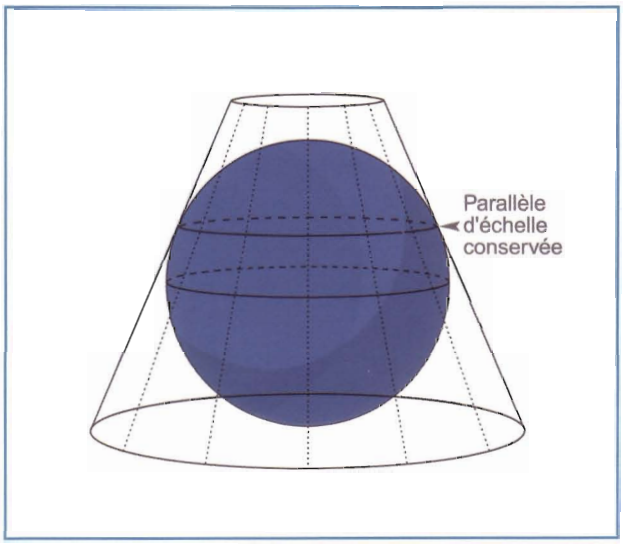


Fig. 208a – *Le parallèle d'échelle conservée.*

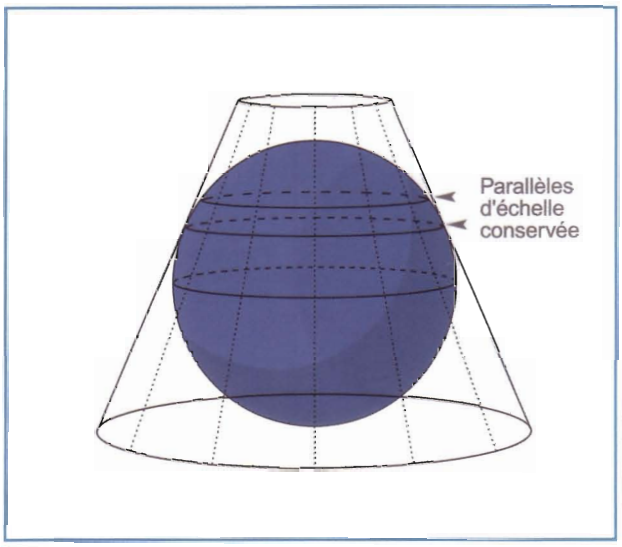


Fig. 208b – *Les parallèles d'échelle conservée.*

Les parallèles, eux, sont représentés par des courbes dont la concavité est orientée vers le pôle.

Les orthodromies qui, rappelons-le, sont les chemins les plus courts pour aller d'un point à un autre, ne sont pas représentées par des droites. Mais pour la précision recherchée, on peut considérer qu'elles sont, au voisinage des latitudes d'échelle conservée, représentées par des droites.

Un autre type de trajectoire est utilisé en navigation : il s'agit de la loxodromie. C'est la trajectoire que l'on suit lorsqu'on navigue en gardant toujours la même route vraie (nous allons décrire ce qu'est la route vraie dans les pages suivantes). Par exemple, si l'on navigue route 090 ° sans en changer, on suit une loxodromie.

La loxodromie n'est pas le chemin le plus court pour se rendre d'un point à un autre. Par exemple, si l'on suit le parallèle 45 ° N vers l'Est, on navigue à route vraie constante : la route 090 °. Or, à l'exception de l'équateur, les parallèles sont des petits cercles *(voir Déplacement – Petits et grands cercles)*, qui ne sont pas des trajectoires de plus courte distance. Sur les cartes Lambert conformes utilisées en aviation légère, les loxodromies sont représentées par des courbes dont la concavité est tournée vers le pôle.

ORIENTATION À L'AIDE D'UNE CARTE

Nous allons maintenant voir comment, dans la pratique, s'orienter en utilisant les cartes.

Nous disposons d'informations sur notre position et sur notre direction grâce à l'observation visuelle et à l'aide des instruments de bord. Il s'agit d'interpréter ces informations pour être en mesure de matérialiser une trajectoire sur la carte.

Notre première démarche va être de déterminer les références d'orientation que nous utiliserons. Nous serons alors en mesure d'exprimer notre orientation par rapport à ces références. Nous verrons enfin comment mesurer ou reporter les distances sur une carte.

Références d'orientation

Le champ magnétique terrestre

Il règne autour du globe un champ magnétique de faible intensité. Tout se passe comme si la Terre contenait un aimant gigantesque passant par son cen-

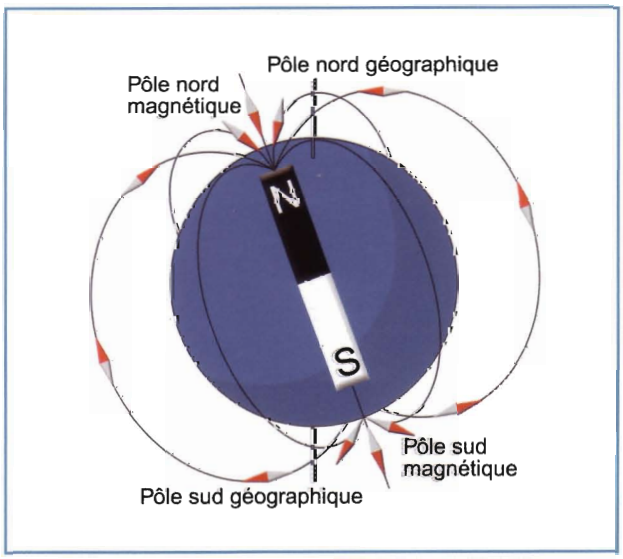


Fig. 209 – *Allure simplifiée du champ magnétique terrestre.*

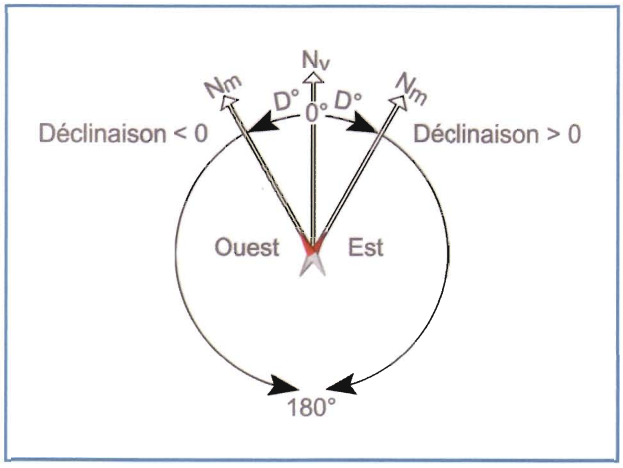


Fig. 210 – *Le parallèle d'échelle conservée.*

tre dont l'axe serait voisin de l'axe des pôles géographiques, sans toutefois coïncider avec lui.

En effet, le pôle Nord magnétique n'est pas confondu avec le pôle Nord géographique : il se situe aux environs du 76 ° N – 101 ° W.

L'aiguille aimantée s'oriente en indiquant la direction locale du champ magnétique terrestre (fig. 209).

Notons que le champ magnétique terrestre n'est horizontal qu'à l'équateur, mais il est approximativement vertical (vers le centre de la Terre) au pôle Nord magnétique, et incliné vers le sol d'un angle d'environ 65 ° à Paris. La composante verticale du champ magnétique terrestre est donc plus importante que sa composante horizontale dans nos régions. Néanmoins, c'est la composante horizontale que nous utiliserons en navigation.

La déclinaison

La composante horizontale du champ magnétique terrestre matérialise le « Nord magnétique » (Nm).

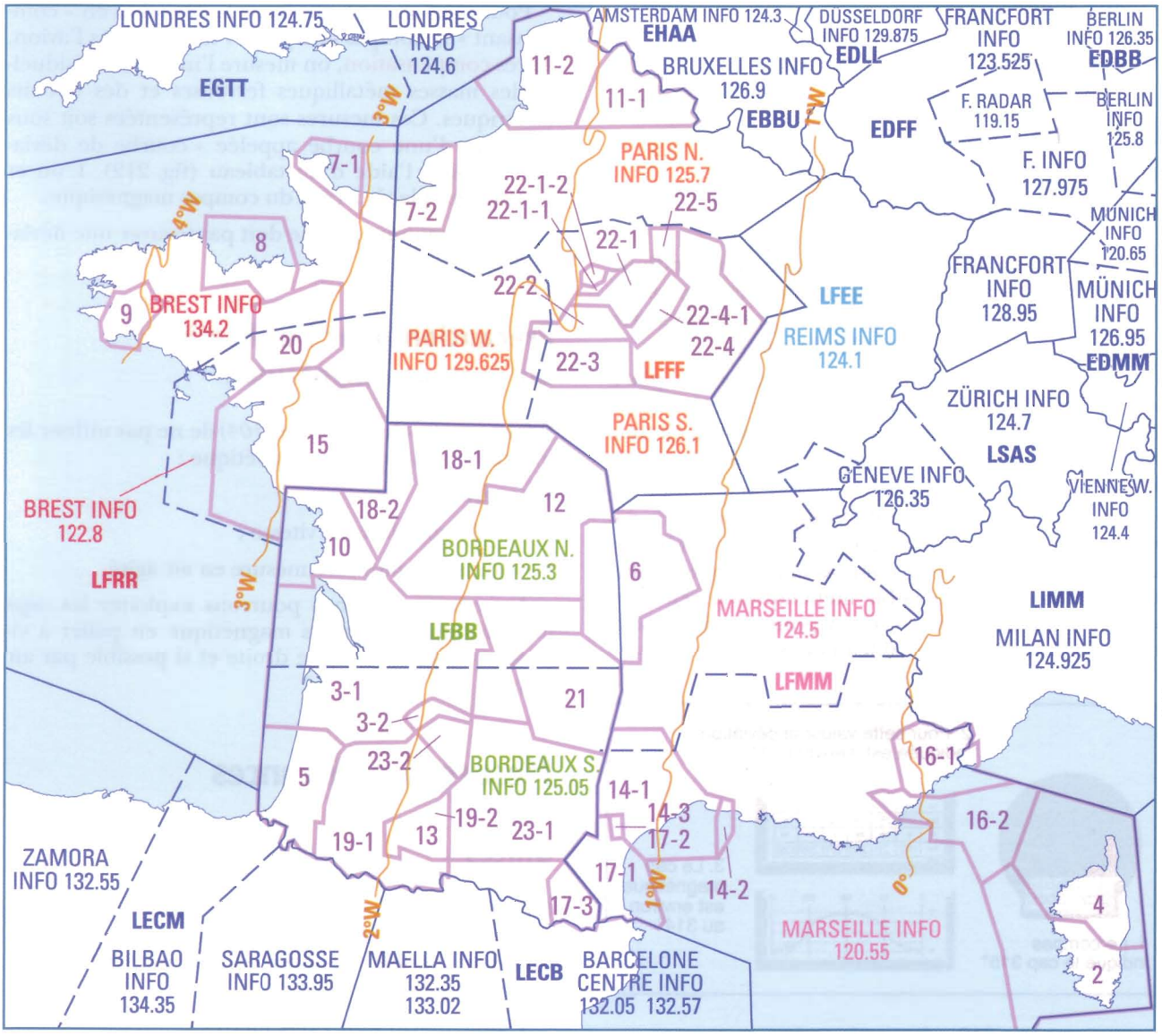


Fig. 211 – *Les lignes isogones.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA n° E I I 2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Elle forme avec le Nord géographique dit aussi « Nord vrai » (Nv), matérialisé par le méridien du lieu, un angle variable. Cet angle est appelé déclinaison magnétique, notée Dm. La déclinaison magnétique est variable selon le lieu, et elle varie aussi dans le temps.

Elle est comptée de 0 ° à 180 ° du Nord vrai vers le Nord magnétique, bien qu'elle n'atteigne jamais la valeur de 180 °. Elle est dite « Est » si le Nord magnétique est à l'Est du Nord vrai, et « Ouest » si le Nord magnétique est à l'Ouest du Nord vrai. Par convention, elle est positive lorsqu'elle est « Est », et négative lorsqu'elle est « Ouest » (fig. 210).

Une déclinaison de 12 ° Ouest s'écrit Dm = 12 ° W ou Dm = – 12 °. Un déclinaison de 15 ° est s'écrit Dm = 15 ° E ou Dm = + 15 °.

La déclinaison varie avec le lieu et avec le temps. Comme elle n'a pas la même valeur en tous les points du globe, les cartes aéronautiques indiquent dans leur cartouche les lignes d'égale déclinaison (fig. 211) dites « lignes **isogones** ». Le long d'une ligne isogone, la déclinaison est la même pour une époque donnée.

La déclinaison varie aussi dans le temps. En France, elle diminue d'environ 8' par an.

Influence magnétique de l'avion sur l'indication du compas magnétique

Le barreau aimanté du compas magnétique indique la direction locale du champ magnétique terrestre lorsque celui-ci n'est pas perturbé par la présence d'une masse métallique proche du compas.

Malheureusement, lorsque le compas est placé dans l'avion, il subit l'influence de tous les matériaux ferreux se trouvant dans l'avion, et aussi des circuits électriques (résistance chauffante du pitot, phares, etc.).

Il y a alors une erreur du compas, appelée « **déviation du compas** » et notée « d ». Pour minimiser cette erreur, on place le compas magnétique le plus à l'écart des masses possible métalliques ferreuses et des instruments de bord. C'est pourquoi il est souvent placé au-dessus du tableau de bord.

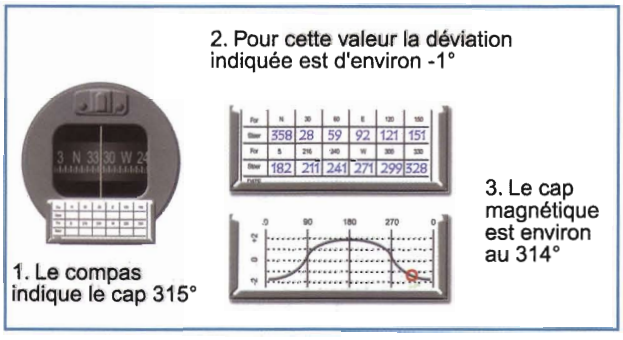


Fig. 212 – *La courbe de déviation ou le tableau figurant à côté du compas.*

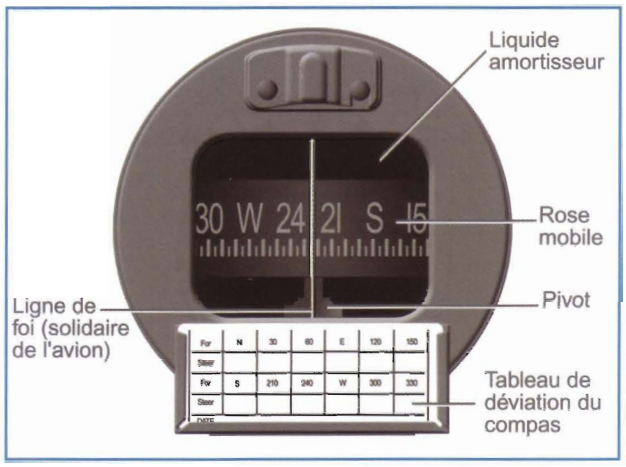


Fig. 213 – *Schéma d'un compas.*

La relation liant le cap magnétique Cm et le cap donné par le compas, appelé « cap compas » Cc est :

$$Cc = Cm - d$$

Pour mémoire, on minimise la déviation en « compensant » le compas lorsqu'on l'installe dans l'avion. Après compensation, on mesure l'influence résiduelle des masses métalliques ferreuses et des circuits électriques. Ces mesures sont représentées soit sous la forme d'une courbe appelée « courbe de déviation », soit à l'aide d'un tableau (fig. 212). L'un et l'autre sont placés à côté du compas magnétique.

Dans la pratique, on ne doit pas trouver une déviation supérieure à 3 °.

Précaution pour l'utilisation du compas magnétique

Il faut se rappeler *(voir page 104)* de ne pas utiliser les indications du compas magnétique :

- en virage ;
- lors de variations de vitesse ;
- et dans une moindre mesure en air agité.

Autrement dit, nous pourrons exploiter les caps indiqués par le compas magnétique en palier à vitesse constante, en ligne droite et si possible par air calme.

Mesure des distances

Unités

L'unité utilisée en aéronautique pour mesurer les distances horizontales est le mille marin, plus couramment appelé « nautique », et noté NM (pour « Nautical Mile »).

1 mille marin vaut 1 852 mètres :

1 NM = 1 852 m

Méthode de mesure des distances

Vous pouvez utiliser une règle de navigation graduée en milles marins (NM) correspondant à l'échelle de votre carte ; la distance entre deux points est directement lue sur la règle ; cette méthode est bien entendu très pratique mais elle se révèle être une source d'erreurs si on ne prend pas garde à la correspondance des échelles de la règle et de la carte.

Vous pouvez également utiliser n'importe quelle règle graduée (quelle que soit sa graduation) ; on note alors le nombre de graduations entre deux points (par exemple 15 graduations entre le point A et le point B (cf. fig. 204).

Dans tous les cas, pour faciliter la lecture, il est préférable de placer l'origine de la règle sur l'un des points.

On reporte ensuite cette mesure sur un méridien gradué en minutes en prenant soin de s'axer sur la latitude moyenne entre A et B pour avoir une meilleure précision en raison de la méthode de construction des cartes, on lit directement le nombre de NM correspondant à 15 graduations le long du méridien ; dans notre exemple, la distance est de 28 NM.

Une précaution cependant : la mesure de distance doit toujours être effectuée le long d'un méridien et non le long d'un parallèle ; la distance entre parallèles dépendant de la latitude. Rappelons que la circonférence sur un grand cercle fait 40 000 km soit 21 600 NM et que donc 60 minutes d'arc sur l'équateur représentent 60 NM ; mais elles ne représentent plus qu'environ 40 NM à une latitude de 48 ° (60 NM × Cosinus 48 °) sur le globe.

Les cartes aéronautiques utilisées en VFR

On utilise en général deux types de cartes aéronautiques :

- les cartes aéronautiques 1/500 000 ;
- les cartes aéronautiques 1/1 000 000 (complétées par deux cartes au 1/250 000, l'une couvrant la région parisienne, l'autre le delta du Rhône).

Les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000

On les utilise pour la navigation en route. Elles regroupent un grand nombre d'informations nécessaires au vol VFR. C'est pourquoi vous les utiliserez couramment.

Pourquoi utilise-t-on deux types de cartes ?

Chacune est adaptée à une tranche d'altitude. La carte aéronautique 1/500 000 est plutôt orientée pour le vol en basses couches.

Certains éléments sont représentés sur les deux cartes, d'autres ne sont représentés que sur l'une des deux. Nous allons voir à présent les éléments communs et les éléments spécifiques à chaque carte.

Les points communs aux deux cartes

La couverture du territoire national métropolitain est assurée par quatre cartes 1/500 000 et deux cartes 1/1 000 000. La projection utilisée pour leur construction est du type Lambert conforme. Les méridiens n'y sont donc pas parallèles, mais légèrement convergents.

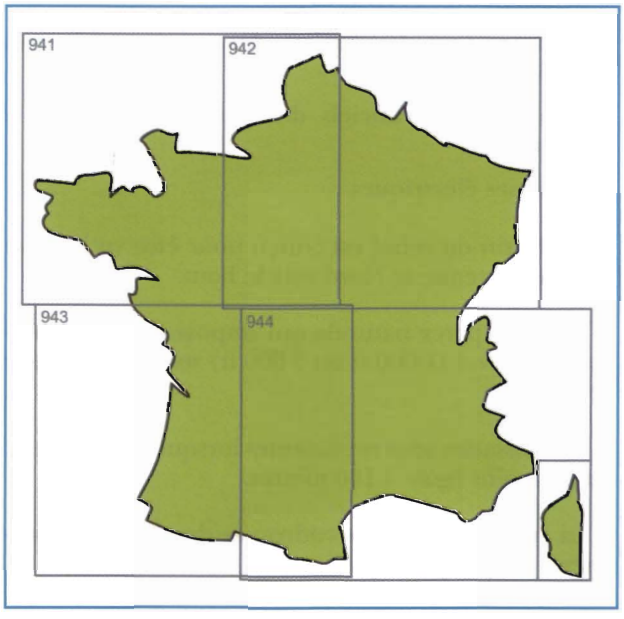


Fig. 214 – *Cartes au 1/500 000.*

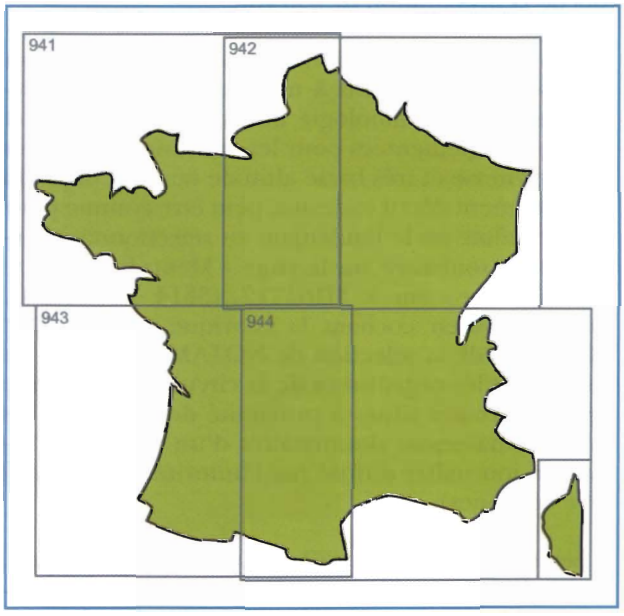


Fig. 215 – *Cartes au 1/1 000 000.*

Sont représentés sur les deux cartes :

- Les espaces ainsi que leurs limites horizontales, leur classe indiquée par la couleur des trames, les fréquences de radiocommunication (un astérisque désigne les fréquences non veillées en permanence, les horaires figurent dans le complément aux cartes aéronautiques) ;
- les moyens de radionavigation ;
- les itinéraires VFR de transit ;
- les aérodromes.

Un code couleur permet d'identifier très rapidement les caractéristiques des espaces :

- en bleu, les espaces ou le vol VFR est admis sans contrainte particulière, autre que le respect des conditions météorologiques de vol à vue propres à ces espaces, et éventuellement l'obligation du contact radio et l'obtention et le respect de clairances ;
- en rouge, les espaces où l'attention du pilote VFR doit être particulièrement soutenue (zones de vols militaires à très grande vitesse et très basse altitude, zones dangereuses, etc.), voire où le vol VFR interdit (espaces de classe A, zones interdites).

Les zones réglementées créées pour protéger les vols d'entraînement à très grande vitesse et très basse altitude sont représentées par un tireté court de couleur rouge ; ces zones vont jusqu'au sol , il faut donc les contourner pendant les horaires d'activités ; elles sont des barrières infranchissables compte tenu du fait que les aéronefs militaires ne peuvent assurer la prévention des collisions en raison de leur vitesse. Certaines de ces zones ne sont activables que de nuit ; ces dernières sont repérables sur les cartes car elles sont représentées par un tiret rouge plus espacé que pour celles utilisables de jour ; pour ces zones, le pilote volant de jour n'a donc pas à s'en préoccuper lors de la préparation de son vol.

Par ailleurs, l'activation des zones réglementées pour les entraînements à très grande vitesse représentées avec la symbologie normale des zones R et les zones réglementées pour les entraînements à très grande vitesse et très basse altitude faisant l'objet du renforcement décrit ci-dessus, peut être connue pour le jour même ou le lendemain en sélectionnant l'information souhaitée sur la page « Menu Prévol-Type de recherche » sur le MINITEL (3614 – NOTAM), sur OLIVIA en cochant la rubrique « Zones BA/TBA » lors de la sélection de NOTAM désirés ou en contactant les organismes de la circulation aérienne des aérodromes situés à proximité de ces zones (ils sont normalement destinataires d'un message d'activation journalier diffusé par l'autorité militaire qui gère ces zones).

Seuls les itinéraires VFR de transit sont indiqués, les itinéraires de départ et d'arrivée ne sont pas représentés. Ils sont par ailleurs détaillés dans le complément aux cartes aéronautiques.

Les noms des aérodromes sont indiqués en abrégé (exemple : B. MERIGNAC pour BORDEAUX MERIGNAC). Ce nom abrégé est utilisable pour l'indicatif d'appel par radio. La symbologie des aérodromes tient compte de la longueur et du type de piste, et de leur orientation pour les pistes en dur.

L'indicateur d'emplacement des aérodromes est également indiqué, ce qui facilite la sélection des aérodromes par les utilisateurs de GPS.

En espace de classe G, un triangle attenant à certains aérodromes rappelle la présence d'activité IFR possible sur le terrain. Il convient pour ces aérodromes de prendre des dispositions pour éviter de voler au ras des nuages, desquels peut sortir un trafic IFR.

Les spécificités de la carte aéronautique 1/500 000

Son échelle est 1/500 000. L'espace aérien couvert s'étend du sol jusqu'au plus haut des deux niveaux suivants :

- 5 000 pieds par rapport au niveau moyen de la mer ;
- 2 000 pieds par rapport au sol.

Cette information est notée dans la légende des cartes sous la forme :

SFC / 5 000 AMSL ou 2 000 ASFC

qui signifie :

SurFaCe / 5 000 Above Mean Sea Level
ou 2 000 Above SurFaCe

On trouve sur cette carte :

- la topographie ;
- les routes, autoroutes, chemins de fer, canaux artificiels, fleuves et rivières ;
- les frontières, les limites des parcs et réserves naturelles ;
- les obstacles artificiels de hauteur supérieure à 100 m sol ;
- les lignes électriques.

Le dessin du relief est conçu pour être vu lorsque la carte est tenue le Nord vers le haut.

Tous les parcs naturels qui imposent une restriction de survol (1 000 ft ou 3 000 ft) sont indiqués sur cette carte.

Les obstacles sont représentés lorsque leur hauteur est au moins égale à 100 mètres.

La symbologie des aérodromes donne des renseignements périphériques.

La symbologie utilisée pour la représentation des agglomérations indique les restrictions de survol

La limite supérieure des espaces aériens n'est pas indiquée si elle dépasse 5 000 AMSL ou 2 000 ASFC. La carte n'est donc pas utilisable au-delà de ce niveau.

(hauteur minimale). Pour cette information, c'est la carte qui est la référence réglementaire. C'est en effet l'arrêté qui se réfère à la carte, et non l'inverse.

Les spécificités de la carte aéronautique 1/1 000 000

Les obstacles sont indiqués lorsque leur hauteur est supérieure à 150 mètres. Les obstacles ayant une hauteur supérieure à 300 mètres sont représentés avec un symbole particulier.

Les parcs et réserves naturels sont représentés lorsque leur hauteur minimale de survol est supérieure à 1 000 ft.

Au verso de la carte France Nord figure la carte des Moyens radio d'atterrissage et des fréquences de Radio Communication et au verso de la carte France Sud figurent les itinéraires Corse-Continent.

Documents complémentaires

Le SIA publie deux documents complémentaires :

- le « complément aux cartes aéronautiques », qui regroupe les informations complémentaires pour l'exploitation des cartes aéronautiques ;
- le « guide VFR », qui comporte notamment des rappels de réglementation de circulation aérienne, d'exploitation des aéronefs ainsi que des informations relatives à l'assistance météorologique.

LA MESURE DU TEMPS

Les temps universel, local et légal

Le temps universel coordonné UTC

Il est défini par une convention internationale. Il prend en compte la définition de la seconde basée sur une certaine radiation lumineuse et imposée par l'OACI.

Il est utilisé pour :

- les plan de vol ;
- les observations et prévisions météorologiques ;
- les horaires de lever et de coucher du soleil ;
- le carnet de route.

Le temps civil local Tcg

Il varie en fonction de la longitude ; le passage du soleil devant le méridien où se situe l'observateur correspond à 12 heures locales ou Tcg.

Le soleil se déplace dans le ciel de 15 ° de longitude par heure ; ainsi lorsqu'il est 12 heures UTC (soleil devant le méridien de Greenwich), 1 heure après, le soleil passe devant le méridien 15 ° Ouest. Il est 13 heures UTC. A ce méridien, il est 12 heures locales.

Le temps civil local n'est utilisé que pour les calculs d'astronomie et pour la lecture des cadrans solaires. Les pilotes utilisent l'heure UTC ou l'heure légale.

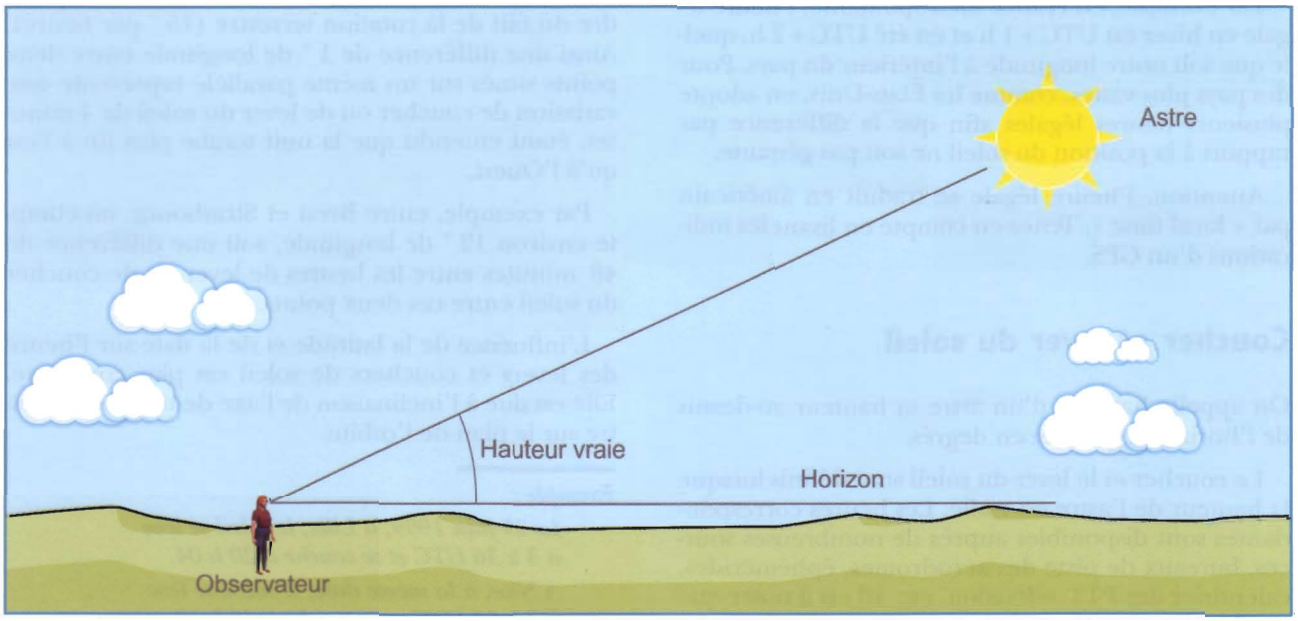


Fig. 216 – *La hauteur vraie d'un astre.*

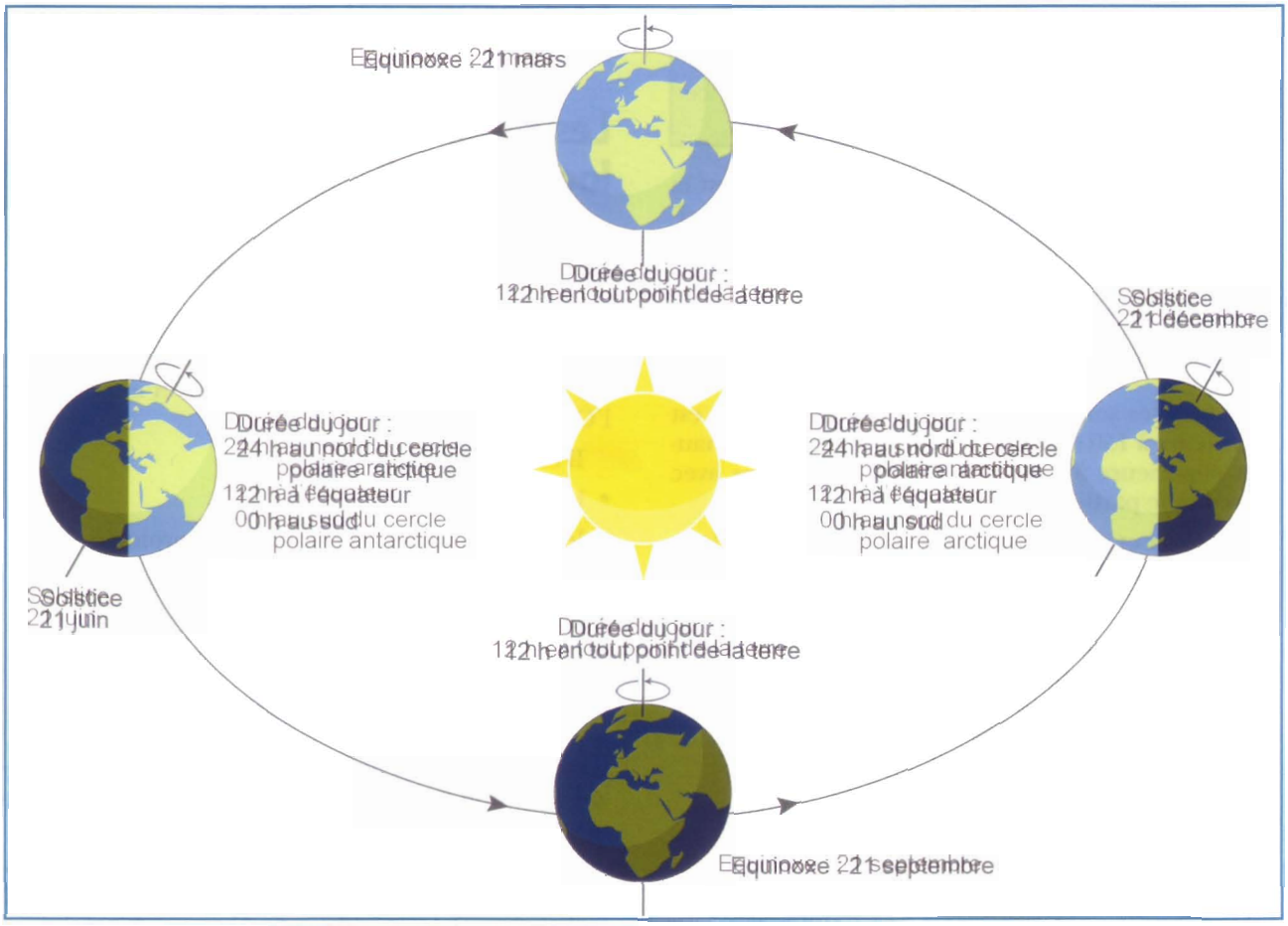


Fig. 217 – *Variations de l'éclairement solaire en fonction des saisons.*

Le temps légal

Sur un même territoire on évite de changer d'heure en fonction de la longitude ; on adopte une heure dite légale, définie à partir du temps universel.

Par exemple, en France métropolitaine, l'heure légale en hiver est UTC + 1 h et en été UTC + 2 h, quelle que soit notre longitude à l'intérieur du pays. Pour des pays plus vastes, comme les États-Unis, on adopte plusieurs heures légales afin que la différence par rapport à la position du soleil ne soit pas gênante.

Attention, l'heure légale se traduit en américain par « local time ». Tenez-en compte en lisant les indications d'un GPS.

Coucher et lever du soleil

On appelle hauteur d'un astre sa hauteur au-dessus de l'horizon exprimée en degrés.

Le coucher et le lever du soleil sont définis lorsque la hauteur de l'astre est nulle. Les heures correspondantes sont disponibles auprès de nombreuses sources, bureaux de piste des aérodromes, éphémérides, calendrier des PTT, télévision, etc. (il est à noter que la télévision donne ces heures en heure légale, habituellement elles sont données en heure UTC).

Mais attention, les bureaux de piste donnent l'heure du coucher du soleil sur leur aérodrome, alors que la documentation d'information aéronautique la donne à Greenwich, pour tenir compte de la longitude et de la latitude.

L'influence de la longitude est simple à comprendre du fait de la rotation terrestre (15 ° par heure). Ainsi une différence de 1 ° de longitude entre deux points situés sur un même parallèle représente une variation de coucher ou de lever du soleil de 4 minutes, étant entendu que la nuit tombe plus tôt à l'est qu'à l'Ouest.

Par exemple, entre Brest et Strasbourg, on compte environ 12 ° de longitude, soit une différence de 48 minutes entre les heures de lever ou de coucher du soleil entre ces deux points.

L'influence de la latitude et de la date sur l'heure des levers et couchers de soleil est plus complexe. Elle est due à l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre sur le plan de l'orbite.

Exemple :

Le 25 juin 1999, à Lille, le soleil se lève à 3 h 36 UTC et se couche à 20 h 04.

A Nice, à la même date, le soleil se lève à 3 h 52 UTC et se couche à 19 h 17.

Au total, 1 h 03 de soleil en plus à Lille.

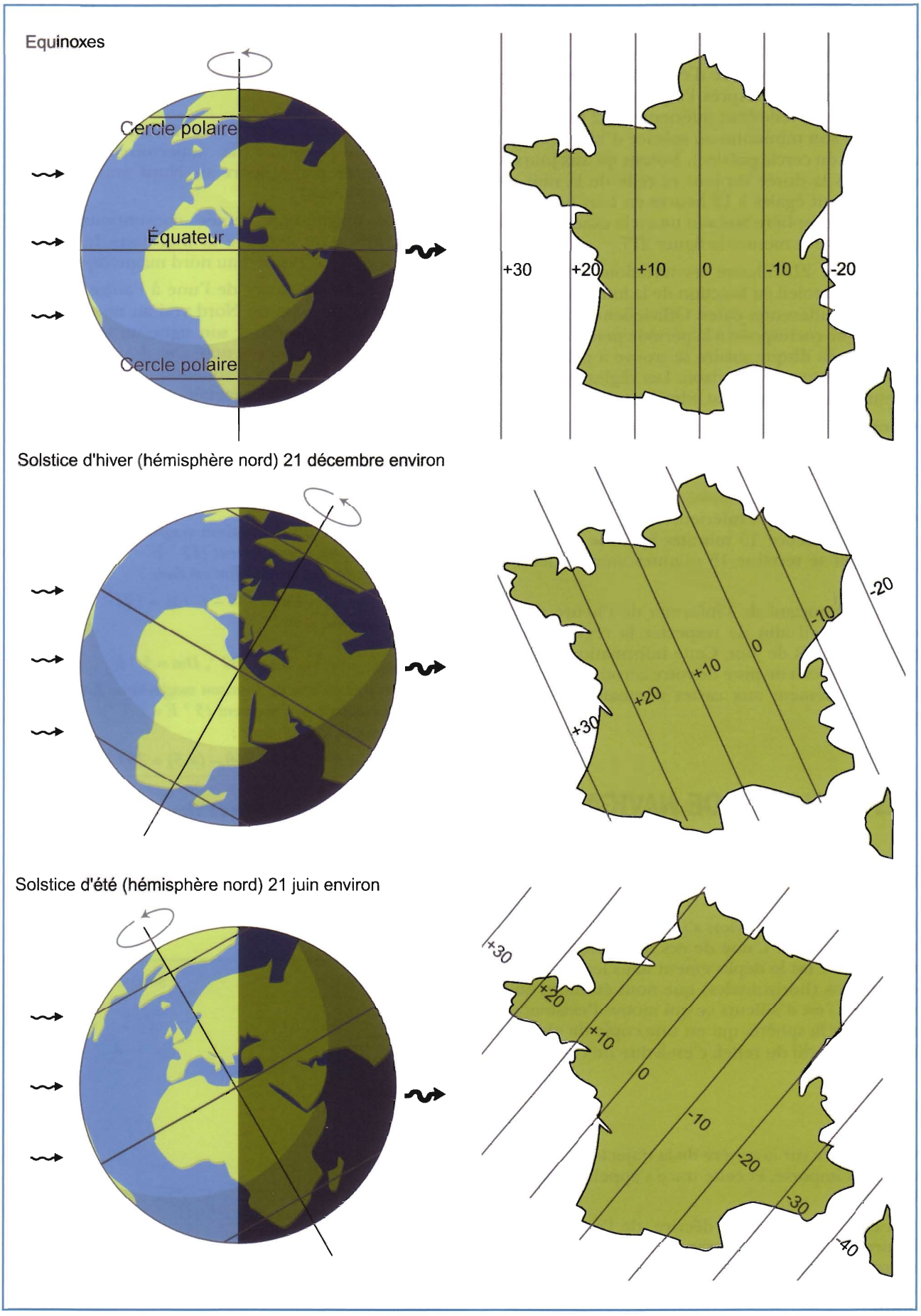

Equinoxes
Cercle polaire
Équateur
Cercle polaire
+30
+20
+10
0
-10
-20
Solstice d'hiver (hémisphère nord) 21 décembre environ
+30
+20
+10
0
-10
-20
Solstice d'été (hémisphère nord) 21 juin environ
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
-40

Fig. 218

A l'équateur la durée du jour est constante et égale à 12 heures. Pour les latitudes Nord, elle est supérieure à 12 heures dès l'équinoxe de printemps et atteint son maximum au solstice d'été (24 heures au niveau du cercle polaire). Après l'équinoxe d'automne la durée du jour redevient inférieure à 12 heures pour atteindre son minimum au solstice d'hiver (0 heure au niveau du cercle polaire). Notons qu'aux jours des équinoxes la durée du jour et celle de la nuit sont sensiblement égales à 12 heures en tout point de la terre. L'hémisphère Sud suit un cycle exactement opposé comme le montre la figure 217.

La figure 218 illustre les variations d'heures du coucher du soleil en fonction de la longitude et de la latitude à différentes dates. Officiellement la nuit aéronautique correspond à la période pendant laquelle le centre du disque solaire se trouve à plus de 6 degrés en dessous de l'horizon. Les règles de l'air prévoient cependant qu'il est admis que :

- pour les latitudes comprises entre 30 ° et 60 °, la nuit commence 30 minutes après le coucher du soleil et se termine 30 minutes avant le lever du soleil ;
- pour les latitudes inférieures ou égales à 30 °, la nuit commence 15 minutes après le coucher du soleil et se termine 15 minutes avant le lever du soleil.

Il est important de s'informer de l'heure du coucher du soleil afin de respecter la réglementation propre au VFR de jour. Cette information est disponible au bureau de piste de votre aérodrome, ou dans le « Complément aux cartes aéronautiques » édité par le SIA.

LES PRINCIPES DE NAVIGATION

La trajectoire

La trajectoire d'un avion s'inscrit dans un espace à trois dimensions. L'une de ces dimensions est l'altitude, mais c'est le déplacement dans les deux autres dimensions (horizontales) que nous étudions en navigation. C'est d'ailleurs ce qui motive l'existence du modèle de la sphère, qui est une copie du globe terrestre affranchi du relief, c'est-à-dire de l'altitude.

La route

C'est la trace sur la sphère de la trajectoire de l'avion qui nous importe, et cette trace s'appelle la route de l'avion.

Il est simple, pour la décrire, de l'exprimer sous la forme d'un angle par rapport à une référence : la route est donc l'angle que fait la trace sol de l'avion avec le nord. Mais nous avons déjà distingué deux nords :

- le **Nord vrai**, dont on dispose sur la carte ;
- le **Nord magnétique**, direction qui dépend de l'orientation du champ magnétique terrestre, variable selon le lieu.

Pour une même trajectoire, l'angle de route prendra le nom de :

- route vraie, notée conventionnellement *Rv*, lorsqu'on exprime la trajectoire horizontale en degrés par rapport au Nord vrai (ou Nord géographique) ;
- route magnétique, notée conventionnellement *Rm*, lorsqu'on exprime la trajectoire horizontale en degrés par rapport au nord magnétique.

Il est facile de passer de l'une à l'autre : nous savons que l'on passe du Nord vrai au nord magnétique en retranchant avec son signe un angle appelé **déclinaison magnétique**, noté *Dm*, dont la valeur est donnée dans les cartes aéronautiques. On passera de la route vraie à la route magnétique en retranchant le même angle. Ainsi :

$$Rm = Rv - Dm$$

Exemple 1 :

Rv = 180 °, Dm = 12 ° W

On sait qu'une déclinaison magnétique Ouest (W) est comptée négativement (12 ° W = – 12 °). La route magnétique Rm est donc :

Rm = 180 – (–12) = 192 °

Exemple 2 :

Rv = 260 °, Dm = 5 ° E

On sait qu'une déclinaison magnétique Est (E) est comptée positivement (5 ° E = + 5 °). La route Rm est donc :

Rm = 260 – (+ 5) = 255 °

Détermination de *Rv* et *Rm* à l'aide d'une carte

Il suffit de placer le centre d'un rapporteur à l'intersection de la route recherchée et d'un méridien

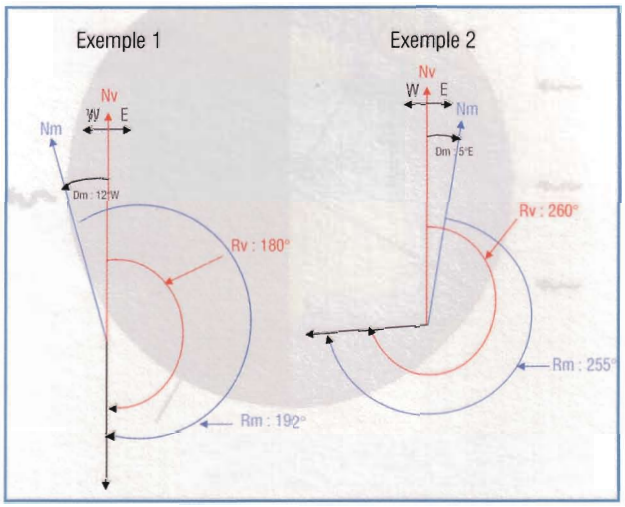


Fig. 219

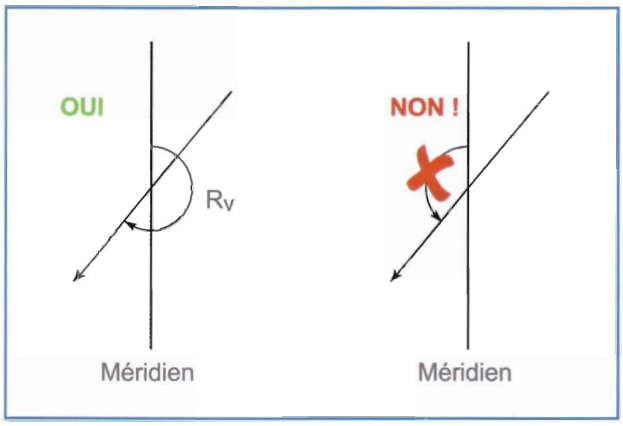


Fig. 220 – *Mesure de l'angle de route.*

(en effet, nous savons que les méridiens indiquent la direction du Nord géographique, ou Nord vrai). L'angle lu sur le rapporteur est la route vraie. Une précaution cependant : l'angle doit être lu dans le sens des aiguilles d'une montre (fig. 220). Il est compris entre 0 ° et 360 °.

La valeur de la route par convention est un nombre à trois chiffres. Par exemple, si l'angle formé entre la trajectoire horizontale de l'avion et le Nord vrai est de 17 °, la route vraie est 017 °. Certains GPS affichent cependant 5 ° ou 17 ° au lieu de 005 ° ou 017 °.

La route magnétique *Rm* se déduit de *Rv* à l'aide de la relation ci-dessus et de la valeur de la déclinaison magnétique *Dm* donnée sur la carte des **isogones** située dans la légende des cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000.

La vitesse

A la différence du conducteur d'une voiture, qui peut mesurer sa vitesse par rapport à un objet fixe qui est la route, le pilote d'avion n'est entouré que d'air.

C'est donc par rapport à l'air que l'anémomètre (ou « Badin »), instrument donnant la vitesse de l'avion, prendra sa référence de mesure.

Unité de vitesse

C'est le nœud, en abrégé kt pour knot (nœud en anglais).

Un nœud équivaut à un mille marin par heure :

1 kt = 1,852 km/h

Vitesse conventionnelle et vitesse indiquée

L'anémomètre détermine la vitesse de l'avion, de manière approchée, en mesurant et en soustrayant de la pression totale *Pt* (correspondant à l'air en mouvement) la pression statique *Ps* (correspondant à ce même air au repos). Mais l'air a des caractéristiques (pression, température) variables dans le temps. Pour donner malgré tout une valeur de vitesse se rapprochant de la vitesse air, on a fixé une convention de graduation des anémomètres :

> *La vitesse donnée par un anémomètre est la vitesse air de l'avion lorsque la pression statique* Ps *vaut 1 013,25 hPa, la température vaut 15 °C.*

Cette vitesse, issue d'une convention de graduation, s'appelle tout naturellement « vitesse conventionnelle » ; elle est notée *Vc*.

Mais les capteurs de pression statique disposés sur la cellule de l'avion ne sont pas toujours dans une position telle qu'ils mesurent exactement la pression statique. C'est pourquoi on fait une distinction entre la vitesse conventionnelle, que donnerait l'anémomètre si la pression statique mesurée était correcte, et la vitesse réellement indiquée, appelée « vitesse indiquée », et notée *Vi*.

En aviation légère, on confondra la vitesse indiquée et la vitesse conventionnelle, car la différence entre ces deux vitesses est, en utilisation courante, négligeable (de l'ordre du nœud).

Vitesse air

Vitesse air et vitesse propre

La vitesse air est la vitesse de l'écoulement de l'air autour de l'avion (non perturbé par la cellule de celui-ci). La vitesse propre, notée *Vp*, n'est autre que la composante horizontale de la vitesse air. Ainsi, un avion en piqué vertical a une vitesse propre nulle.

On confond souvent ces deux vitesses dans l'aviation civile, les machines utilisées n'adoptant pas des positions telles que la vitesse air et la vitesse propre soient notoirement différentes.

En navigation, on se préoccupe de la projection horizontale des déplacements, on parlera donc de vitesse propre pour caractériser le déplacement de l'avion par rapport à l'air.

Détermination de la vitesse propre à partir de la vitesse indiquée

On tient compte de la température statique extérieure et de l'altitude-pression. Les pilotes utilisent l'approximation suivante :

1 % de Vi *par 5 degrés d'écart avec la température en atmosphère type*

et

1 % de Vi *par tranche de 600 ft au-dessus de la surface 1 013,25 hPa,*

Cette règle s'applique jusqu'à 20 000 ft, et 200 kt. Au-delà, l'estimation n'est plus assez précise.

Exemple :

Niveau de vol : 65
Vitesse indiquée : 110 kt.
Température extérieure : – 8 °C.

En croisière, on néglige l'erreur de statique, ainsi la vitesse indiquée est égale à la vitesse conventionnelle (Vi = Vc)

Correction due au niveau de vol :
6500 / 600 = + 11 %

Correction due à la température :

A : température en atmosphère type
15 °C – (6,5 x 2) = + 2 °C,
d'où un écart de – 8 °C jusqu'à + 2 °C = 10 °C

B : 10 °C / 5 °C = -2 %, car plus froid

Correction totale + 11 % – 2 % = + 9 %

La vitesse air (vitesse assimilable à la vitesse propre) est :
110 x 1,09 = 120 kt

Retenons le principe suivant :

« plus haut, plus chaud, plus vite ».

Cela signifie que plus vous êtes haut, plus la vitesse propre est élevée à vitesse indiquée donnée. De même, plus il fait chaud, plus la vitesse propre est élevée.

Les corrections d'altitude-pression et plus fréquemment de température peuvent être négatives.

Relation vitesse propre Vitesse sol – Influence du vent

L'air étant très souvent en mouvement par rapport au sol, la vitesse de l'avion par rapport à l'air est ainsi très souvent différente de celle par rapport au sol. On appellera « vitesse propre » la vitesse de l'avion par rapport à l'air (on confond vitesse air et vitesse propre), et « vitesse sol » la vitesse de l'avion par rapport au sol. La différence entre ces deux vitesses est

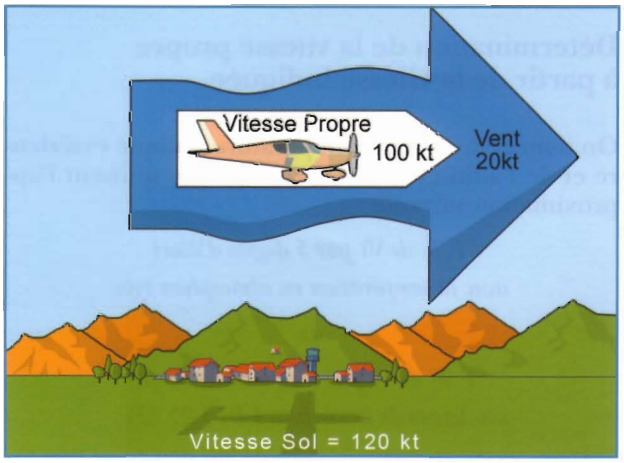


Fig. 221 – *Le vent effectif arrière.*

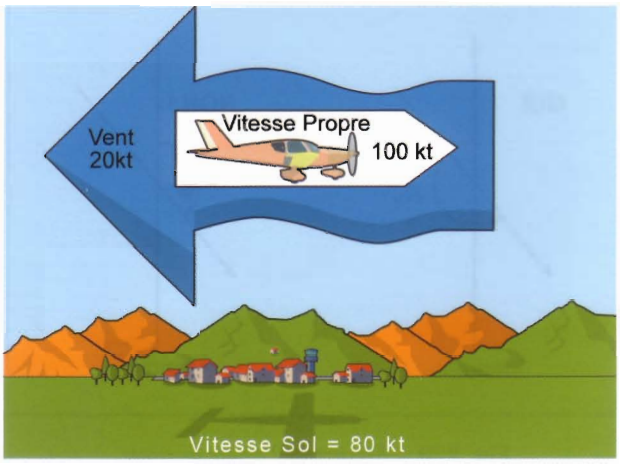


Fig. 222 – *Le vent effectif de face.*

intimement liée au vent qui, rappelons-le, est le déplacement de l'air par rapport au sol.

Influence du vent sur la vitesse et la route

Pour nos opérations de calcul mental, nous définissons le vent par deux composantes :

- l'une parallèle à la route, appelée « vent effectif » ;
- l'autre, perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'avion, appelée « vent traversier ».

Ces deux composantes ont respectivement une influence sur la vitesse sol de l'avion, et sur sa route.

L'étude des trois cas suivants montre cette influence :

1er cas : Vent parallèle à la route à suivre :

- *le vent effectif est maximum, favorable en vent arrière (fig. 221), défavorable en vent de face (fig. 222) ;*
- *le vent traversier (donc la dérive) est nul.*

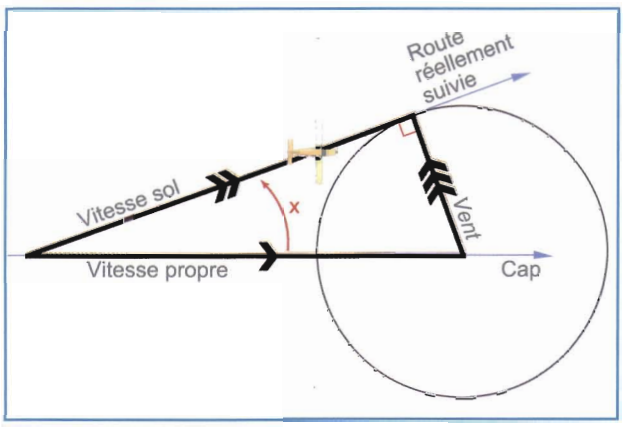


Fig. 223 – *Vent perpendiculaire à la route suivie : dérive maximale.*

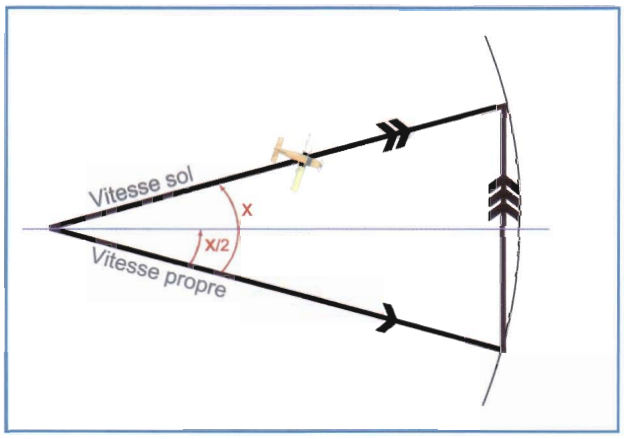


Fig. 224 – *Vitesse sol égale à la vitesse propre : vent effectif nul.*

2e cas : Vent perpendiculaire à la route à suivre :

- ***le vent traversier (donc la dérive) est maximum (fig. 223) ;***
- ***le vent effectif est négligeable (fig 224).***

Pour être précis, le vent effectif est nul lorsque le vent est perpendiculaire à la bissectrice de l'angle entre le cap de l'avion la route réellement suivie appelé « dérive » comme le montre la figure 224 ; toutefois, l'angle de dérive étant généralement faible,

3e cas : Vent venant d'une direction quelconque : la composante de vent traversier et le vent effectif dépendent de l'angle que fait la direction du vent avec la route suivie désigné « angle au vent » (fig. 225).

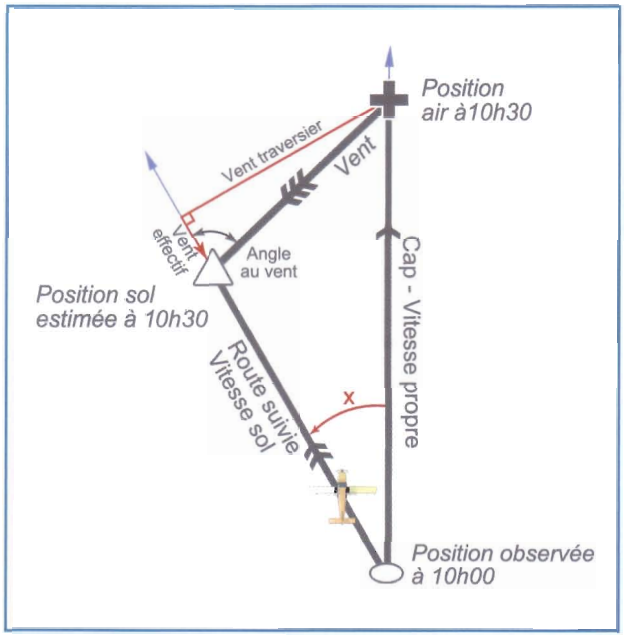


Fig. 225 – *Le vent effectif et le vent traversier dépendent de l'angle au vent.*

Le cap – La dérive

Le cap

Le vent traversier génère un angle entre l'axe longitudinal de l'avion et la route qu'il suit. Il y a donc lieu de définir l'orientation de l'axe longitudinal de l'avion. Nous allons le faire de manière exactement similaire à celle que nous avons donnée de la route, en prenant en compte les deux références distinctes que nous connaissons : le Nord vrai et le Nord magnétique.

De la même manière que pour la route, le cap vrai, noté *Cv*, est l'angle formé entre l'axe longitudinal de l'avion et le Nord vrai.

Le cap magnétique, noté *Cm*, est l'angle formé entre l'axe longitudinal de l'avion et le Nord magnétique.

Et nous avons la relation :

$$Cm = Cv - Dm$$

La dérive

C'est l'angle, noté X, formé entre la route et le cap. La dérive lie le cap et la route par la relation :

$$Cv = Rv - X$$

$$Cm = Rm - X$$

Par convention, on dit que la dérive est droite lorsque l'avion dérive vers la droite, elle est alors positive (exemple : X = + 7 °). De même, on dit que la dérive est gauche lorsque l'avion dérive vers la gauche, elle est alors négative (exemple : X = – 7 °).

La dérive est d'autant plus importante que :

- à vitesse égale, le vent traversier est fort ;
- à vent traversier égal, la vitesse de l'avion est faible (fig. 226).

Correction de la dérive

Au sol, la dérive est calculée à l'aide de l'information vent, de la météo, et en vol, elle est vérifiée. Votre position réelle par rapport à la route que vous aviez initialement tracée sur votre carte permettra de l'évaluer.

Pour suivre la route que vous aviez déterminée lors de la préparation de votre navigation, il vous faudra effectuer en cas de vent traversier une correction de cap égale à la valeur de la dérive (fig. 227), mais en sens opposé.

Par rapport à la route que vous voulez suivre, le nez de votre avion devra toujours être orienté du côté d'où vient le vent. Il est donc nécessaire de toujours pouvoir se représenter mentalement la direction du vent par rapport à votre route.

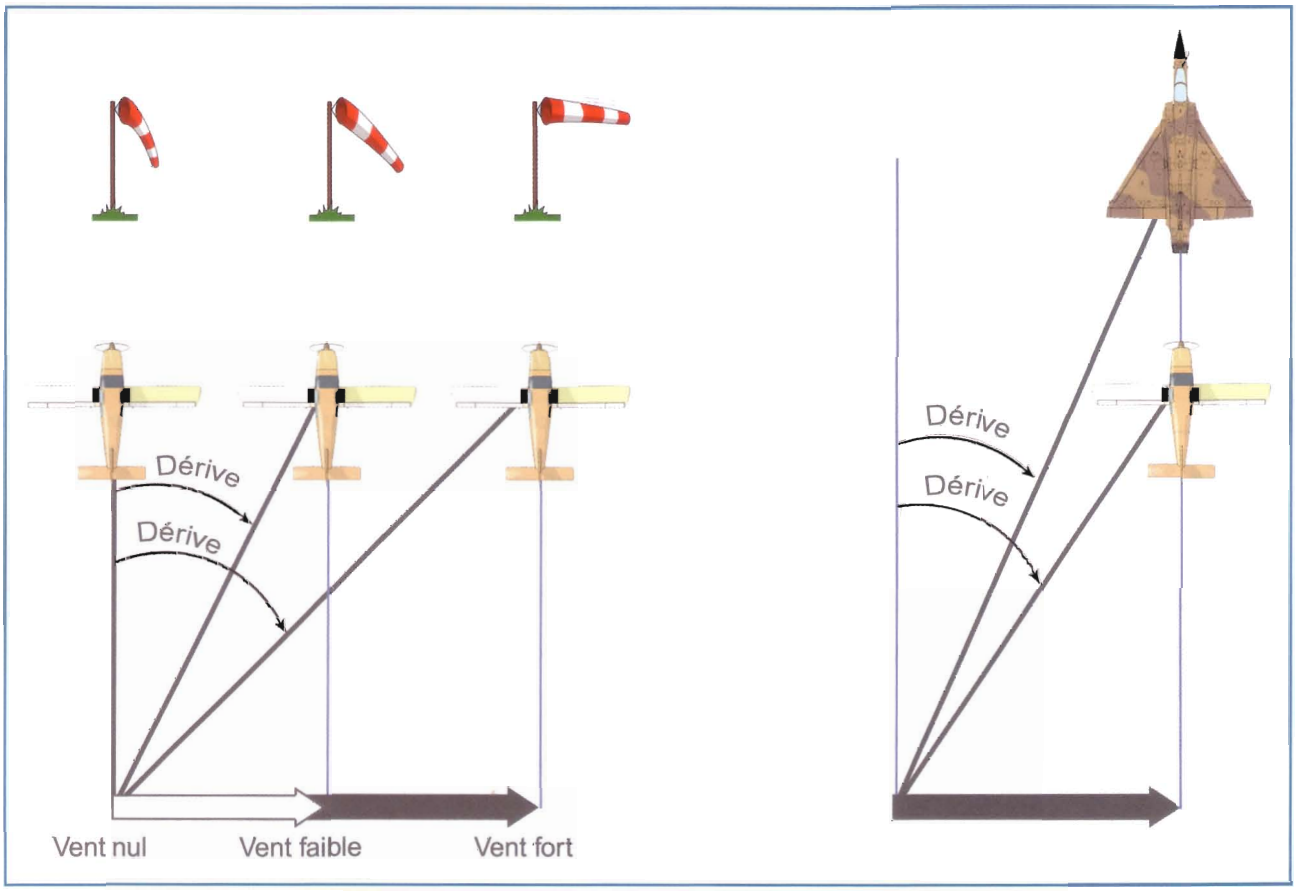


Fig. 226 – *La dérive est fonction du vent traversier et de la vitesse de l'avion.*

Le triangle des vitesses

L'étude des trois cas précédents met en lumière l'existence d'une relation entre :

- les trois vitesses suivantes : la vitesse propre, la vitesse du vent, la vitesse sol ;
- les trois directions suivantes : le cap, la direction du vent, la route.

Le déplacement de l'avion par rapport au sol est le résultat du déplacement de l'avion par rapport à l'air et du déplacement de l'air par rapport au sol. Cette relation peut être représentée ainsi :

Ainsi, on peut déterminer par construction géométrique la valeur de la vitesse sol, sa direction et la valeur de la dérive, à condition bien entendu de respecter l'échelle pour les trois vitesses. Cette construction porte le nom de triangle des vitesses.

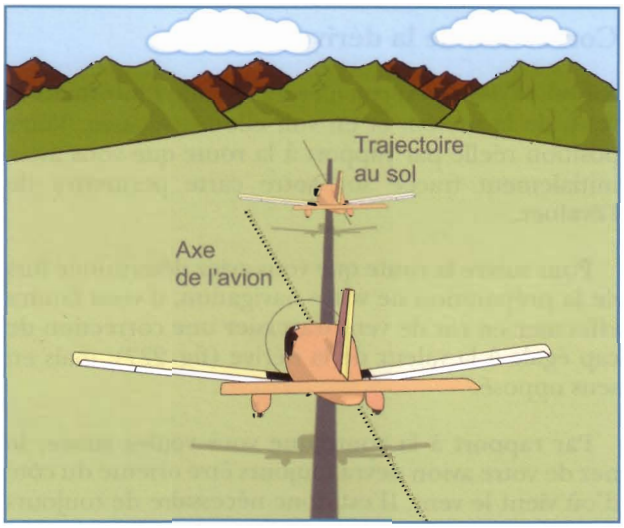


Fig. 227 – *Correction de dérive.*

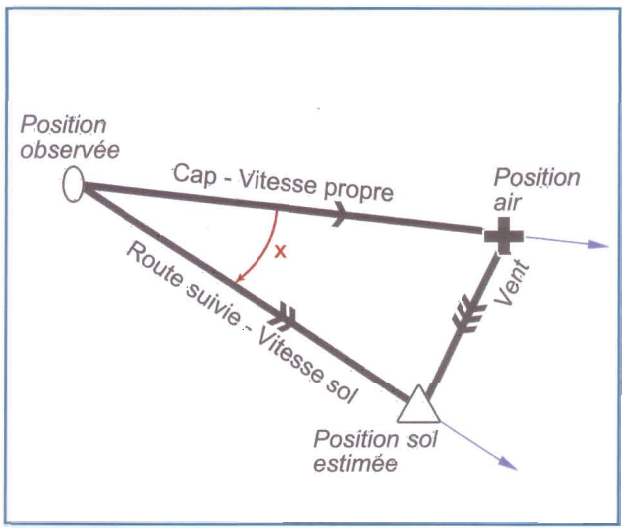


Fig. 228 – *Le triangle des vitesses.*

Notons qu'en mathématiques, ces vitesses peuvent être modélisées par des vecteurs. La relation qui les lie, et qui est représentée ici, est une somme vectorielle.

Aspects pratiques de l'influence du vent sur le vol

Il est primordial de prendre en compte les effets du vent lors de la préparation d'une navigation, pour au moins deux raisons directement liées à la sécurité :

- ***La consommation de carburant :*** plus le vent est de face, plus la vitesse sol est faible, pour une même vitesse propre. Autrement dit, plus le vent est de face, plus la consommation de carburant sera importante pour parcourir une même distance ;
- ***l'heure d'arrivée à destination :*** ceci est particulièrement important pour les vols débutés en milieu ou en fin de journée. Si le vent est de face, la vitesse sol diminue à vitesse propre constante. Le temps de vol peut s'allonger notoirement au point de ne pas pouvoir atteindre la destination avant le début de la nuit aéronautique (coucher du soleil + 30 minutes). Il faut alors se poser sur un terrain de déroutement, pendant qu'il en est encore temps…

Détermination de la quantité de carburant

(cf. Règles d'emport de carburant en page 367)

Lors de la préparation de votre navigation, les informations météorologiques vous permettront d'estimer un vent moyen sur le parcours.

Pour les étapes où le vent est arrière, ne décidez pas d'emporter moins de carburant parce que le vent va vous aider : si le vent est plus faible que prévu, vous aurez une quantité de carburant trop faible. Utilisez donc la consommation sans vent.

Par contre, par vent de face, tenez compte de l'effet maximal du vent quelle que soit sa direction exacte : considérez que le vent est plein avant. Voici un exemple de calcul de la consommation de carburant:

Votre route est 330 ° et vous avez prévu une vitesse de 120 kt, le vent est du Nord pour 20 kt.

Comme nous l'avons dit plus haut, on considère que le vent est de face, c'est-à-dire du 330 ° pour 20 kt. La vitesse sol estimée est donc de :

$$120 - 20 = 100 \text{ kt.}$$

Il faudra embarquer le carburant nécessaire pour un temps de vol déterminé avec une vitesse sol de 100 kt, et une consommation horaire correspondant à une vitesse air de 120 kt.

Détermination de l'heure estimée d'arrivée

L'heure estimée d'arrivée, aussi appelée HEA, dépend du vent rencontré sur le parcours.

Pour la calculer au moment de la préparation du vol, on procède de la même manière que pour la quantité de carburant : si le vent est arrière, on n'en tient pas compte s'il s'agit de savoir si l'arrivée à destination se fera avant le début de la nuit aéronautique. En vol, on calculera une HEA qui tient compte du vent réellement subi, même lorsqu'il est arrière.

Lorsqu'il est de secteur avant, on considère là aussi qu'il est de face. Reprenons l'exemple précédent :

La route est 330 °, la vitesse propre de 120 kt et le vent du Nord pour 20 kt, soit près de 20 % de la vitesse propre.

On considère que le vent est de face. Il nous faut donc majorer notre temps de : si le temps de vol sans vent est de 1 heure (avec une vitesse sol de 120 kt), le temps de vol avec vent (vitesse sol égale à 100 kt devra être estimé à :

$$60 \text{ min} + 20\ \% = 72 \text{ min}$$

La sagesse impose d'arriver avant le coucher du soleil car la diminution de luminosité modifie les références extérieures. Il sera plus délicat de trouver l'aérodrome, de réaliser l'intégration et l'atterrissage. Le parking devra être atteint dans tous les cas avant la nuit aéronautique.

Aide-mémoire :

Nord : N	Route : R	Cap : C
Dérive : X	Nord vrai : Nv	Route vraie : Rv
Cap vrai : Cv	Déclinaison magnétique : Dm	Nord magnétique : NM
Route magnétique : Rm	Cap magnétique : Cm	Déviation du compas : d
Nord compas : Nc	Cap compas : Cc	

X est positive si la dérive est à droite (vent venant de la gauche) ou négative si la dérive est à gauche (vent venant de la droite).

La déclinaison magnétique Dm est positive si elle est 'Est' ou positive si elle est 'Ouest'.

La déviation d est positive ou négative selon la courbe de déviation.

➡ $Rv - X = Cv - Dm = Cm - d = Cc$

ou

$Cc + d = Cm + Dm = Cv + X = Rv$ ⬅

Quelques formules pratiques pour naviguer :

Temps sans vent Tsv = 60/Vitesse propre (VP) × Distance
(60/VP = Facteur de base Fb sans vent)

Temps avec vent T estimé = 60/Vitesse sol (VS) × Distance
(60/VS = Facteur de base Fb avec vent)

Ou Temps T estimé = VP/VS × Tsv

Dérive maximale X_{max} = Vent × Fb

Dérive sur axe = X_{max} × Sin angle au vent

Vent effectif (composante du vent dans le sens de la route)
Vent × Cos angle au vent

UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.2

DÉCROCHAGE ET HYPERSUSTENTATION

Le décrochage

Dans la phase 1, nous avons abordé le **décrochage de l'aile** sous son aspect théorique : l'étude de la polaire.

La portance d'une aile augmente lorsque l'angle d'incidence augmente. Cependant, à partir d'une certaine valeur de cet angle, indépendante de la vitesse de l'avion (15 à 18 °), les filets d'air décollent de l'extrados (fig. 229) : l'aile décroche.

Le décrochage présente un danger s'il survient à faible hauteur. L'avion a en effet tendance soit à s'enfoncer, soit à effectuer une abattée, ce qui entraîne une perte importante d'altitude.

Quels sont les indices permettant de détecter l'approche du décrochage ?

Ce sont :

- les gouvernes molles (perte d'efficacité) ;
- le **buffeting**, vibrations dues à l'apparition d'un écoulement tourbillonnaire sur l'aile ;

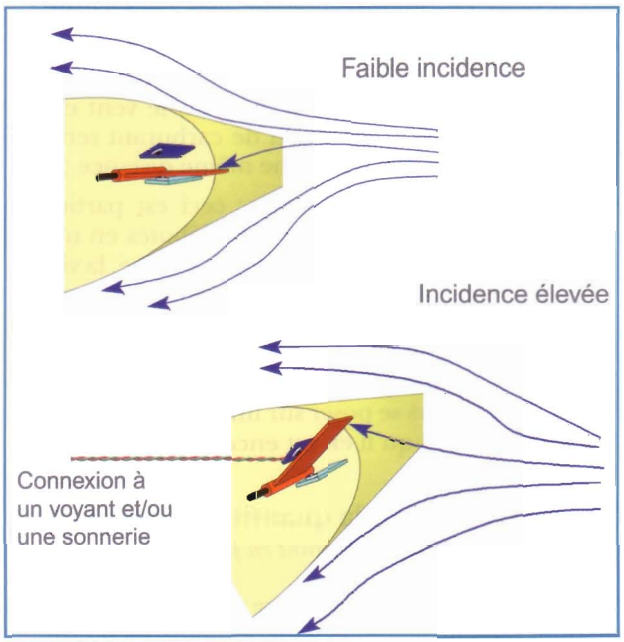


Fig. 230 – *Principe d'un avertisseur de décrochage.*

- l'**avertisseur de décrochage**, petite palette mécanique du bord d'attaque de l'aile, qui est soulevée par le vent relatif lorsque l'angle d'incidence atteint une valeur proche de l'incidence de décrochage (fig. 230). Il se déclenche 5 à 10 kt avant la vitesse de décrochage.

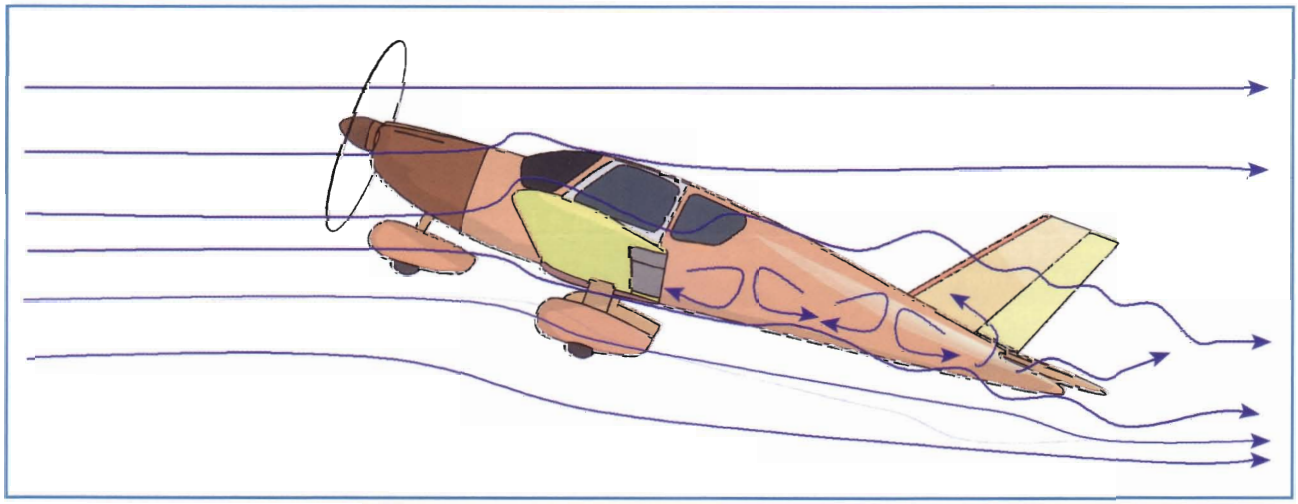


Fig. 229

Comment se manifeste le décrochage ?

Par une abattée, plus ou moins importante suivant le type de l'avion.

Quels sont les facteurs influant sur la vitesse de décrochage ?

Ce sont :

- la masse de l'avion : toute augmentation de la masse induit une augmentation de la vitesse de décrochage ;
- le facteur de charge (n) : son influence est à rapprocher de celle de la masse ; toute augmentation de n, augmente la vitesse de décrochage (par exemple, en virage ou en ressource) selon la relation.

$$V_{S\ VIRAGE} = V_{S\ INCLINAISON\ NULLE} \times \sqrt{n}$$

Vous connaissez maintenant les symptômes précurseurs du décrochage.

Que faire si vous vous trouvez dans une situation proche du décrochage ?

L'objectif est de revenir aux petits angles d'incidence et de minimiser la perte d'altitude. Pour cela, le geste qui sauve : **vous mettez plein gaz et vous adoptez une assiette correspondant à celle adoptée en cas d'approche interrompue.**

Définition de V_{SO}

On appelle V_{SO} la vitesse de décrochage en configuration atterrissage (train sorti et volets atterrissage).

Il est important de connaître V_{SO} qui permet de calculer la vitesse d'approche en configuration atterrissage : $1{,}3 \times V_{SO}$. Ce coefficient 1,3 garantit une marge de sécurité par rapport au décrochage.

Remarque

V_{SO} est déterminée à la masse maximale autorisée et au centrage le plus avant.

Les dispositifs d'hypersustentation

La première qualité d'un avion est d'avoir une vitesse de croisière la plus élevée possible. Mais dans le même temps, l'avion doit pouvoir voler à basse vitesse pour les besoins de l'atterrissage et du décollage.

Ces deux objectifs sont contradictoires d'un point de vue aérodynamique : un avion a de bonnes performances à une vitesse donnée mais voit ses performances décroître rapidement de part et d'autre de cette vitesse.

Comment faire pour construire un avion dont les performances soient bonnes sur une plage de vitesse étendue ?

Nous avons vu que la portance doit, en vol stabilisé, équilibrer le poids. Elle doit donc rester constante. Nous savons *(voir « Les facteurs influençant la résultante aérodynamique »)* que l'effet d'une diminution de vitesse peut être compensé par :

- une augmentation de l'incidence,
- une augmentation de la surface alaire,
- une augmentation de la courbure.

C'est en augmentant principalement la courbure, et dans certains cas la surface, que nous allons procéder, en utilisant des volets de bord de fuite, et des becs de bord d'attaque.

Il existe plusieurs types de volets de bord de fuite :

Le volet d'intrados

Seule la partie située à l'intrados de l'aile est braquée :

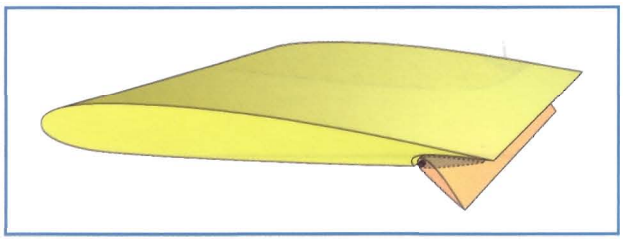


Fig. 231

Ce système autrefois couramment utilisé est maintenant assez peu répandu.

Le volet de courbure

Toute la partie arrière de l'aile **se braque vers le bas** :

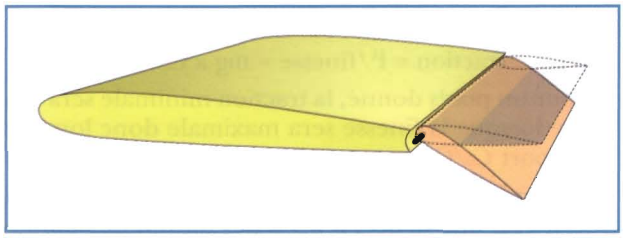


Fig. 232

C'est ce système que vous rencontrerez sur la majorité des avions.

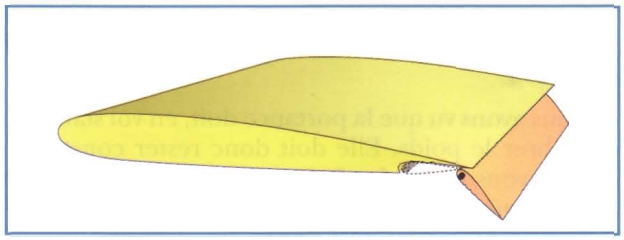


Fig. 233

Il est possible **d'allier l'augmentation de surface et l'augmentation de courbure** (fig. 233).

Ce dispositif est appelé « volet Fowler ». Il est constitué d'une surface qui recule pour augmenter la surface de l'aile et qui bascule pour augmenter la courbure.

Vous pourrez aussi rencontrer un dispositif d'hypersustentation de bord d'attaque, appelé « **becs** de bord d'attaque ». Certains types de becs sont fixes, d'autres sont à déploiement automatique (fig. 234). Ce système recule l'incidence de décrochage.

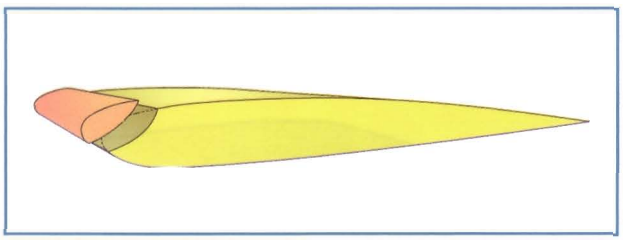


Fig. 234

PUISSANCES UTILE ET NÉCESSAIRE – PERFORMANCES

Nous avons vu pourquoi notre avion vole dans la phase 1 et le pilotage de base en phase 2 ; il est intéressant aussi de connaître les performances de votre avion et les évolutions de celles-ci en fonction de la vitesse et de l'altitude.

Lors d'un vol en palier, la traction (T) est égale à la traînée et la portance est égale au poids (mg) et :

finesse (f) = Portance / Traînée

ou encore

Traction = P/finesse = mg × Cx/Cz

Pour un poids donné, la traction minimale sera obtenue lorsque la finesse sera maximale donc lorsque le rapport *Cz/Cx* est maximal.

Cependant, sur un avion équipé d'un moteur à piston et d'une hélice, il n'y a pas moyen de connaître la valeur de la traction fournie. Il faudrait pour cela installer un dynamomètre sur l'arbre de l'hélice. Par contre, la puissance fournie peut être facilement connue. La puissance *P* est en fait le produit de la traction par la vitesse :

Puissance = T × V

Puissance utile

Pour des vitesses de vol usuelles, la puissance fournie par le moteur peut facilement être déterminée à partir du régime moteur pour un avion équipé d'une hélice à calage fixe et à partir du régime et de la pression d'admission pour un avion équipé d'une hélice à calage variable.

Dans le manuel de vol, la puissance est exprimée en pourcentage de la puissance maximale ; la puissance utilisable de votre avion que l'on désigne *Pu* est fonction du nombre de tours moteur et de la vitesse avion (fig. 235).

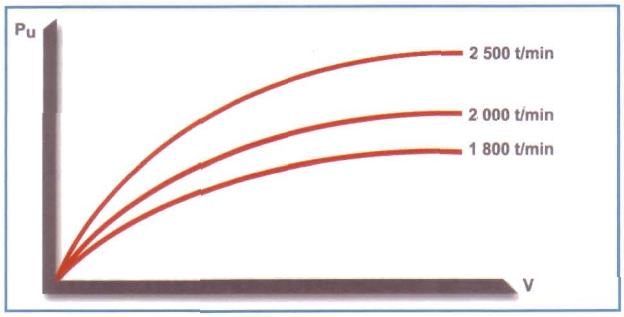


Fig. 235 – *Courbes de puissance fournie par moteur hélice à calage fixe.*

Pour un moteur classique non équipé de compresseur, cette puissance utile diminue avec l'altitude pression *Z* comme le montre les figures 236 et 237 selon le type d'hélice utilisée.

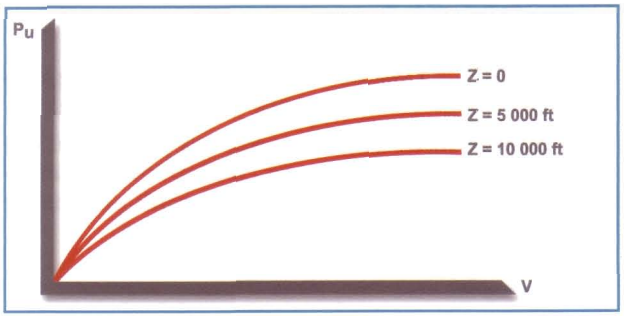


Fig. 236 – *Courbes de puissances utiles en fonction de l'altitude pression Z, puissances fournies avec une hélice à calage fixe.*

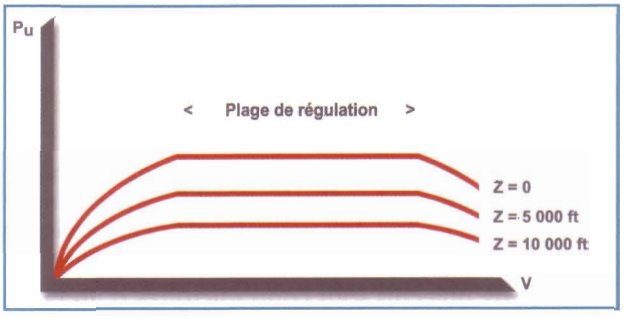


Fig. 237 – *Courbe de la puissance utile maxi en fonction de l'altitude pression Z avec une hélice à calage variable.*

A noter que la plage de puissance maxi se situe sur une plage de vitesse beaucoup plus importante (rendement hélice bien meilleur).

Puissance nécessaire

On démontre par ailleurs que la puissance nécessaire au vol que l'on désigne *Pn* est fonction de la finesse, donc la masse, et de la vitesse suivant une courbe ayant l'allure de la figure 238.

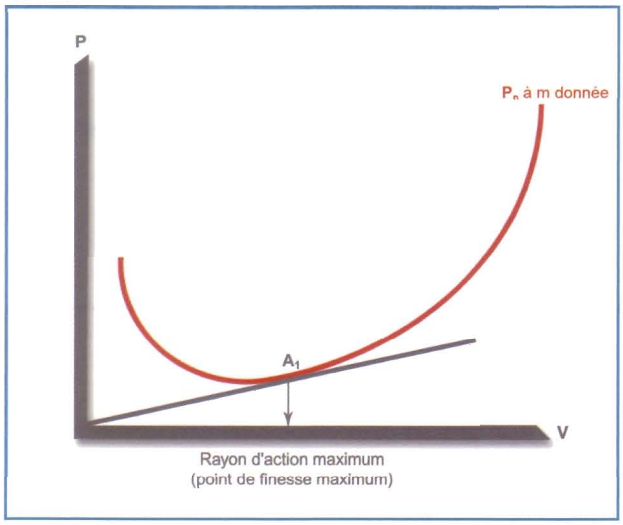


Fig. 238 – *Courbe de la puissance nécessaire en fonction de la vitesse V et courbe de puissance fournie avec une hélice à calage fixe.*

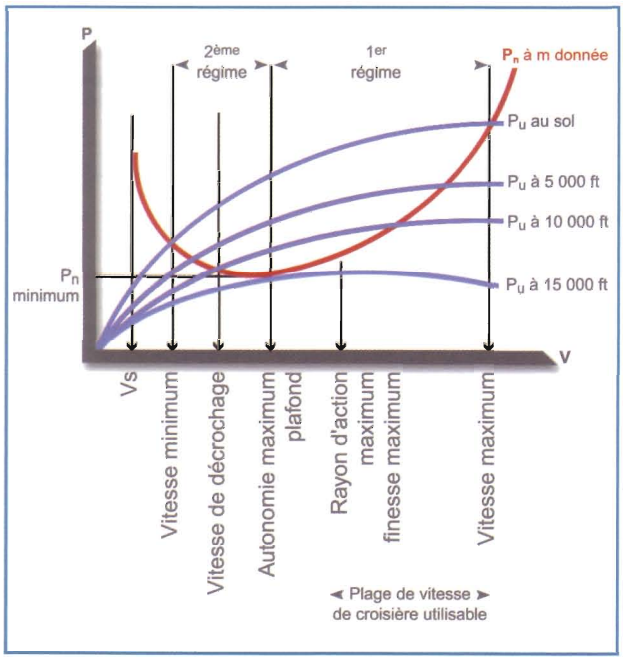


Fig. 239 – *Vitesses caractéristiques en fonction de la puissance.*

Vitesses caractéristiques Premier et second régimes

Le vol en palier à une altitude donnée n'est donc possible que si *Pu* = *Pn*. Pour mieux comprendre superposons les deux courbes (fig. 239).

On observe alors que :

- le vol en montée et en palier n'est possible qu'entre V_{MIN} et V_{MAXI} ;
- le vol à puissance minimale est déterminé par le point le plus bas de la courbe *Pn*.
- le vol à puissance minimale est différent du vol à traction minimale ; le premier correspond à la consommation horaire minimale (autonomie maximale) alors que le second correspond à la consommation kilométrique minimale (rayon d'action maximal).

Considérons le point de vol à puissance minimale. Au-delà de la vitesse correspondante, vous volez au « premier régime ». En deçà, vous volez au « second régime ».

Au premier régime (ou aux petits angles), la vitesse est stable. En effet, si pour une raison ou pour une autre, elle diminue momentanément, la puissance disponible devient supérieure à ce qui est nécessaire pour maintenir le palier. Si vous maintenez le palier, votre avion va reprendre sa vitesse initiale.

Au contraire, au second régime (ou aux grands angles), la vitesse est instable. Si elle vient à diminuer, la puissance nécessaire devient insuffisante et votre avion va continuer à ralentir de plus en plus. Vous allez donc très vite arriver en butée de manette des gaz et la seule solution pour vous en sortir est de perdre de l'altitude.

Si on considère maintenant la courbe du faisceau *Pu* tangente à la courbe *Pn*, on obtient un point qui correspond au plafond. Une seule vitesse permet donc de l'atteindre en vol rectiligne.

La consommation kilométrique est la plus faible valeur du rapport Puissance/Vitesse. Or ce rapport est précisément égal à la traction. La consommation kilométrique minimale sera donc obtenue à la vitesse de traction minimale et comme nous l'avons vu plus haut à la vitesse de finesse maximale.

Le point correspondant à la finesse maximale est obtenue en traçant une tangente à la courbe *Pn* issue de l'origine (fig. 238) ; c'est aussi le point qui correspondant au rayon d'action maximal.

Enfin, la différence *Pu* – *Pn* représente la puissance supplémentaire disponible. A la vitesse où cette différence est maximale, l'excédent de puissance disponible sera maximal : c'est à cette vitesse que pourra être obtenue la vitesse ascensionnelle maximale (V_z max). Vous adopterez cette vitesse à chaque fois que vous voudrez atteindre une altitude le plus rapidement possible (fig. 240).

On peut également représenter la courbe qui indique les variations de *Pu* – *Pn* en fonction de la vitesse

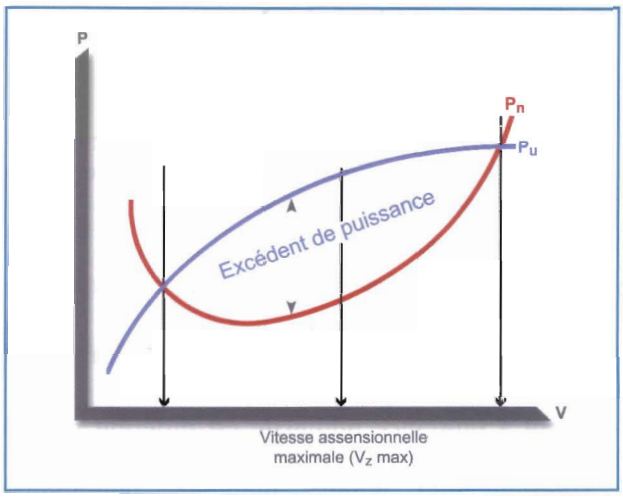


Fig. 240 – *Vitesse de V_z max.*

(fig. 241) ; le sommet de la courbe correspond à la V_z max.

Le point de contact avec la tangente issue de l'origine donne la vitesse où le quotient *Pu – Pn* par la vitesse sera maximal. Comme *Pu – Pn* représente la vitesse verticale potentielle, son quotient par la vitesse horizontale donne la pente ascensionnelle. Le point trouvé correspond donc à la vitesse qui permet d'obtenir la pente maximale.

Vous voyez que la vitesse de pente maximale est sensiblement plus faible que la vitesse de V_z max. Vous l'adopterez lorsque vous aurez à franchir un obstacle ou que les consignes particulières d'un aérodrome le prévoient afin de survoler des zones habitées le plus haut possible, par exemple, après décollage *(voir également le paragraphe relatif aux montées particulières associées au décollage en Phase IV page 293).*

De même, on note que l'excédent de puissance diminue en fonction de l'altitude (fig. 239) et que les pentes de montée en sont d'autant affectées.

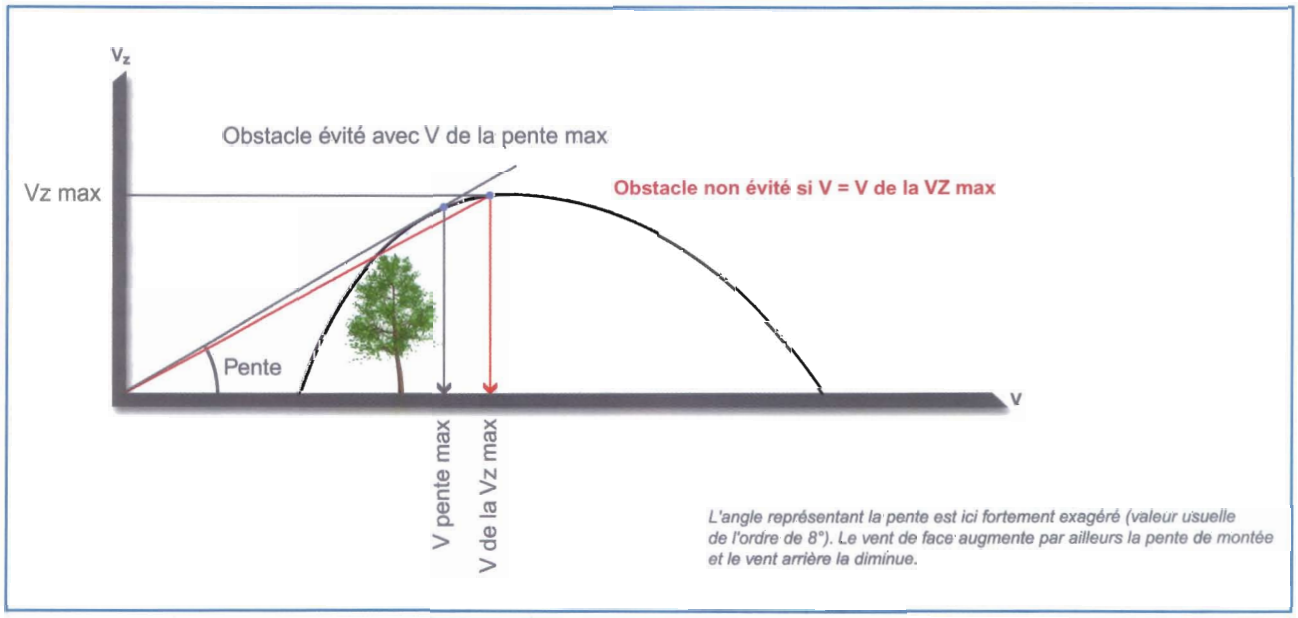


Fig. 241 – *Courbe Pu – Pn.*

APPROCHE FINALE ET ATTERRISSAGE

L'APPROCHE FINALE

La pente d'approche

C'est la phase de vol précédant l'atterrissage. Cette trajectoire se caractérise par une pente et une trajectoire sol dans l'axe de la piste.

Les limites de la pente

La pente se définit par un angle par rapport au sol, que l'on exprimera en degré ou en pourcentage. Une pente de 3 ° correspond environ à 5 %, c'est-à-dire que pour une distance parcourue de 100 mètres la variation d'altitude est de 5 mètres (fig. 242).

Limite basse : elle est fonction de plusieurs paramètres (fig. 243). Vous devez pouvoir maintenir une bonne perception de la piste pendant l'approche et franchir les obstacles avec une marge de hauteur compatible avec la sécurité. Enfin les nuisances sonores causées aux tiers doivent être réduites au minimum.

Limite haute : elle est déterminée par la pente d'approche, moteur à la puissance minimale tout en respectant la vitesse d'approche recommandée (fig. 244).

Le plan 5 %

Actuellement la valeur moyenne retenue pour les pentes d'approches est de 3 °, ou en pourcentage 5 %. Cette valeur respecte les performances générales des avions. Le fait que tous les avions utilisent la même pente d'approche accroît la sécurité en permettant au pilote de garder le contact visuel avec les autres aéronefs en approche finale (fig. 245).

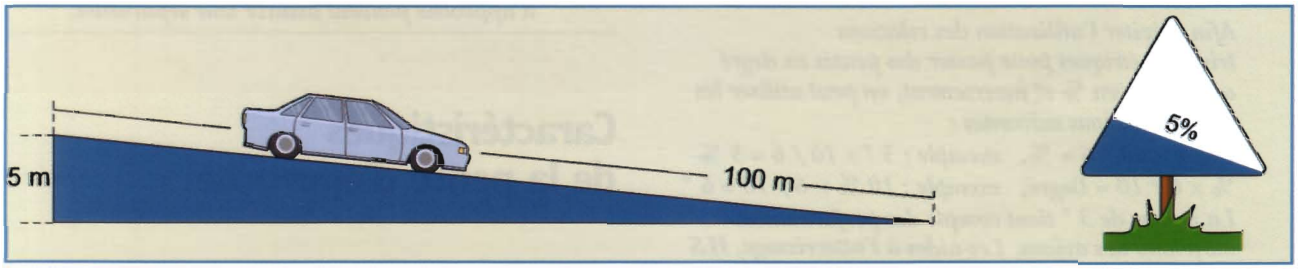


Fig. 242

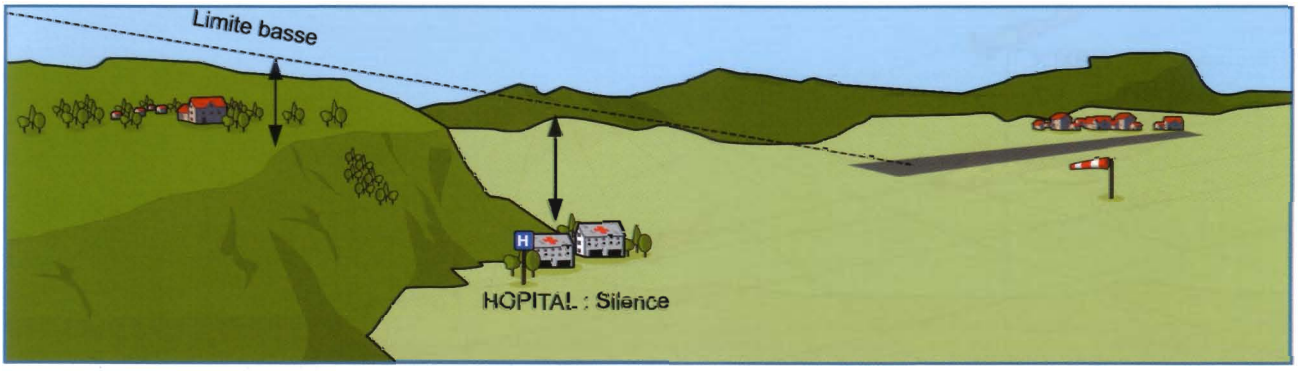


Fig. 243

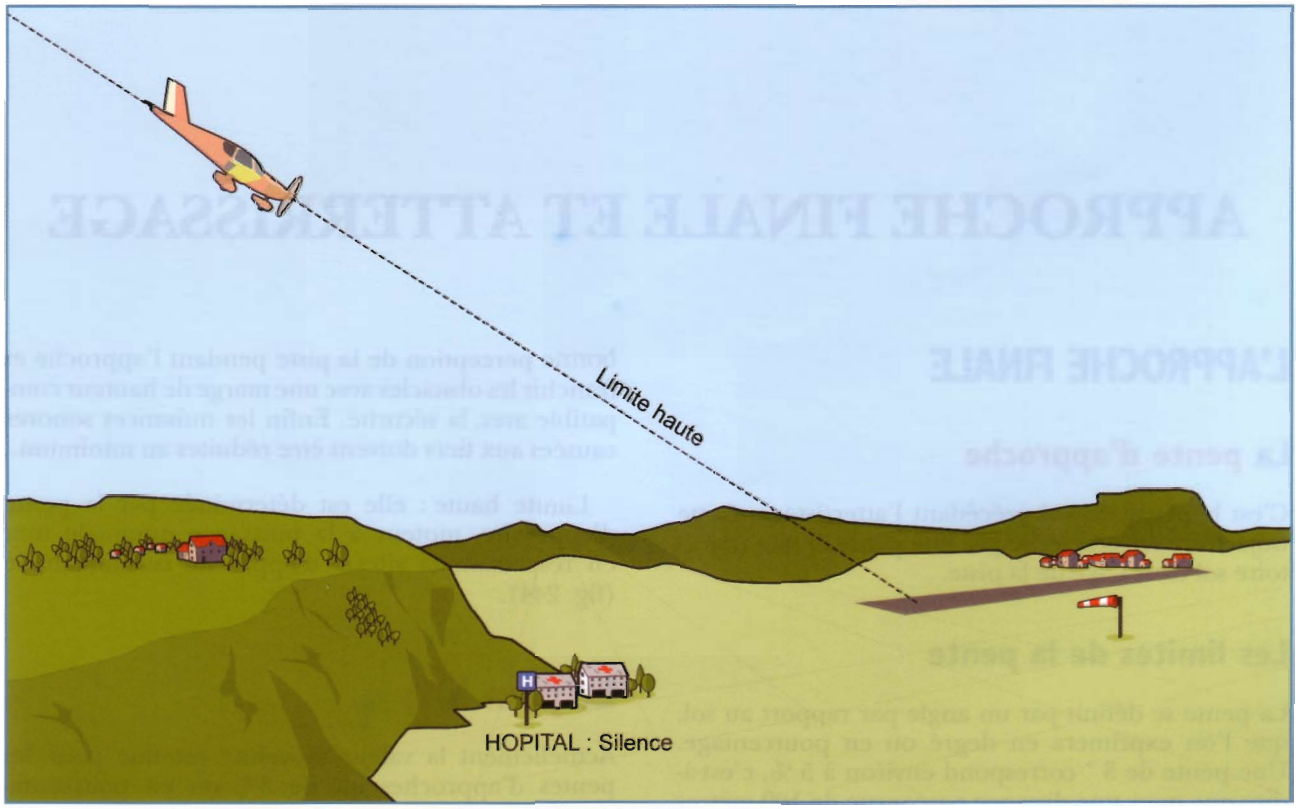


Fig. 244

Note

Afin d'éviter l'utilisation des relations trigonométriques pour passer des pentes en degré aux pentes en % et inversement, on peut utiliser les approximations suivantes :
Degré × 10 / 6 = %, exemple : 3 ° × 10 / 6 = 5 %
% × 6 / 10 = Degré, exemple : 10 % × 6 / 10 = 6 °
La valeur de 3 ° tient compte des performances moyennes des avions. Les aides à l'atterrissage, ILS et PAPI sont réglées pour cette moyenne.

Remarque

Le fait que tous les avions utilisent la même pente d'approche concourt à la sécurité.

- *on voit sur la figure 245 que les pilotes des avions situés sur la même verticale ne se voient pas ;*
- *par contre les avions situés sur un même plan d'approche peuvent assurer leur séparation.*

Caractéristiques de la pente d'approche

Par rapport au sol

L'angle de 3 ° détermine par rapport au sol une relation hauteur-distance. Aussi est-il possible de connaître à tout moment, en fonction de la distance restante, la hauteur à laquelle doit se trouver l'avion (fig. 246).

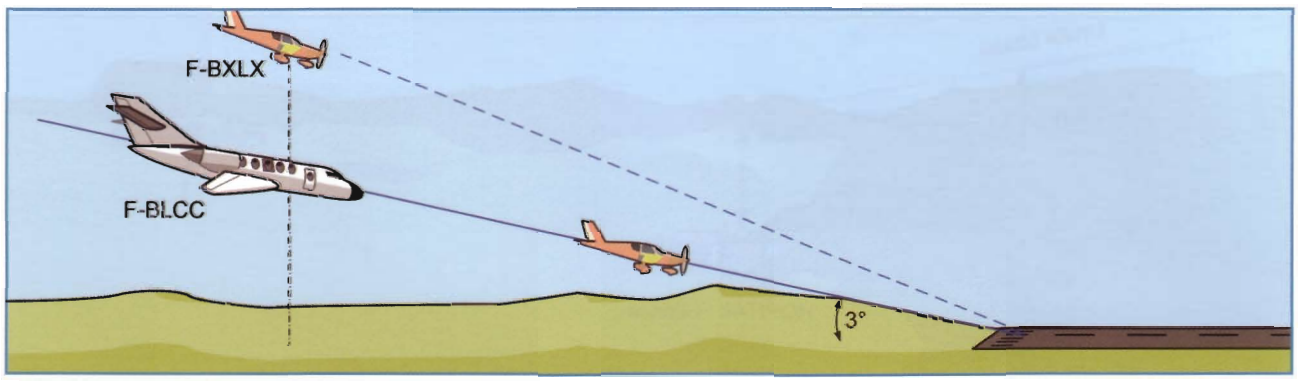


Fig. 245

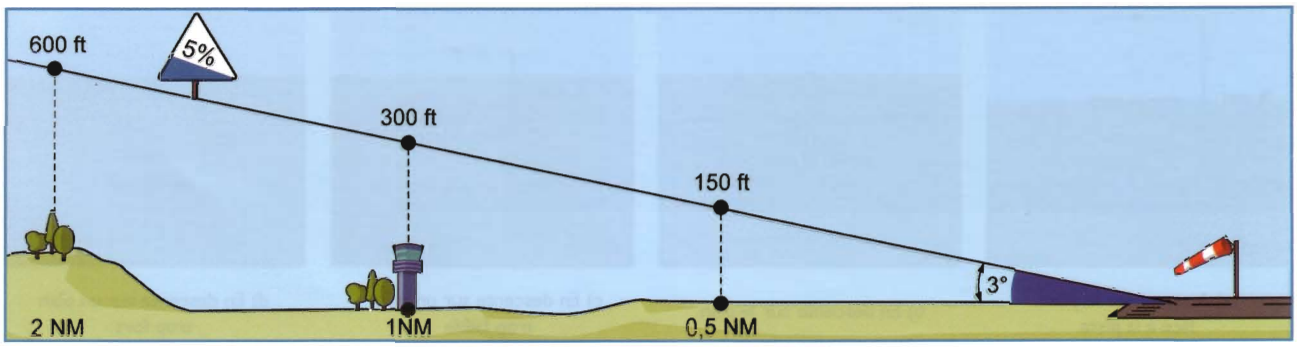


Fig. 246 – *La relation hauteur-distance par rapport au sol.*

Vous pouvez utiliser des repères sol sur la trajectoire d'approche finale pour contrôler votre hauteur de passage. Dans l'exemple de la figure 246 le passage du château d'eau s'effectue à 300 ft.

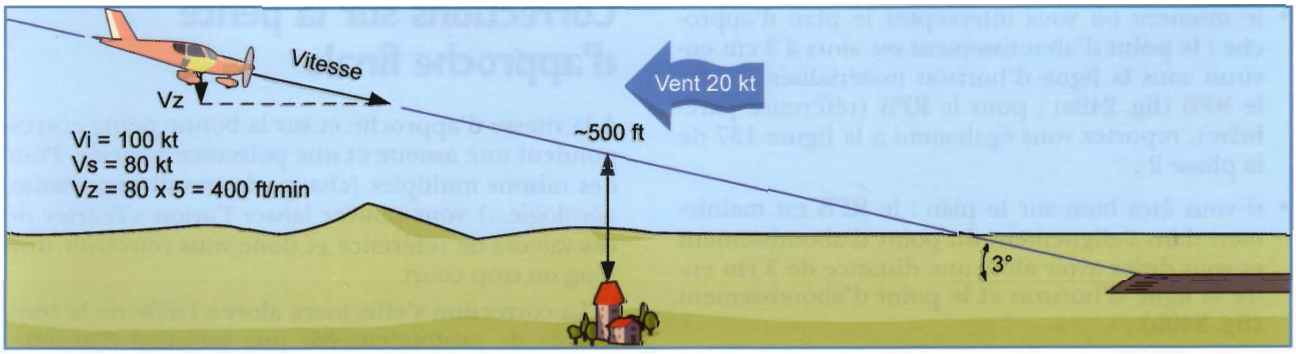


Fig. 247 – *La relation vitesse sol-Vz.*

Dans l'avion

Il existe une autre relation en fonction de la pente d'approche suivie, de la vitesse sol de l'avion, et du taux de chute Vz (ou vitesse verticale) :

Vz (en ft/min) = Vitesse Sol (en kt) × Pente (en %)

Cette relation vous permet, à condition de bien évaluer l'effet du vent, de suivre une pente d'approche précisément, en l'absence d'information nécessitant des installations au sol (PAPI).

Exemple

Avec une vitesse sol de 80 kt sur un plan de 5 %, la Vz est de 80 × 5 = 400 ft/min.

En utilisant certains moyens comme la vérification de votre hauteur au passage de repères (fig. 247) ou une aide visuelle comme le PAPI (fig. 262) vous pourrez mémoriser, en évaluant de façon de plus en plus précise, l'angle de la pente d'approche. Notez que la visualisation de la perspective de la piste dépend uniquement des dimensions de celle-ci.

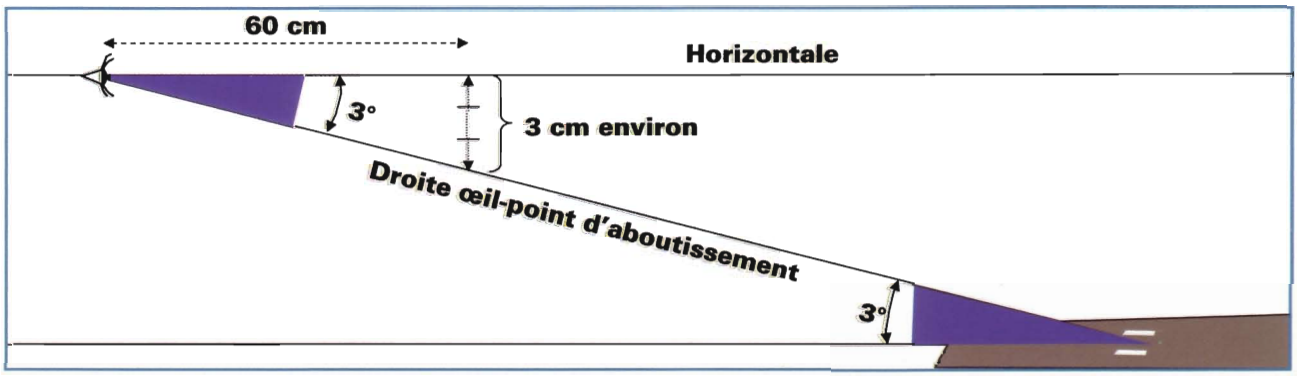


Fig. 248

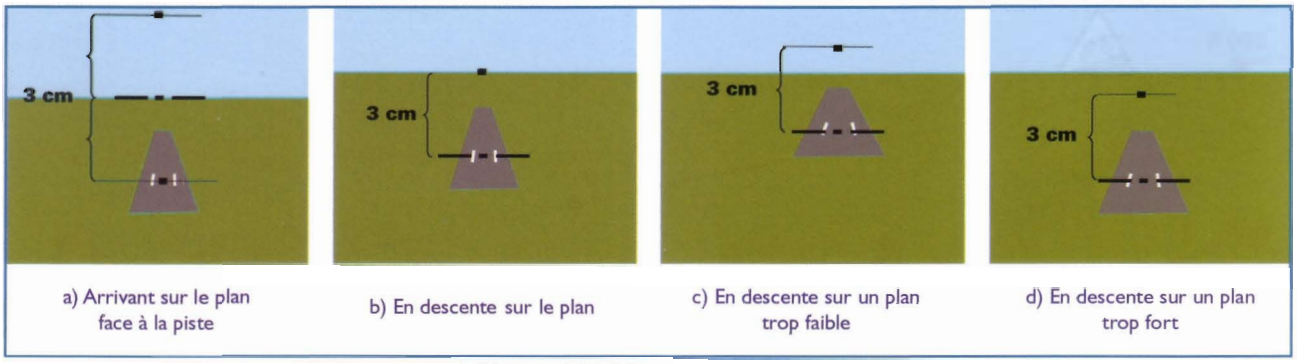


Fig. 249

Enfin, pour un plan d'approche à 3 ° (5 %), il faut savoir qu'un angle de 3 ° représente une distance de 3 cm à une distance de 60 cm environ de l'œil (fig. 248). Vous pouvez donc aussi apprécier :

- le moment où vous interceptez le plan d'approche : le point d'aboutissement est alors à 3 cm environ sous la ligne d'horizon matérialisée ici par le RPB (fig. 249a) ; pour le RPB (référence pare-brise), reportez vous également à la figure 137 de la phase 2 ;
- si vous êtes bien sur le plan : le RPB est maintenant dans l'alignement du point d'aboutissement et vous devez avoir alors une distance de 3 cm entre la ligne d'horizon et le point d'aboutissement (fig. 249b) ;
- si vous êtes trop bas : la distance entre le point d'aboutissement et la ligne d'horizon est inférieure à 3 cm (fig. 249c)
- si vous êtes trop haut : la distance entre le point d'aboutissement et la ligne d'horizon est supérieure à 3 cm (fig. 249d)

Cette distance de 3 cm peut être évaluée par rapport à l'épaisseur de vos doigts en ayant le bras tendu vers l'avant, à environ 60 cm ; cette évaluation faite, vous disposez là d'un système de visée simple et pratique.

Corrections sur la pente d'approche finale

A la vitesse d'approche et sur la bonne pente correspondent une assiette et une puissance associée. Pour des raisons multiples (charge de travail importante, aérologie...) vous pouvez laisser l'avion s'écarter de ces valeurs de référence et donc vous retrouver trop long ou trop court.

La correction s'effectuera alors à l'aide de la commande de profondeur par une variation d'assiette, donc d'incidence et de pente, en veillant à maintenir constante la vitesse d'approche.

Vous êtes trop court

L'écart étant perçu, vous devez :

- reprendre l'assiette de palier ;
- appliquer la puissance nécessaire pour maintenir la vitesse d'approche ;

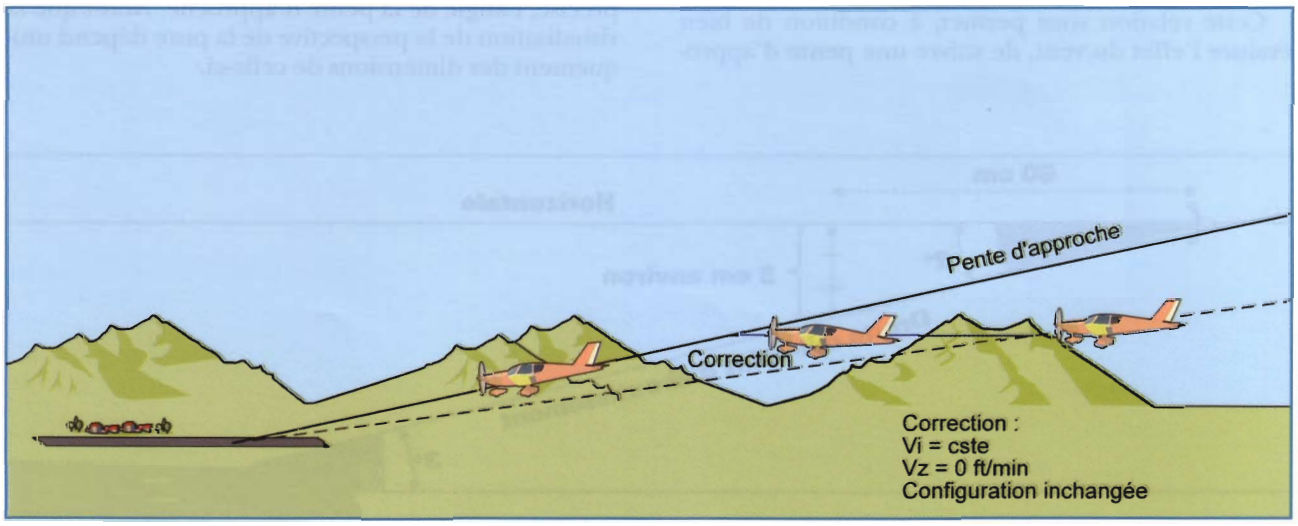


Fig. 250 – *Trop bas sur le plan.*

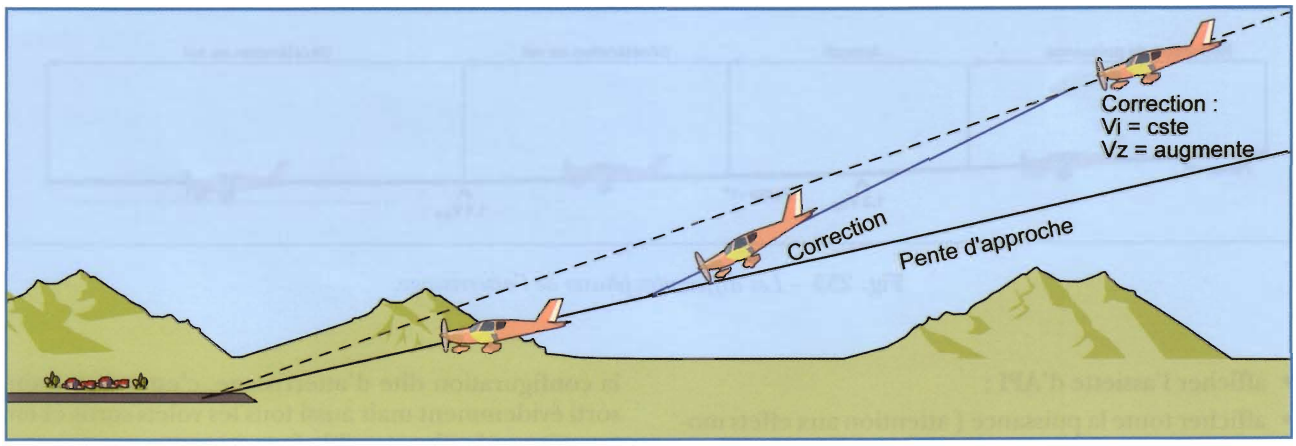


Fig. 251 – *Trop haut sur le plan.*

- anticiper le retour sur le plan de descente, en reprenant une puissance et une assiette de descente adaptées (fig. 250).

Vous êtes trop long

L'écart étant perçu, vous devez :

- prendre une assiette plus « à piquer » ;
- maintenir la vitesse d'approche (réduction de la puissance) ;
- anticiper le retour sur le plan de descente, en reprenant une puissance et une assiette de descente adaptées (fig. 251).

Il est important pendant ces phases de correction de consacrer son attention au pilotage, et d'analyser les causes de l'écart pour en déduire la puissance et l'assiette de descente qui permettront de rester sur la pente de référence.

L'axe d'approche

Pour une bonne exécution de l'atterrissage, l'avion doit être stabilisé sur l'axe d'approche en courte finale.

Vous devez matérialiser votre trajectoire sol en choisissant des repères situés dans le prolongement de l'axe de piste. La perception de la forme de la piste permet également de vérifier votre alignement.

Pour des distances de 2 à 3 km vous voyez la piste sous la forme d'un trapèze. Aligné sur l'axe le trapèze est symétrique, lorsque vous vous écartez de l'axe, le trapèze se déforme et n'est plus symétrique (fig. 252).

L'approche interrompue

Si pour quelques raisons que ce soit, vous n'avez pas, au plus tard à 100 ft AAL maîtrisé correctement l'axe, la pente, la vitesse, vous devez effectuer une approche interrompue (API) ; pour cela :

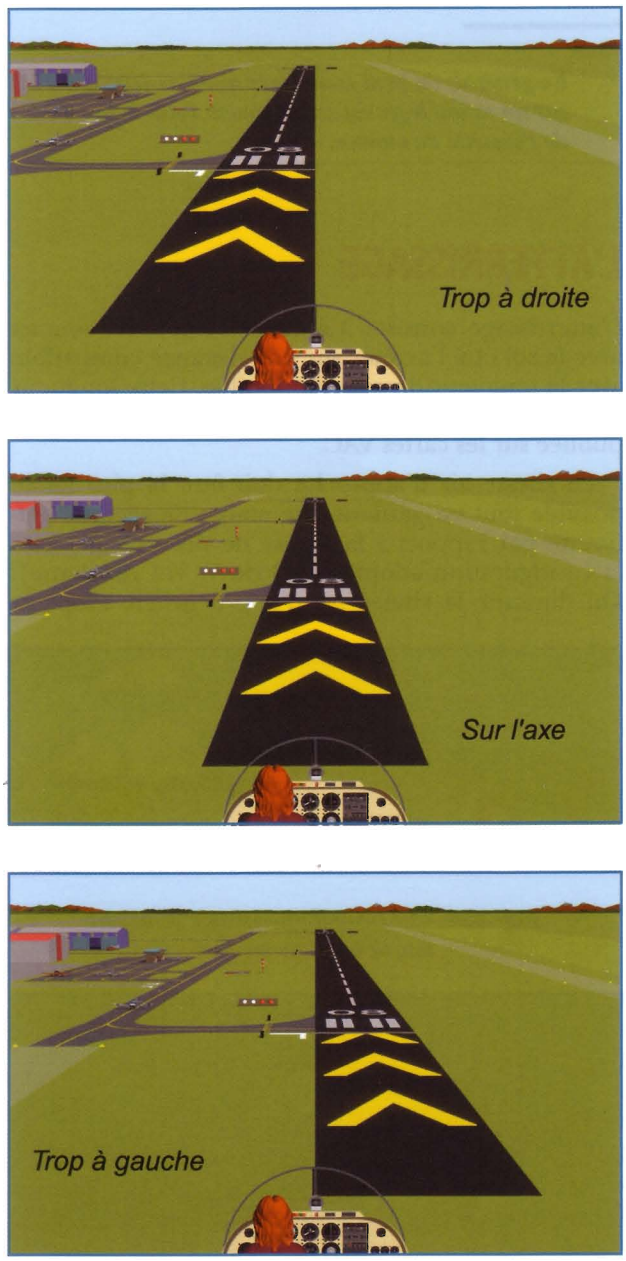


Fig. 252 – *L'axe d'approche.*

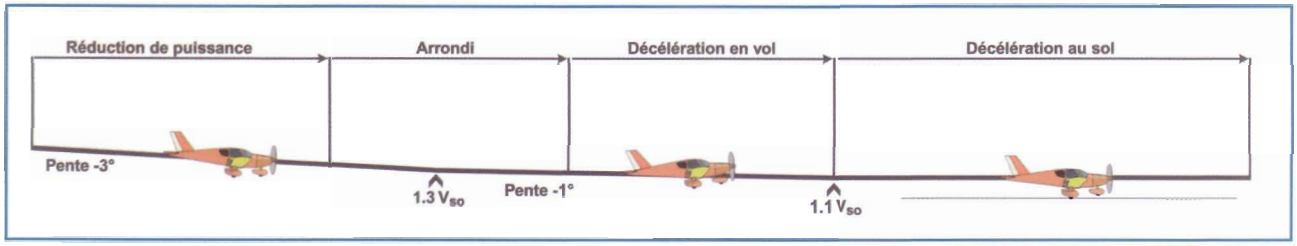


Fig. 253 – *Les différentes phases de l'atterrissage.*

- afficher l'assiette d'API ;
- afficher toute la puissance (attention aux effets moteur qui sont maximum sur l'assiette et le lacet) ;
- rentrer les traînées conformément au manuel de vol ;
- poursuivre comme après le décollage

Note

En général, on peut considérer que l'assiette d' API sur un avion léger est sensiblement égale à la moitié de l'assiette de montée.

L'ATTERRISSAGE

L'atterrissage consiste à amener l'avion en contact avec le sol et à l'arrêter sur une distance compatible avec la longueur de piste disponible. Cette longueur désignée LDA (pour Landing Distance Available) est publiée sur les cartes VAC.

La vitesse air d'approche doit être la plus faible possible tout en gardant une marge de sécurité suffisante par rapport à la vitesse de décrochage dans la configuration adoptée (1,3 de V_S Vol rectiligne). On diminue la vitesse sol d'approche en adoptant la configuration dite d'atterrissage, c'est à dire train sorti évidemment mais aussi tous les volets sortis et en atterrissant le plus possible face au vent.

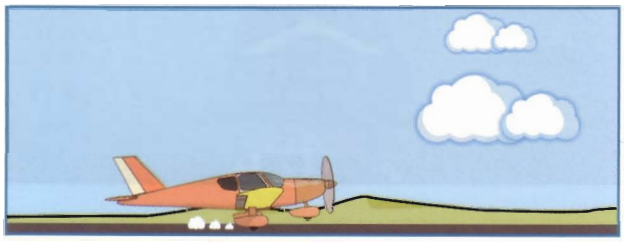


Fig. 254 – *Le train d'atterrissage principal touche le sol en premier.*

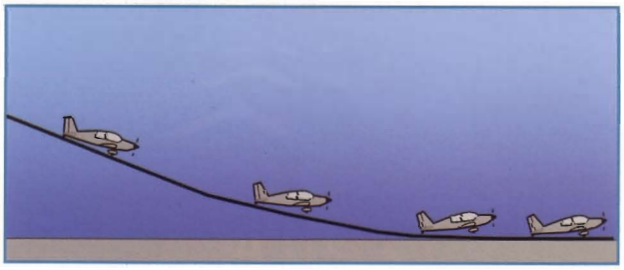


Fig. 255 – *Atterrissage « trois points » avec un avion à train classique.*

L'atterrissage comporte trois phases principales : l'arrondi, la décélération en vol et la décélération au sol (fig. 253) ; l'exécution de ces phases diffère selon que l'avion est doté d'un train d'atterrissage tricycle (fig. 254) ou classique (fig. 255).

L'arrondi

En approche, le circuit visuel s'appuie sur une vision centrale axe-plan-vitesse. Lorsque vous êtes certains d'atteindre le point d'aboutissement et au plus tôt au franchissement du seuil de piste, vous débuterez votre arrondi ; le circuit visuel se fonde sur une vision périphérique , axe-perspective de piste-horizon.

Pour aider à déterminer son point d'aboutissement, des marques de **point cible** *(cf. fig. 165 page 152)* sont matérialisées sur les pistes revêtues utilisées aux instruments ; ces marques sont situées à une distance du seuil qui dépend de la longueur de piste avec un minimum de 150 mètres pour une

LDA < 800 mètres et un maximum de 400 mètres pour une LDA > 2 400 mètres. Sur les pistes non revêtues, vous pouvez fixer votre point d'aboutissement par rapport aux balises de bord de piste, ces dernières étant espacées d'environ 60 mètres.

Il n'est pas installé à bord des avions légers d'instrument qui vous indique la hauteur du début de l'arrondi.

Ce sont les informations visuelles extérieures qui déclenchent le début de cette manœuvre notamment :

- la vision périphérique axe-perspective de piste qui permet d'apprécier la hauteur par rapport à la piste.

Conduite de l'arrondi

C'est une phase délicate de l'atterrissage. L'apprentissage est basé sur la répétition du geste jusqu'à ce que les repères visuels soient acquis. Cependant, un arrondi bien contrôlé nécessite une finale stabilisée sur le plan, dans l'axe et à la vitesse d'approche correcte. Au début de l'apprentissage, un balayage visuel conscient est nécessaire pour obtenir ces informations alternativement.

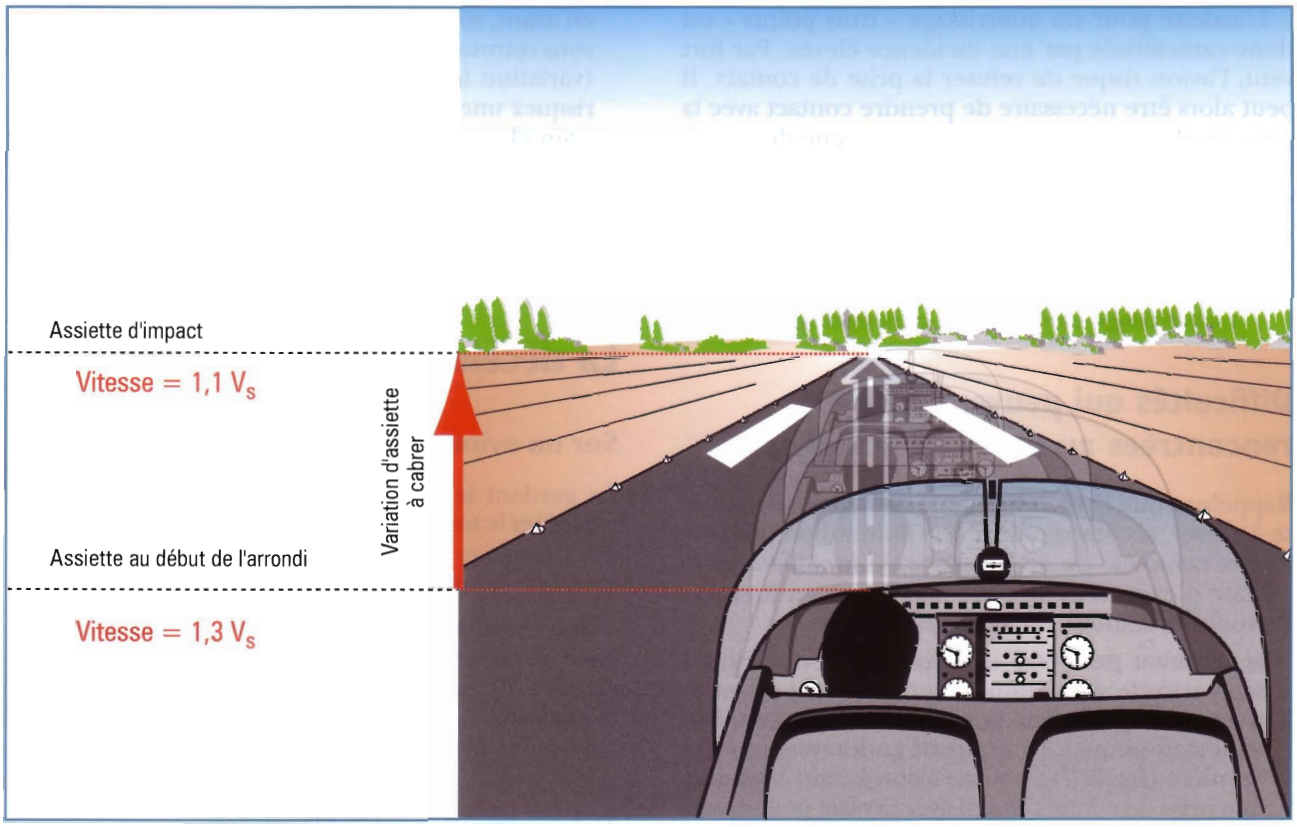


Fig. 256 – *Phase de décélération en vol sur avion à train tricycle.*

Sur un avion à train tricycle

Quand vous débutez votre arrondi, vous réduisez lentement la puissance ; vous diminuez la pente pour passer de la pente d'approche (– 3 ° en général à moins qu'un obstacle impose un pente plus forte) à une pente de – 1 ° ; vous adaptez la rapidité de la rotation en tangage à la vitesse de rapprochement du sol. Etabli sur cette pente, vous abordez la phase de décélération en vol.

Sur un avion à train classique

Pour ce type d'avion , l'arrondi est une phase relativement brève. Au début de l'arrondi, vous réduisez complètement la puissance et effectuez une rotation en tangage de façon à venir sur une trajectoire en palier et à faible hauteur au dessus de la piste, vous adaptez la rapidité de la rotation en tangage à la vitesse de rapprochement du sol ; une fois en palier, vous êtes en phase de décélération en vol.

La décélération en vol

La vitesse étant en diminution, le maintien de la trajectoire nécessite une variation de l'assiette à cabrer (relation vitesse-incidence).

Sur un avion à train tricycle

Au cours de cette phase de décélération, la vitesse va passer de 1,3 V_{SO} à 1,1 V_{SO} si l'atterrissage se fait en configuration atterrissage ; le toucher doit avoir lieu sur le train principal. Le constructeur a conçu son avion avec une « morphologie » qui se prête à l'atterrissage sur le train principal, c'est-à-dire sur les jambes de train situées sous les ailes (fig. 254).

En général, l'assiette d'impact se situe aux environs de + 4 °/5 ° ; cette assiette est atteinte sur la majorité des avions lorsque le capot arrive au niveau de la fin de piste ; une telle assiette permet de contrôler le maintien de l'axe dans la phase de décélération en vol jusqu'à l'impact ; elle garantit aussi de ne pas afficher une incidence trop forte et éviter ainsi un atterrissage dur du fait de l'augmentation brutale de la traînée (fig. 256).

Sur un avion à train classique

Au cours de cette phase de décélération, l'avion doit maintenir le palier ; la vitesse va donc décroître et l'assiette sera de plus en plus cabrée jusqu'à une valeur de l'ordre de 7 °/8 ° ; cette assiette, permettant un atterrissage « trois points », sera maintenue ; la vitesse étant toujours en diminution et le coefficient de portance restant constant ; la portance, vers 1,1 V_{SO}, si nous avons adopté la configuration atterrissage, ne va plus équilibrer le poids et l'avion va s'enfoncer et prendre contact avec la piste sur le train principal et la roulette de queue simultanément.

L'assiette pour un atterrissage « trois points » est donc caractérisée par une incidence élevée. Par fort vent, l'avion risque de refuser la prise de contact. Il peut alors être nécessaire de prendre contact avec la piste en effectuant un atterrissage en ligne de vol sur le train principal.

Quelque soit le type de train d'atterrissage de votre avion, vous prenez contact avec le sol à une vitesse supérieure à la vitesse de décrochage.

L'atterrissage n'est donc pas un décrochage !

Difficultés qui peuvent être rencontrées au cours de ces phases

Rappelons que l'arrondi est une variation de l'assiette à cabrer, accompagnée d'une diminution progressive et complète de la puissance. Vous adapterez la rythme d'exécution de cette manœuvre en fonction de vos informations visuelles, cependant :

- **la variation peut être trop lente** : sur un avion à train tricycle vous risquez alors de toucher sur le train principal et sur la roulette de nez (atterrissage trois points), ce qui peut endommagée cette dernière (fig. 257) ; sur une avion à train classique, une prise de contact brutal avec la piste peut provoquer une assiette à cabrer importante (c'est le « rebond ») et dans ce cas la remise des gaz s'impose.
- **la variation peut être trop rapide** : l'avion risque alors de remonter. Dans ce cas vous devez bloquez votre assiette, la puissance étant réduite, l'avion va reprendre sa descente, anticipez la reprise de l'arrondi (fig. 258).Surtout ne pas pousser le manche en avant, vous risquez un atterrissage brutal et vous vous retrouvez dans la situation vue précédemment (variation trop lente). Avec un train tricycle, vous risquez une rupture de la roulette. Sur un avion à train classique vous risquez aussi d'effectuer votre palier de décélération en vol à une hauteur trop élevée et votre avion va prendre contact avec la piste avec une vitesse verticale trop importante pouvant provoquer des dommages.

La décélération au sol

Sur un avion à train tricycle

En gardant la trajectoire parallèle à l'axe de piste, contrôler le toucher de l'atterrisseur avant. Appliquer une freinage progressif, continu et symétrique jusqu'au contrôle de la vitesse de roulage.

Sur certains avions, la roulette est bloquée dans l'axe dès le décollage ; après atterrissage, le roulage ne sera donc possible qu'après déverrouillage de la roulette, il y a donc lieu de veiller à exécuter la manœuvre comme prévu au manuel de vol.

Sur un avion à train classique

Lors de la prise de contact avec la piste lors d'un atterrissage normal, amener progressivement le manche en butée arrière pour faciliter la tenue d'axe et éviter la mise «en pylône» ; ce type d'avion est instable au roulage du fait que le centre de gravité est en arrière du train principal, le défaut de tenue d'axe

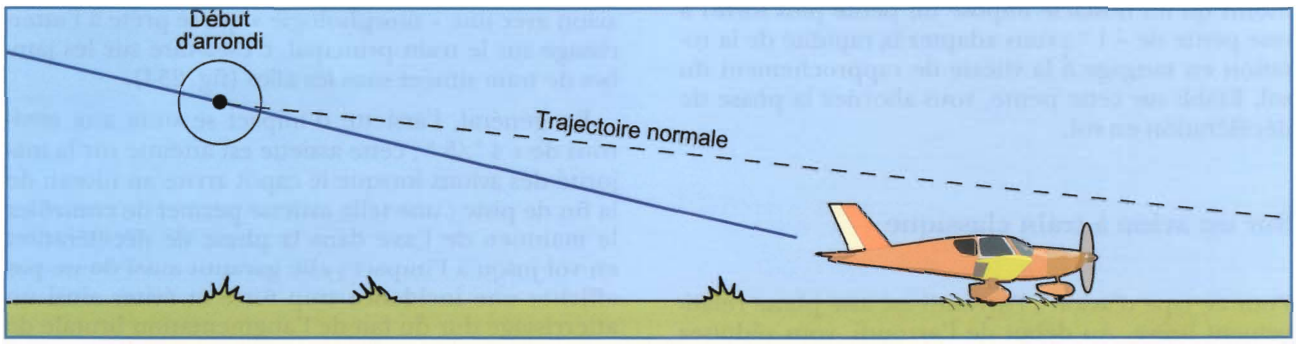


Fig. 257 – *Variation d'assiette trop lente.*

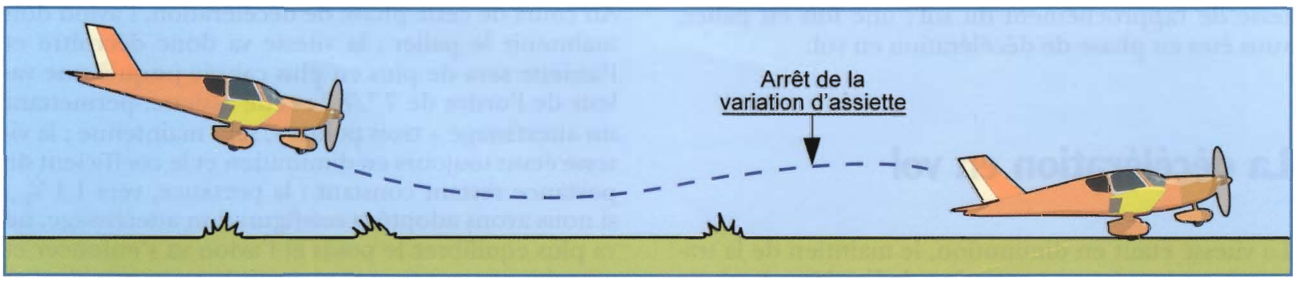


Fig. 258 – *Variation d'assiette trop rapide.*

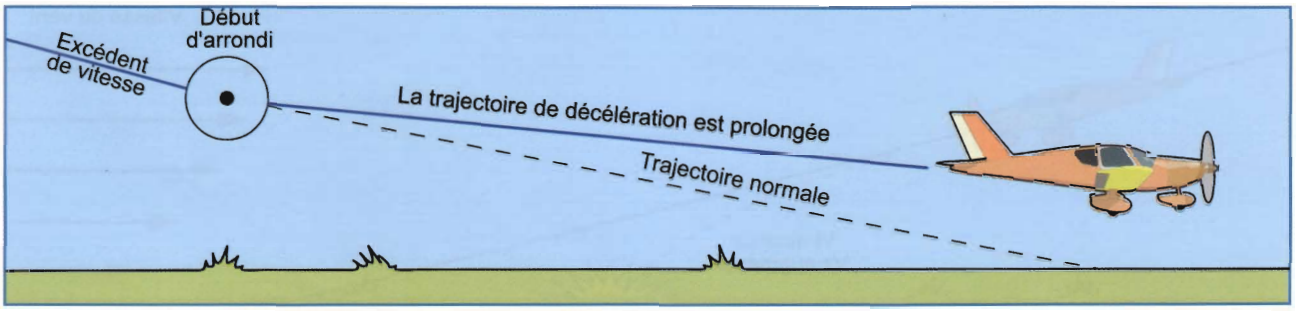


Fig. 259 – *Vitesse d'approche trop rapide...*

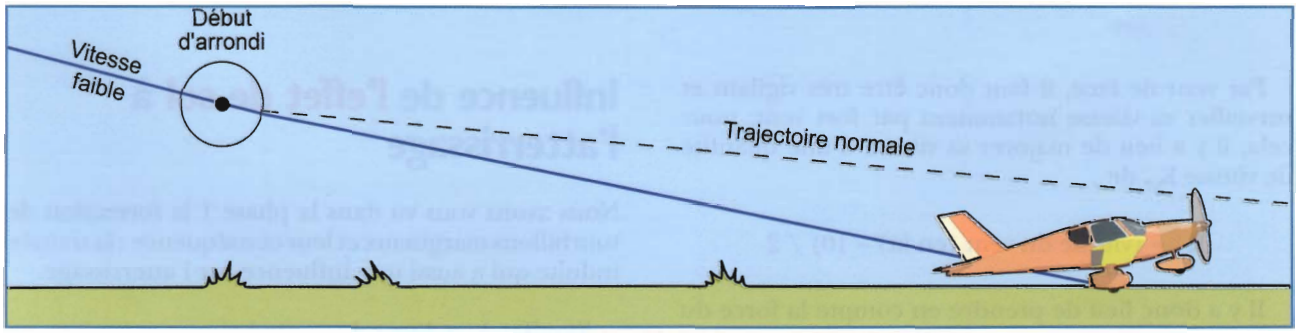


Fig. 260 – *Vitesse d'approche trop lente...*

a tendance à s'amplifier, il est donc important de se poser sans correction de dérive.

Pour un atterrissage en ligne de vol, le manche est ramené en butée arrière lorsque la ligne de vol ne peut plus être maintenue.

Influence de la vitesse en finale

La vitesse retenue pour l'approche finale est généralement égale à 1,3 fois la vitesse de décrochage dans la configuration d'atterrissage.

Cette vitesse d'approche n'est pas toujours respectée, pour des raisons telles que l'imprécision du pilotage ou un gradient de vent important.

Voyons les conséquences que cela entraîne :

- **vitesse d'approche plus élevée** : la variation d'assiette doit être plus lente, la phase de décélération est plus longue ce qui allonge la distance d'atterrissage ;
- **vitesse d'approche plus faible** : la variation d'assiette doit être plus rapide (risque d'atterrissage dur), la décélération est rapide et la distance d'atterrissage diminue.

Cisaillement de vent

Un **cisaillement de vent** (ou **gradient de vent**) est tout simplement une variation de vent en vitesse et/ou en direction sur des faibles distances verticales ou horizontales.

Ce phénomène peut être observé :

- par vent fort lors de la présence d'obstacles au sol ou par effet de frottement à la surface ;
- lors d'une situation d'instabilité forte, génératrice d'importantes amplitudes de la vitesse du vent ;
- lors d'inversion de rayonnement très marquée.

Que se passe-t-il alors ? Il se trouve que la vitesse de l'avion varie lorsque l'avion rencontre un cisaillement de vent ; le principe qui dit que le vent n'agit que sur la vitesse sol et la route suivie n'est valable que lorsque le vent est constant ou ne varie que graduellement; En effet, par inertie, l'avion tend à rester à la même vitesse sol si le pilote ne régit pas. La figure 261 illustre deux situations avec un vent qui diminue en force à l'approche du sol (du fait du frottement sur la surface ou d'un masquage dû à la présence de hangars par exemple) :

- par **vent de face** : lors de l'approche du sol, l'avion a tendance à rester à la même V_S au cours de l'approche ; par conséquent, la **V_I diminue mais la V_Z augmente** ; dans l'exemple, si la V_I est de 90 kt à 500 ft donc à une V_S de 75 kt, la V_I tend vers 80 kt à 100 ft ; le pilote doit donc agir en adoptant une assiette à cabrer et en augmentant la puissance
- par **vent arrière** : cette fois, la **V_I augmente et la V_Z diminue** ; il y a un risque de passer le seuil de piste à une vitesse et une hauteur trop élevées rendant l'atterrissage impossible si le pilote n'adopte pas une assiette à piquer de façon à rester sur le plan d'approche tout en contrôlant sa vitesse. Vous pouvez rencontrer cette situation lors d'un atterrissage sur une piste en service avec un vent nul ou calme au sol mais avec un vent arrière au cours de l'approche qui peut ne pas être connu. Seul le strict respect de la vitesse et du plan d'approche vous permettra d'aborder l'atterrissage dans des conditions acceptables.

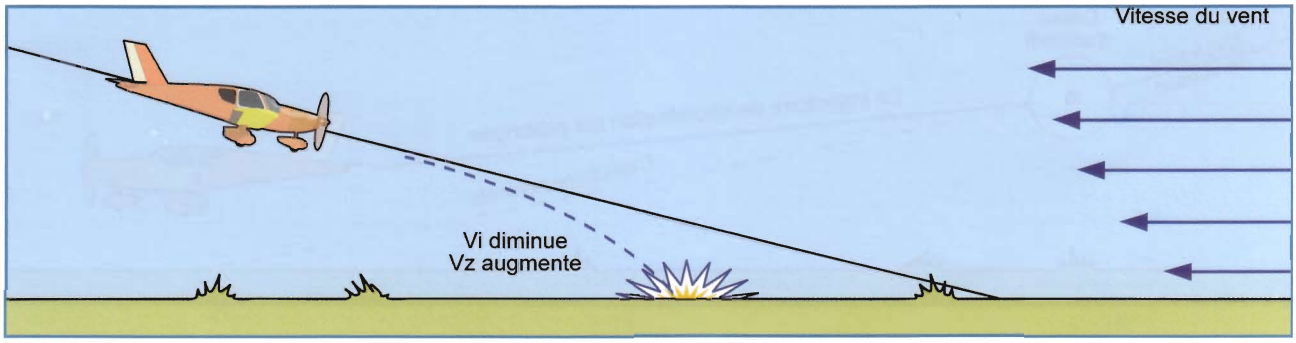


Fig. 261 – *Effet du gradient de vent sur la trajectoire.*

Par vent de face, il faut donc être très vigilant et surveiller sa vitesse notamment par fort vent; pour cela, il y a lieu de majorer sa vitesse d'une quantité de vitesse K_{VE} de :

$$K_{VE} = (\text{vitesse du vent (en kt)} - 10) / 2$$

Il y a donc lieu de prendre en compte la force du vent à partir de 20 kt, ce qui correspond à une majoration de 5 kt minimum selon la formule ci-dessus.

Il existe d'autres moyens pour déterminer la majoration, comme par exemple la règle suivante :

V_e (kt)	< 10 kt	10 à 20 kt	> 20 kt
K_{ve}	0 kt	5 kt	10 kt

Par ailleurs, en cas de rafales, ces dernières doivent être prises en considération pour le calcul de la majoration ; cette règle vous donne normalement une protection suffisante pour faire face au gradient de vent mais aussi aux variations brutales du vent par vent irrégulier.

DANS TOUS LES CAS, SURVEILLEZ ATTENTIVEMENT VOTRE V_I AU COURS DE L'APPROCHE

Exemple

Vous rencontrez en finale en vent de 30 kt dans l'axe, pour contrer les effets du cisaillement de vent, vous majorez votre vitesse d'approche de :

(30 – 10) / 2 = 10 kt

N'oubliez pas cette correction car le cisaillement de vent en approche finale est souvent à l'origine d'accidents. Les avions rapides sont théoriquement plus sensibles aux effets du cisaillement de vent car ils ont moins de temps pour réagir ; cependant les avions légers aussi vulnérables car ils ont généralement une réserve de puissance plus faible pour combattre les mouvements verticaux de l'air ; cela est particulièrement vrai à une masse proche de la masse autorisée et à une altitude-pression élevée.

Influence de l'effet de sol à l'atterrissage

Nous avons vous vu dans la phase 1 la formation de tourbillons marginaux et leur conséquence : la traînée induite qui a aussi une influence sur l'atterrissage.

En effet, lors d'une descente à vitesse constante, au fur et à mesure que l'avion approche du sol, la traînée induite diminue relativement rapidement ; cela se traduit par un flottement à l'atterrissage et le train prend contact avec la piste au-delà du point d'aboutissement visé ; sur une piste courte, la remise des gaz devient alors inévitable.

Par ailleurs, en cas d'approche à une vitesse trop élevée, il est nécessaire de réduire cet excédent tant que vous êtes encore au-dessus de l'effet de sol, la traînée induite facilitant la décélération. En revanche, en cas de présentation un peu trop courte en finale, la rentrée en effet de sol peut vous permettre d'atteindre votre point d'aboutissement du fait de la réduction de la traînée, assurez-vous toutefois que l'aire d'approche finale est parfaitement dégagée d'obstacle avant d'effectuer une telle manœuvre.

Enfin, l'effet de sol a une influence sur la stabilité longitudinale ; nous avons vu que les filets d'air sont déviés vers le bas à l'arrière de l'aile, ce qui produit un augmentation de l'angle d'attaque et donc de la portance négative du plan fixe (négatif) aidant ainsi à maintenir une assiette à cabrer. Mais à l'approche du sol, la déflexion est réduite et l'avion prend une assiette à piquer pouvant provoquer un atterrissage sur le train avant.

LIMITATION STRUCTURALE DE L'AVION

Les avions sont certifiés pour une résistance du train d'atterrissage à l'impact résultant d'un taux de chute de 600 ft/min à la vitesse d'approche. Sur un plan de 3 ° en respectant la vitesse d'atterrissage et la technique d'arrondi, cette limitation n'est pas atteinte.

En cas d'atterrissage dur, il est impératif de faire examiner les structures de l'avion avant d'entreprendre un nouveau vol : la sécurité de tous en dépend.

LE SYSTÈME LUMINEUX D'INDICATEUR DE PENTE PAPI

Le système PAPI, pour « Precision Approach Path Indicator » (de l'anglais « indicateur de plan d'approche de précision »), est un système lumineux utilisable de jour comme de nuit, implanté aux abords de l'entrée de piste.

Les feux sont réglés de façon à donner aux pilotes des informations sur le plan de descente ; le plan de descente est obtenu lorsque le pilote voit deux feux rouges côté piste et deux feux blancs côté extérieur (fig. 262).

APAPI

En cas d'impossibilité physique d'implantation d'un PAPI, un système simplifié désigné « APAPI » composé d'une barre de seulement deux unités lumineuses, peut être installé sur des pistes de moins de 1 200 mètres.

Le plan nominal de descente est indiqué avec moins de précision compte tenu de la différentielle de calage des unités lumineuses pour ce type d'installation ; Il est indiqué par un feu rouge côté piste et un feu blanc à l'extérieur ; l'indication « trop bas » se traduit par deux feux rouges et l'indication « trop haut » par deux feux blancs.

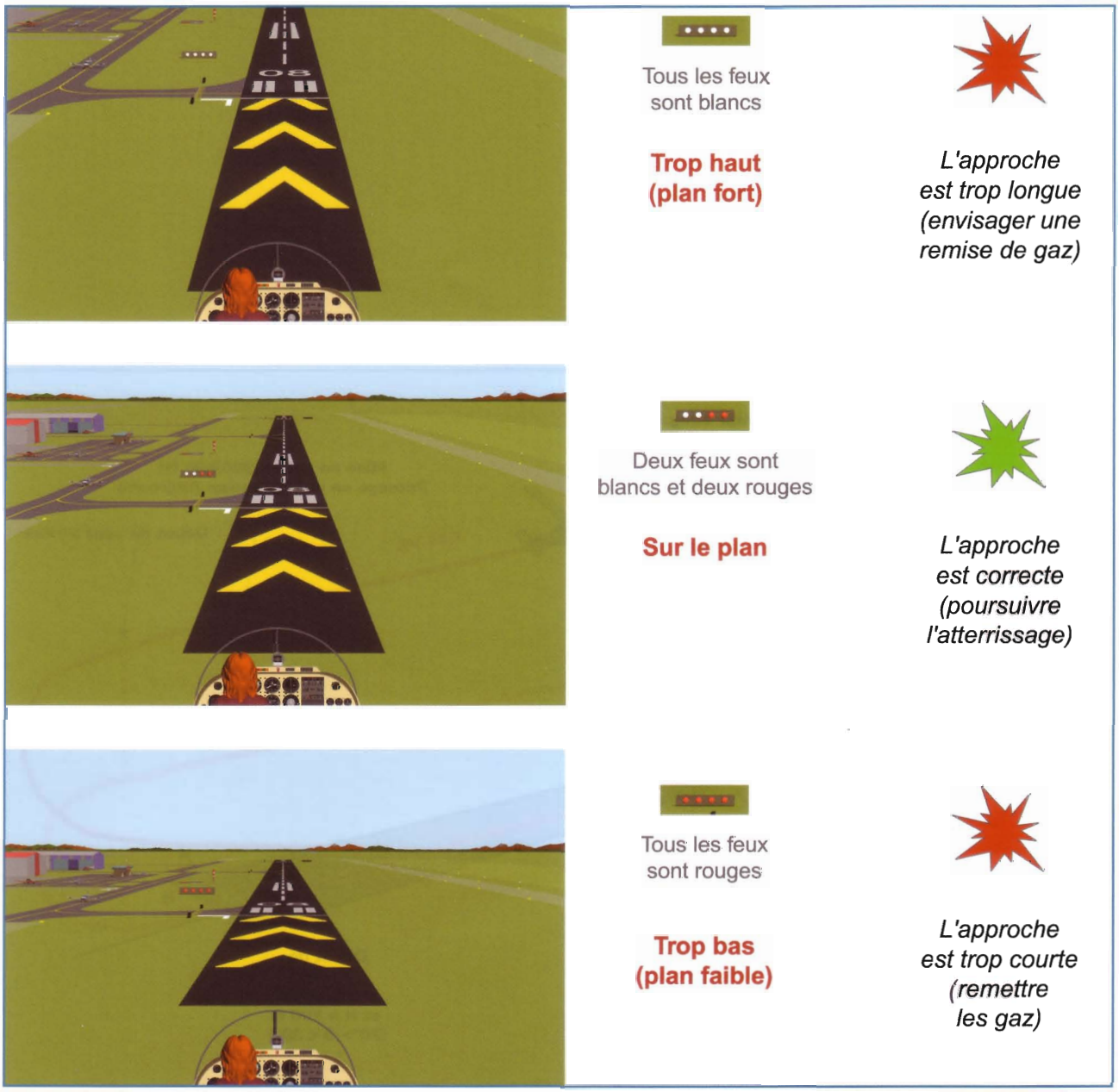


Fig. 262 – *Le PAPI indique la position de l'avion par rapport au plan d'approche.*

Installations dérogatoires : précautions à prendre

Sur certains aérodromes ayant des obstacles dans les trouées d'atterrissage, les aides visuelles peuvent être décalées par rapport à l'axe de la piste en cas d'obstacles latéraux qui nécessiteraient des pentes d'approches trop fortes ou l'indicateur de pente peut ne pas neutraliser des obstacles au-delà d'une certaine distance.

Il y donc lieu de bien tenir compte des restrictions qui peuvent être publiées sous la rubrique « Consignes particulières » des aérodromes.

De plus, sur certains aérodromes utilisés à vue, les dimensions de la surface de protection contre les obstacles peuvent être réduites ; il est donc important de ne pas poursuivre l'approche en l'absence d'informations fournies par le PAPI/APAPI lorsqu'une telle installation est exigée pour utiliser la piste desservie par cette installation.

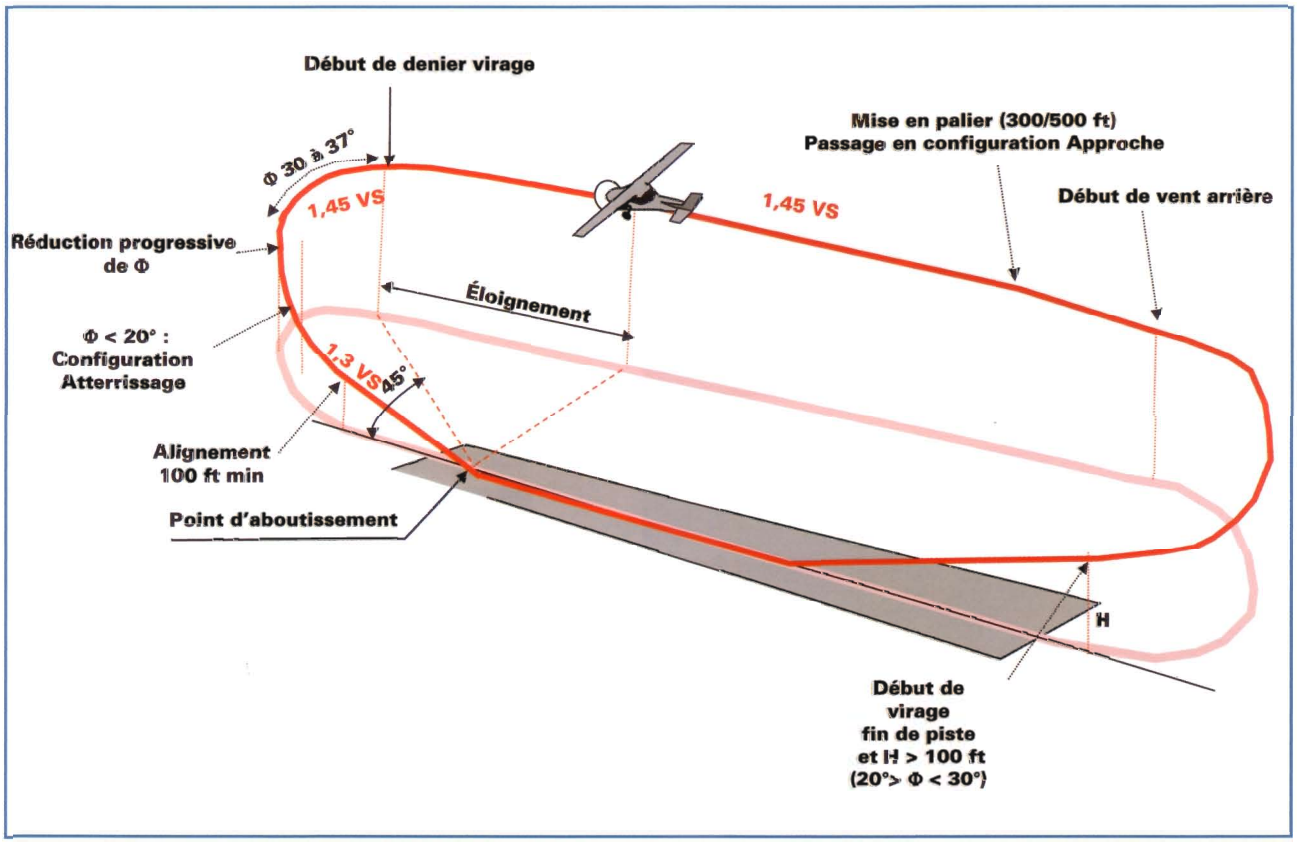


Fig. 263 – *Le circuit type à basse hauteur pour les besoins d'entraînement.*

LE CIRCUIT DE PISTE À BASSE HAUTEUR

Nous avons vu le circuit d'aérodrome dans la phase II (page 156). Au décollage, lors de votre « briefing décollage » vous devez mettre en mémoire à court terme un certain nombre d'informations concernant :

- votre trajectoire normale, qui sera le suivi du tour de piste en cas d'un vol d'entraînement aux atterrissages ou votre trajectoire de départ ;
- votre trajectoire en cas de panne majeure ; notez qu'en cas de panne moteur en montée initiale, vous ne devez surtout pas tenter un retour au terrain, la hauteur est en général, trop faible pour cette manœuvre ; vous devez respecter la procédure de panne en campagne prévue dans votre manuel de vol et appliquer les méthodes enseignées en cas de vol moteur réduit développées au chapitre suivant dans le présent manuel ;
- votre trajectoire en cas panne mineure nécessitant un retour ; en effet, dans certaines circonstances, vous pouvez être amené à évoluer de façon à vous reposer dans les meilleurs délais notamment en cas d'anomalies comme : vibrations, régime moteur incorrect, collision avec un oiseau, alarme visuelle, etc., ou rencontre de conditions météorologiques inférieures à celles espérées ; en effet, sur un aérodrome sur lequel les paramètres ne sont pas disponibles, vous devez les évaluer vous-même et, en l'absence de repères bien identifiés depuis votre position au sol, vous pouvez vous tromper et découvrir en vol, immédiatement après décollage, que vous ne pouvez pas poursuivre votre vol ; vous devez alors évoluer de façon à ne pas vous éloigner de la piste et la garder en vue pour vous reposer en toute sécurité.

Vous devez alors exécuter un circuit adapté aux circonstances et qui sera généralement un circuit à basse hauteur pour lequel il est nécessaire d'effectuer des entraînements avec un instructeur habilité afin d'acquérir un niveau d'expérience suffisant pour exécuter ce type de manœuvre. Cet entraînement doit impérativement être réalisé avant votre premier vol en solo.

Description du circuit à basse hauteur

Un circuit à basse hauteur est défini comme un circuit à une hauteur inférieure à 500 pieds AAL. La trajectoire de principe pour les entraînements en circuit à basse hauteur est décrite dans la figure 263 page précédente.

Le premier virage doit être exécuté à 100 pieds minimum et au-delà de la sortie de piste. L'inclinaison doit entre 20 et 30 °.

La branche en vent arrière est exécutée entre 300 et 500 ft et l'éloignement au-delà du travers du point d'aboutissement doit être suffisant pour visualiser ce point sous un angle d'environ 45 ° par rapport à l'axe de piste.

Le début du dernier virage se fait avec une inclinaison de 30 à 37 ° maximum pour respecter le rapport V_I/V_S, avec si nécessaire une augmentation de puissance ; piste en vue, recherchez le plan et l'axe ; dès que l'inclinaison est inférieure à 20 °, adoptez, si nécessaire, la configuration atterrissage en maintenant 1,3 V_{SO}.

L'avion doit être stabilisé à une hauteur minimale de 100 pieds, check-list atterrissage effectuée.

LE VOL MOTEUR RÉDUIT

Nous venons au paragraphe précédent d'étudier l'approche finale exécutée sous un plan de 3 ° (5 %) ; ce type d'approche s'effectue en maintenant une puissance moyenne ; cependant, il y a lieu de bien visualiser la limite haute mais aussi la limite basse à la puissance minimale afin d'être en mesure **d'assurer une approche en toute sécurité et assurer son atterrissage en campagne en cas d'atterrissage forcé dû à une panne moteur** *(cf. la phase V.I sur l'atterrissage hors aérodrome).*

L'entraînement au vol moteur réduit doit donc permettre de visualiser les angles de plané et d'acquérir une technique adaptée de retour au sol en cas d'atterrissage forcé sans moteur en tenant compte des éléments aérologiques ; l'apprentissage est découpé en plusieurs exercices de difficulté croissante.

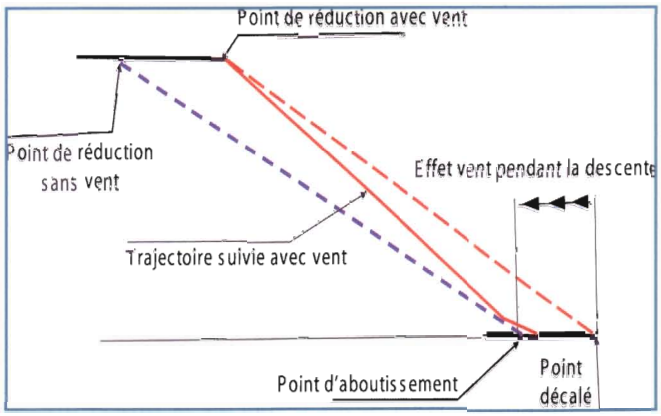


Fig. 265 – *Prise de terrain moteur réduit dans l'axe avec vent effectif.*

Visualisation de l'angle de plané

Votre instructeur vous apprendra à visualiser l'angle de plané désigné « 1 AP » ainsi que l'angle double de plané désigné « 2 AP », qui vous seront utiles pour exécuter les exercices décrits ci-dessous et ce pour chaque avion que vous allez utiliser.

Prise de terrain moteur réduit dans l'axe (fig. 264)

La trajectoire à adopter doit être comprise entre un plan minimum obtenu en configuration approche et un plan maximum obtenu en configuration atterrissage. La méthode consiste à adopter une trajectoire suivant un plan en configuration approche en se ménageant un excédent de hauteur qui sera résorbé en adoptant la configuration atterrissage dès qu'on est certain d'atteindre le point d'aboutissement. La précision de l'atterrissage est déterminée par l'instant où l'on adopte la configuration atterrissage.

Il y a lieu de prendre en compte l'effet du vent effectif durant l'approche ; pour cela il faut viser un point d'aboutissement décalé au vent ; le décalage est de l'ordre de 30 mètres par nœud de vent pour une descente de 1 000 pieds (fig. 265).

Cet exercice met en évidence la difficulté d'apprécier les éléments aérologiques et leur prise en compte ainsi que la faible marge de correction possible. Le

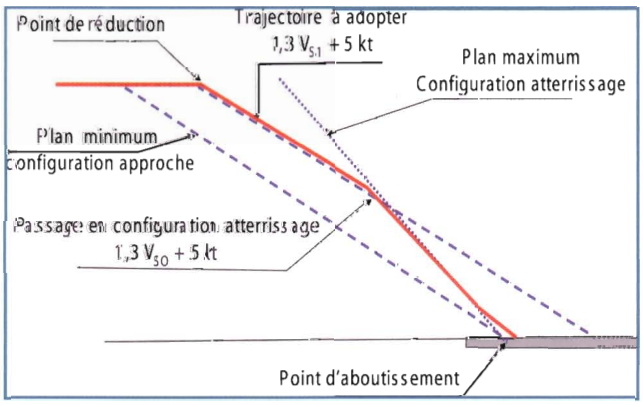


Fig. 264 – *Prise de terrain moteur réduit dans l'axe.*

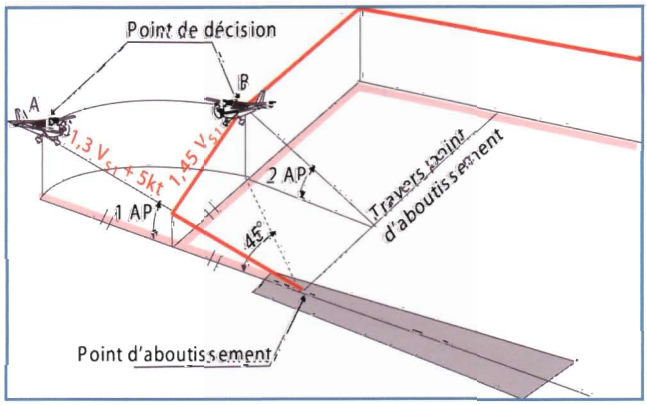


Fig. 266 – *Prise de de terrain moteur réduit dans l'axe (A) et en « L » (B).*

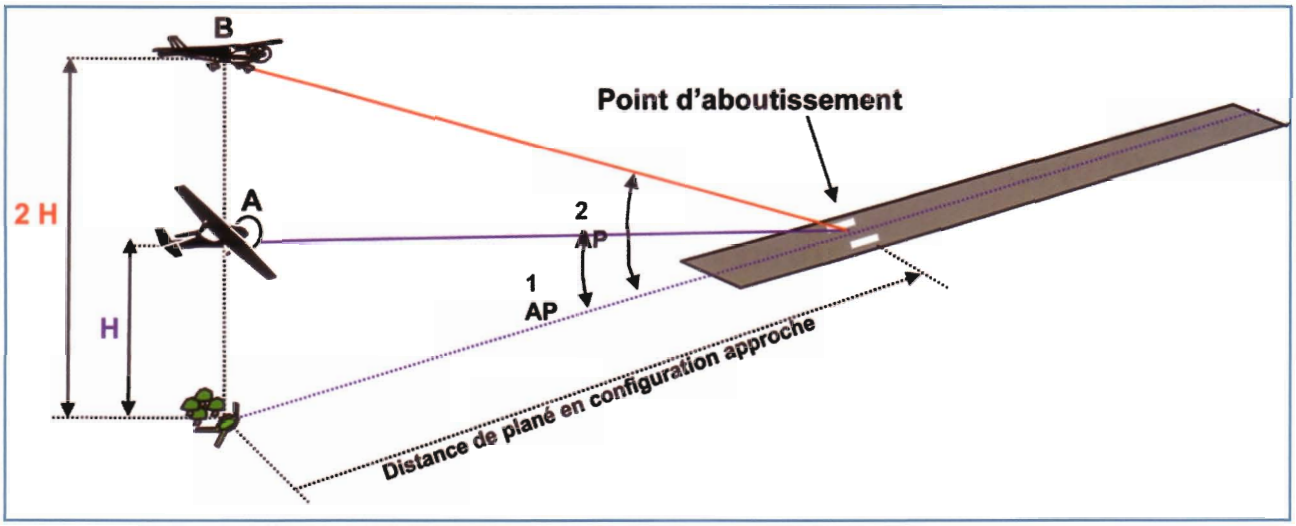


Fig. 267 – *Repérage des angles de plané 1 AP et 2 AP.*

choix d'une des autres méthodes décrites ci-dessous permettra d'augmenter ces possibilités.

Prise de terrain moteur réduit en « L » (PTL) (fig. 266)

L'objectif est de rejoindre un point clef situé à 45 ° de l'axe de piste sous un angle double de plané par le travers du point d'aboutissement ; la décision de réduction est prise normalement à ce point clef. Cette présentation permet de corriger si nécessaire sa trajectoire en :

- en retardant ou anticipant la décision de réduction ;
- en évoluant afin d'écourter ou allonger la trajectoire.

En cas de vent, la décision de réduction est prise lorsque l'on se trouve sous une droite à 45 ° de l'axe de la piste et sur un plan double de plané par le travers d'un point de visée situé au vent par rapport au point d'aboutissement ; le décalage est de l'ordre de 20 mètres par nœud de vent dans la direction d'où vient le vent.

Au point de décision en étape de base indiqué sur la figure 266, l'avion doit voir une droite perpendiculaire à la piste et passant par le point d'aboutissement, sous un angle double de plané ; la longueur de l'étape de base et celle de l'approche finale étant égales, l'avion passe alors de 2H à H en arrivant sur l'axe de piste et se retrouve en finale sous l'angle de plané. Pour bien repérer ces plans, vous devez noter le point d'aboutissement à partir de la verticale d'un repère à une hauteur H puis vous représenter 2H perpendiculairement à l'axe pour bien voir cette fois l'angle 2 AP par le travers (fig. 267).

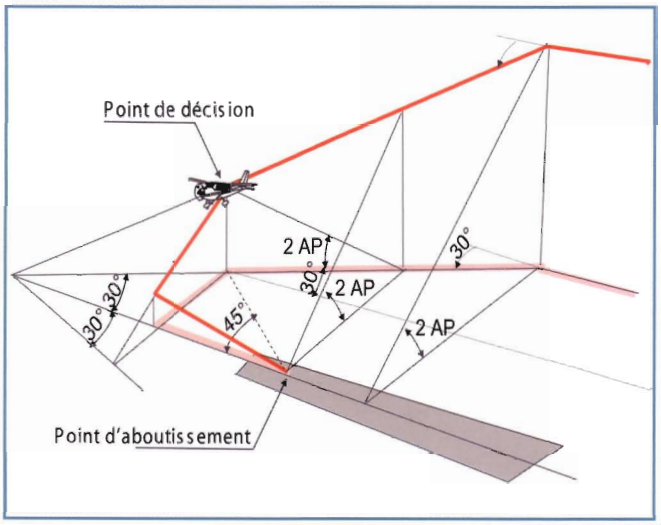


Fig. 268 – *Prise de terrain moteur réduit par encadrement (PTE).*

Prise de terrain moteur réduit en encadrement (PTE) (fig. 268)

L'objectif est de placer l'avion de telle façon qu'au cours de la descente, il se situe en permanence sur une trajectoire telle que l'axe de la piste soit toujours visualisé sous l'angle double de plané.

Pour ce type de présentation, il y a lieu de se positionner en vent arrière entre 1 500 et 2 000 pieds sous l'angle double de plané, la puissance sera réduite [1] en convergeant de 30 ° par rapport à l'axe de piste afin de conserver l'angle double de plané pendant la descente ; dès que le point de décision est atteint,

1 Les évolutions se feront à la vitesse minimale de sécurité en évolution soit à 1,45 V_S.

En finale, une vitesse de 1,3 V_{SO} ou V_{S1} (selon la configuration) + 5 kt sera adoptée pour des raisons de performances à l'atterrissage ; la majoration de 5 kt est prise pour tenir compte du redressement de la trajectoire plus important en tout réduit lors de l'arrondi.

l'avion doit passer en étape de base par un virage à 30 ° d'inclinaison et poursuit en PTL.

Prise de terrain moteur réduit en « U » (PTU) (fig.269)

Cet exercice représente la limite basse de la PTE lorsque le segment de base de la PTL n'est plus possible car les deux virages à 30 ° d'inclinaison se rejoignent pour ne plus former qu'un seul virage.

La puissance est réduite par le travers du point d'aboutissement ; le dernier virage s'effectue après un éloignement équivalent au ½ rayon de virage vers le segment final.

Pour cet exercice, se positionner en vent arrière sous l'angle double de plané ; la hauteur en vent arrière doit tenir compte des performances en plané de l'avion afin de ménager une hauteur minimale en finale de 200 pieds ; ainsi, pour un avion perdant 600 pieds au cours du dernier virage à 30 ° d'inclinaison, l'exercice doit être débuté à une hauteur de l'ordre de 1 000 pieds.

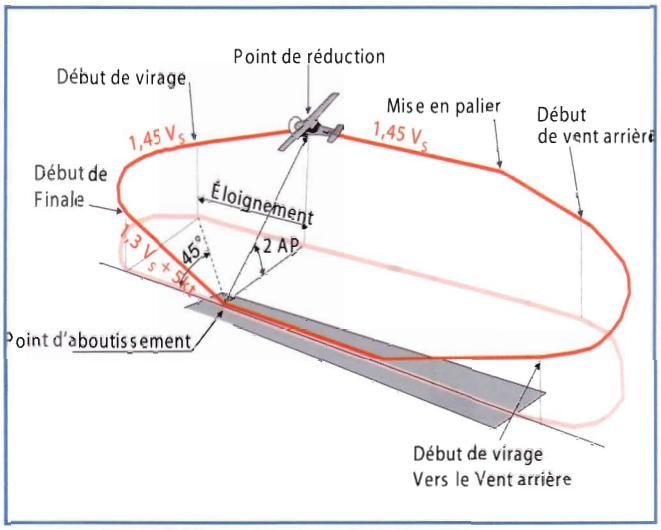


Fig. 269 – *Prise de terrain moteur réduit en « U » (PTU).*

NAVIGATION

La navigation est l'ensemble des techniques permettant de maîtriser nos déplacements. Nous disposons, grâce aux cartes, de la « matière première » nécessaire à notre repérage et à notre orientation dans l'environnement dans lequel nous allons évoluer. Nous allons à présent apprendre à utiliser au mieux cette matière première, pour faire de nos déplacements en avion une opération simple, naturelle et sûre.

LES OUTILS NÉCESSAIRES

La montre

La pratique de la navigation requiert l'usage d'une montre pour le calcul des heures estimées de passage aux points de report et de l'heure d'arrivée à destination. Elle permet aussi de déterminer la vitesse sol de l'avion en mesurant le temps nécessaire pour parcourir une distance et en comparant ce résultat avec le temps qu'il aurait fallu sans vent.

Le rapporteur

Il est indispensable de pouvoir mesurer les angles sur la carte pour naviguer. Notre trajectoire dans le plan horizontal est en effet caractérisée par une route, que l'on exprime par un angle par rapport au Nord vrai.

Les règles de navigation sont souvent équipées de rapporteurs, mais on peut aussi utiliser un rapporteur d'un autre type, par exemple carré, bien pratique pour la lecture des angles.

La règle

Il en existe plusieurs types, les plus adaptées au cockpit des avions étant les règles de petite taille. Elles permettent, outre le tracé des routes, de mesurer les distances à parcourir.

Le journal de bord

Nous en reparlerons dans le chapitre suivant.

Le crayon et la gomme

LES MÉTHODES DE NAVIGATION

En navigation à vue, il y a deux méthodes de navigation :

- le cheminement ;
- l'estime.

Il est aussi possible d'utiliser les moyens de radionavigation disponibles (balises au sol, système de navigation par satellite GPS). Nous traiterons la radionavigation dans un chapitre suivant. Notons simplement dans l'immédiat qu'elle est très efficace lorsqu'elle est correctement utilisée.

Vous constaterez rapidement que, dans la pratique, le cheminement et l'estime sont souvent utilisés conjointement.

Seules les conditions météorologiques vous amèneront à privilégier l'une ou l'autre de ces méthodes ou à débuter une branche de navigation à l'estime en faisant volontairement une altération de cap du côté qui permet de rejoindre une ligne de position naturelle ou un Radial VOR et de poursuivre en cheminement ou en radionavigation, selon le cas, jusqu'au repère suivant. Cette méthode est désignée « l'erreur systématique ».

Le cheminement

Cheminer consiste à suivre des lignes naturelles caractéristiques bien visibles de l'avion (fig. 270).

Vous pourrez l'utiliser chaque fois qu'une partie du parcours vous amène à longer un repère naturel

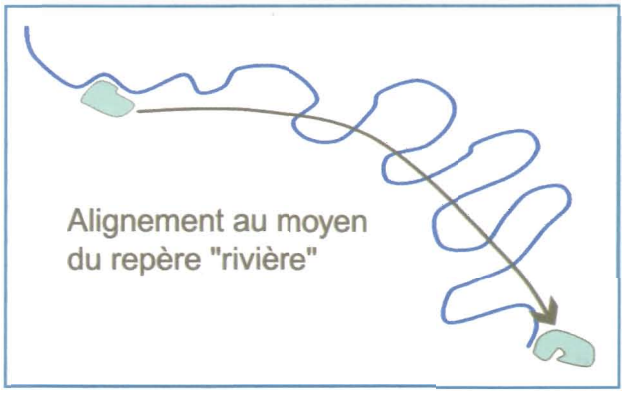


Fig. 270 – *Le cheminement.*

ou artificiel (autoroute, rivière importante) ou voler à vue de repères en repères proches, pendant un certain temps.

Pour l'appliquer dans de bonnes conditions, placez-vous toujours à droite du repère. Ainsi, étant assis à gauche dans l'avion, vous pourrez le garder en vue très facilement.

Il est important de choisir de bons repères, facilement visibles et reconnaissables, comme les fleuves, les autoroutes, les côtes, les voies ferrées importantes.

L'estime

Le principe de l'estime est simple : connaissant une position de départ, il s'agit de déterminer le cap à prendre et l'HEA pour arriver sur un point caractéristique ou sur un aérodrome. Il peut s'agir aussi, après un temps de vol à un cap donné, de déterminer la position de l'avion.

L'estime est la technique de navigation adaptée lorsque vous souhaitez joindre deux points par le trajet le plus direct : la ligne droite.

La méthode est la suivante : au départ, étant en possession des informations météorologiques, vous avez une estimation du vent prévu sur votre trajet. Vous pouvez donc estimer approximativement la dérive et l'afficher dès le départ. En vol, le premier tronçon permet de tester cette dérive et d'en faire éventuellement une nouvelle estimation pour le tronçon suivant.

D'autre part, vous avez estimé, lors de la préparation du voyage, le temps nécessaire pour parcourir la distance entre deux repères. En vol, l'écart entre l'heure estimée et l'heure réelle de passage du premier repère, dû au vent éventuellement rencontré, permet d'estimer plus finement l'heure de passage au repère suivant : si vous avez mis plus de temps que prévu pour rejoindre ce premier repère, vous augmentez proportionnellement le temps estimé pour rejoindre le repère suivant.

Cette technique est répétée au passage de chaque repère.

Comment choisir les repères ?

Ils doivent être caractéristiques et identifiables sans ambiguïté en vol.

Le passage des repères constitue toujours une charge de travail non négligeable. Afin de ne pas trop l'augmenter, il est souhaitable de choisir des repères suffisamment distants les uns des autres. Huit à dix minutes entre chaque point de repère est un bon ordre de grandeur. L'écart doit être choisi en fonction de la visibilité et de la nature du repère.

Suivant le type de région survolée, vous devez connaître le type de repères adaptés afin d'effectuer, dès le départ, un choix judicieux.

En région fortement peuplée

Les routes, très nombreuses, constituent des repères susceptibles d'être facilement confondus entre eux. Par contre, les autoroutes, les rivières et les lacs sont des repères facilement identifiables.

En plaine et région agricole

Les grandes villes, les routes importantes, les voies ferrées, les canaux et les rivières sont d'excellents repères. Méfiez-vous par contre des petits villages qui se ressemblent tous, des petits plans d'eau et des lignes à haute tension qui sont peu visibles. On pourra confirmer sa position à l'aide d'un VOR.

En région forestière

Les bons repères sont les lignes à haute tension : en effet, pour les installer, il a fallu déboiser sur des axes rectilignes. Les routes constituent aussi des repères efficaces.

Par contre, les chemins forestiers, les ruisseaux et les petites rivières sont souvent masqués par le feuillage. Là aussi, on peut confirmer sa position à l'aide du VOR.

En région montagneuse

Recherchez les villes, les voies ferrées, les cours d'eau, les barrages et les vallées, les sommets élevés.

Attention aux repères choisis dans les fonds de vallées : vous ne les verrez souvent qu'au dernier moment. Retenez enfin que la neige transforme totalement le paysage et masque la plupart des repères.

Là encore, on pourra s'aider des indications d'un VOR si l'altitude le permet. Attention au masquage dû au relief si on vole dans une vallée hors de portée du VOR.

Que faire en cas d'égarement ?

En vol, notamment lors d'une navigation à l'estime, il arrive de ne connaître sa position que de manière approximative. Vous n'êtes en mesure de déterminer votre position qu'après avoir identifié, de façon sûre, le repère que vous avez prévu de survoler. Si, à l'heure estimée d'arrivée à ce point, vous n'êtes visiblement pas au repère prévu, il faut déterminer, autour de votre position estimée, un cercle d'incertitude dont le rayon dépend de la précision de votre navigation et du temps écoulé depuis le dernier recalage. Il est recommandé de prendre en compte un rayon d'incertitude correspondant à 10% de la distance parcourue depuis le dernier point identifié. Vous devez alors chercher à identifier un point remarquable dans ce cercle afin de déterminer votre position avant de poursuivre le vol.

La visibilité en vol joue donc un rôle important ; en effet si le cercle de visibilité est au moins égal au cercle d'incertitude, il vous sera possible de voir les re-

Fig. 271 – *Les bons repères : aérodromes, barrages, échangeurs autoroutiers, ponts routiers et autoroutiers.*

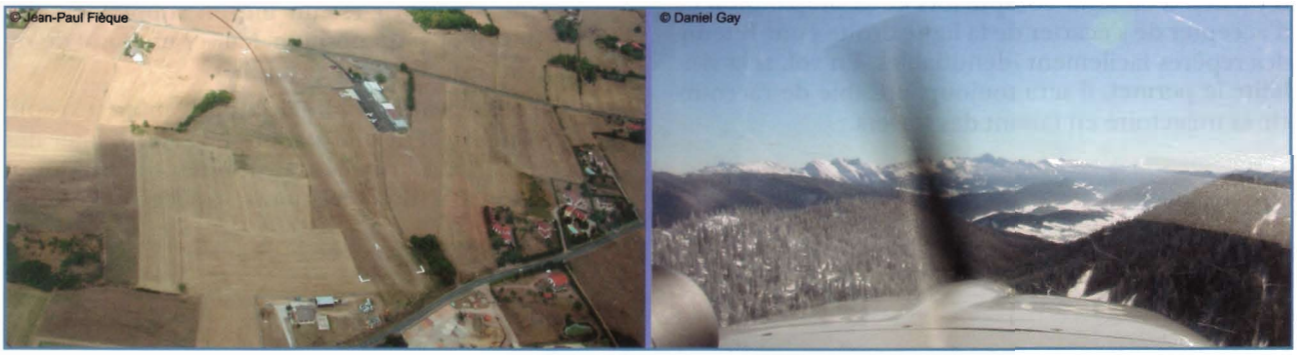


Fig. 272 – *Les repères dangereux par visibilité réduite : col, terrain d'aviation.*

Fig. 273 – *Les mauvais repères : antenne, lignes à haute tension.*

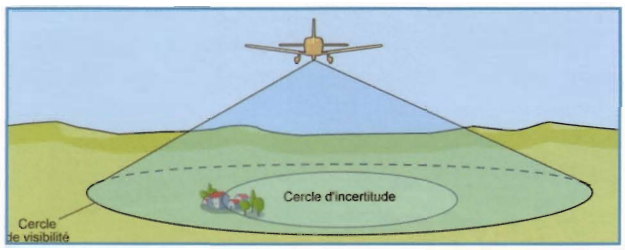


Fig. 274 – *Le cercle de visibilité doit être plus grand que le cercle d'incertitude.*

pères qui vous permettront de se recaler. Dans le cas contraire, vous ne pourrez peut-être pas voir le repère qui vous permettrait de vous localiser (fig. 274).

En l'absence de confirmation de votre position soit visuellement, soit par une confirmation instrumentale, vous appliquez la méthode de l'erreur systématique en direction d'un gros repère avant de réorienter la navigation vers l'aérodrome de destination ou de dégagement. Pour cela prendre une altération de route de 30 degrés environ par rapport à la ligne droite qui vous mènerait à ce point de façon à rejoindre une ligne de position naturelle ou un RDL VOR qui vous y conduira de façon sûre.

Le choix de repères et la visibilité prévue le long de votre route sont donc des facteurs déterminants et il faut en tenir compte dans la décision de partir ou pas lorsque la visibilité est faible.

Il y a lieu d'en tenir compte lors de sa préparation et d'accepter de s'écarter de la ligne droite pour retenir des repères facilement identifiables. En vol, si la visibilité le permet, il sera toujours possible de raccourcir sa trajectoire en faisant des travers.

Comment éviter une zone de mauvais temps sans risquer de se perdre ?

Si vous rencontrez une zone des mauvaises conditions météorologiques sur votre route, vous devez l'éviter en faisant une altération de route afin de maintenir

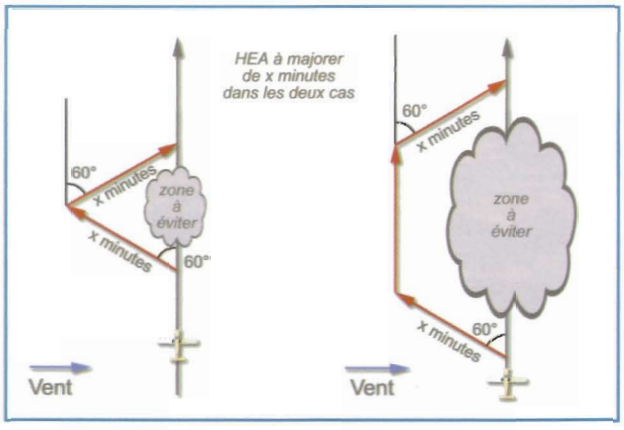


Fig. 275 – *Manœuvres d'évitement en cas de mauvaises conditions météorologiques.*

les conditions de vol à vue. Cette manœuvre d'évitement doit être faite avec méthode pour pouvoir revenir dès que possible sur sa route. pour cela, il est préconisé (fig. 275) :

- de faire une altération de route de 60 degrés par rapport à sa route prévue, de préférence du côté au vent de la zone à éviter, pendant le temps nécessaire pour ;
- soit de revenir sur sa route ;
- soit de suivre une route parallèle pour éviter la zone de mauvaises conditions météorologiques et revenir ensuite sur sa route prévue ;
- de revenir sur sa route prévue en faisant une nouvelle altération de route de 60 degrés par rapport à sa route initiale et ce pendant un temps égal à la durée de la première altération compte tenu de l'effet du vent effectif :
- de reprendre son cap une fois avoir rejoint la route initiale ;
- de réviser son heure d'arrivée prévue en fonction de la durée correspondant à l'altération effectuée.

LA RADIONAVIGATION

C'est une aide à la navigation utilisée pour voler en niveau, contrôler une navigation à l'estime, effectuer du VFR on top (vol au-dessus d'une couche nuageuse) et très souvent c'est un moyen supplémentaire pour confirmer votre position, baliser un point de report ou la verticale d'un terrain.

La plupart des aides radio à la navigation (excepté le GPS) nécessitent une station au sol qui émet des signaux radioélectriques transformés en indication de position par des récepteurs installés à bord de l'avion.

Principes de base

Les radials et les QDR

Les radials sont des axes radioélectriques qui sont repérés par leur mesure angulaire à partir du Nord magnétique (fig. 276). Ils sont générés par une balise radioélectrique.

QDR = Relèvement magnétique de l'avion par une station.

QDM = Relèvement magnétique de la station par l'avion

A : station radioélectrique au sol.

Une balise radioélectrique permet de définir 360 radials de 0 ° à 359 ° de un en un degré.

On remarque que le radial pointé vers le Nord est le 0 ou le 360, vers l'est le 090, vers le Sud le 180 et vers l'Ouest le 270.

Notons que chaque radial est une demi-droite et qu'il ne faut pas confondre, par exemple, le ra-

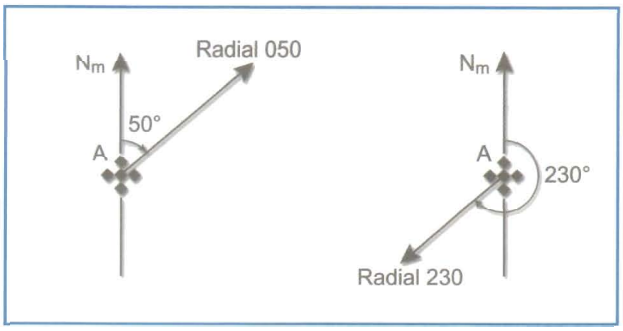


Fig. 276 – *Les radials.*

dial 200 avec le radial 020. Le radial 200 est celui qui est au Sud-Sud-Ouest.

Utilisation des radials

Pour s'éloigner de la station on utilise les QDR et pour se rapprocher les QDM (fig. 277 et 278).

Pour la suite de ce paragraphe notons que la relation entre QDM et QDR est :

QDM = QDR + 180 °

Sur les cartes au 1/500 000 on trouve des roses centrées sur les balises VOR, facilitant la mesure des QDM et des QDR.

Notons bien que face à la station, les QDM sont plus faibles à droite et plus forts à gauche

Alignement sur un axe

En rapprochement vous voulez suivre le radial 045, le vent étant du 320 ° pour 20 kt vous estimez votre dérive à 15 ° droite.

Pour suivre la route magnétique 045 vous prenez donc le cap 045 – 15 = 030.

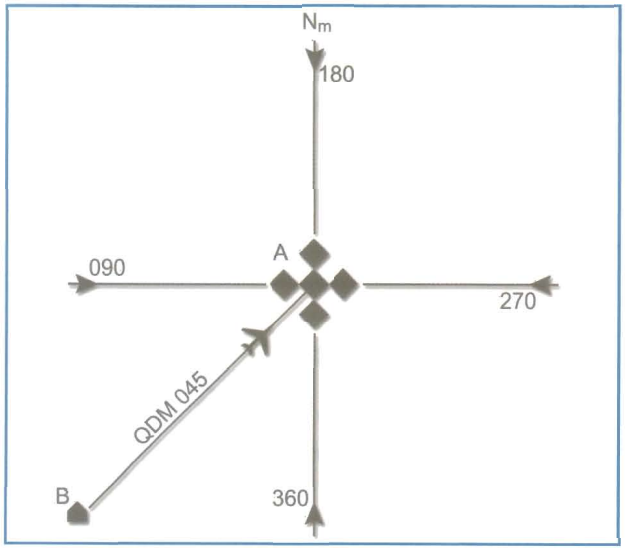


Fig. 277 – *QDM.*
Pour aller de B en A vous suivrez la route magnétique 045 °, aligné sur le QDM 045.

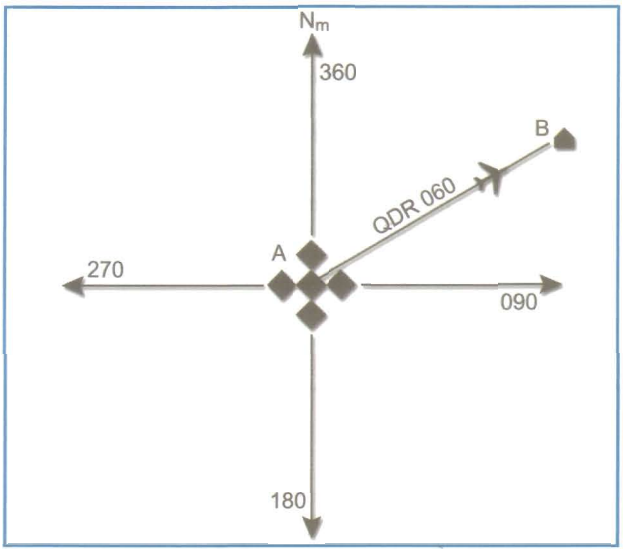


Fig. 278 – *QDR.*
Pour aller de A en C vous suivrez la route magnétique 060 °, aligné sur le QDR 060.

1er cas

Vous restez sur le QDM 045, la dérive est effectivement de 15 °, vous poursuivez au cap 030.

2e cas

Vous ne restez pas sur le QDM 045, votre dérive estimée est fausse ; vous allez la rechercher par approximations.

Exemple 1 *(fig. 279) :*

Vous êtes sur le QDM 045, en affichant le cap 030 ① vous déviez de votre route et vous vous retrouvez sur le QDM 050 . Vous avez surestimé la dérive.

Il faut revenir sur le radial 045, donc prendre un cap plus fort votre instructeur vous apprendra à choisir ce cap retour en répondant aux questions suivantes :

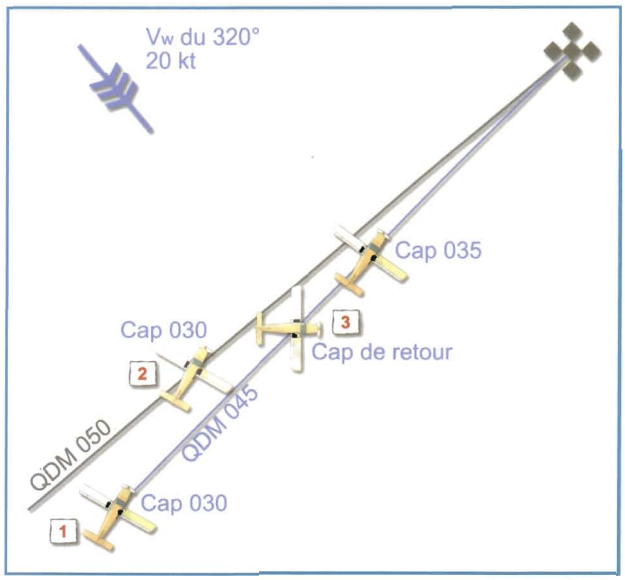


Fig. 279 – *Alignement sur un axe.*

- *d'où vient le vent ? De la gauche, donc dans ce cas il m'aide à revenir sur l'axe,*
- *suis-je loin de la station ?*
- *Comment les QDM ont-ils évolué ? S'ils ont diminué, je diminue mon cap.*

En effet pour un même écart angulaire la distance entre deux radials est d'autant plus grande que l'on est éloigné de la station (fig. 280).

A moins de cinq minutes de la station, on corrige au maximum de trois fois l'erreur sans dépasser 30 °,

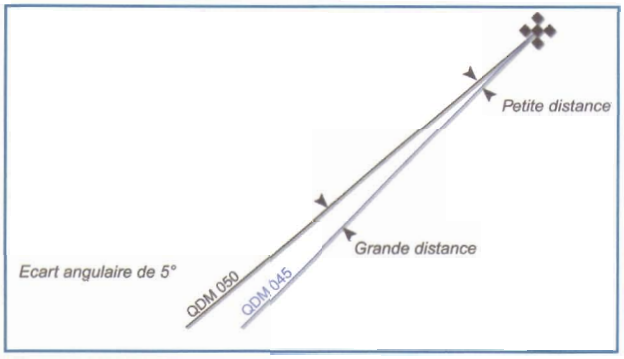


Fig. 280

plus la dérive, soit dans notre cas :

$3 \times 5 = 15$ ° *plus la dérive.*

Revenu sur l'axe, vous retenez a priori *une dérive de 10 ° droite, soit un cap de :*

$045 - 10 = 035$.

Vous testez ce nouveau cap.

***Exemple 2** (fig. 281) :*

① vous êtes sur le QDM 045 et vous affichez le cap 030 ;

Vous déviez vers le QDM 040, vous avez sous-estimé la dérive.

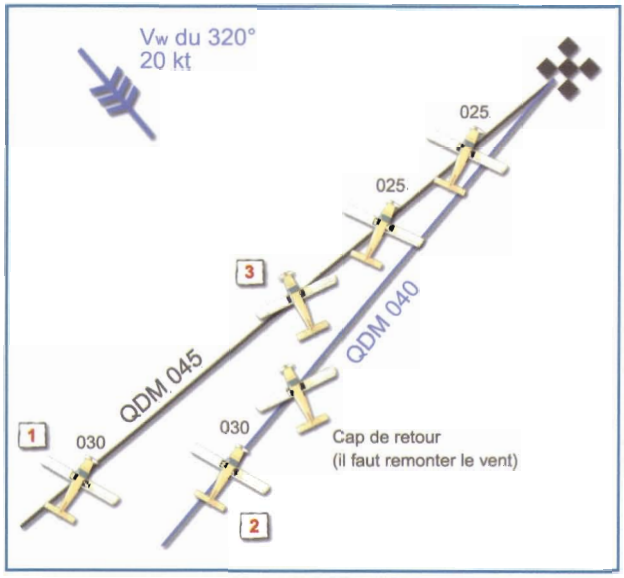


Fig. 281 – *Amplitude de correction.*

Il faut revenir vers le radial et cette fois remonter le vent. Vous n'hésitez donc pas à faire une correction plus importante que dans l'exemple 1 pour une même distance à la station.

③ une fois revenu sur l'axe vous prenez une dérive plus forte, a priori *20 °, soit un cap :*

$045 - 20 = 025$.

Vous testez ce nouveau cap.

Rejoindre une route

En station arrière

Après la verticale du moyen, adoptez une route convergeant de 30 ° par rapport au QDR recherché afin de le rejoindre le plus rapidement possible sans pour autant se faire surprendre par l'arrivée sur la route souhaitée (fig. 282).

En station avant

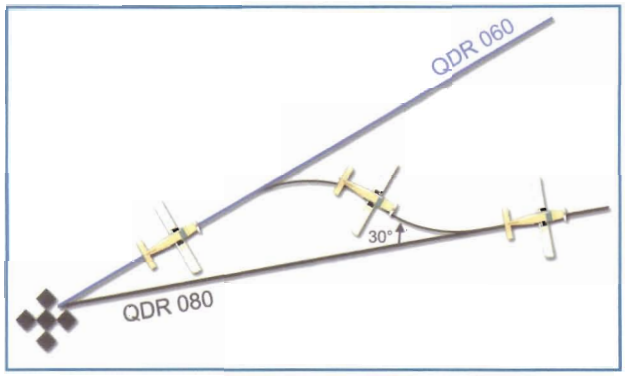


Fig. 282 – *Rejoindre une route en station arrière.*

En rapprochement vers le moyen, adoptez une route divergeant de 30 ° par rapport au QDM de départ afin d'être certain de rejoindre le QDM recherché avant la verticale du moyen ; c'est le principe de l'erreur systématique (fig. 283).

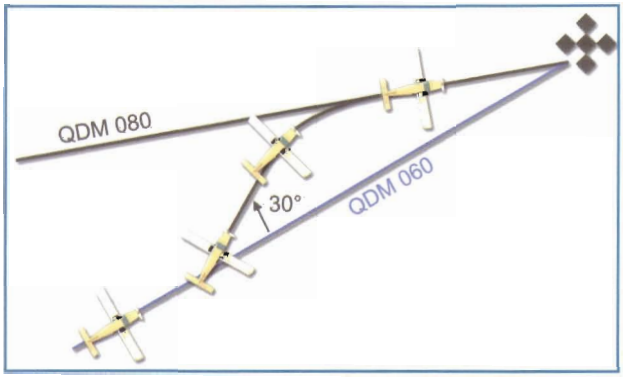


Fig. 283 – *Rejoindre une route en station avant.*

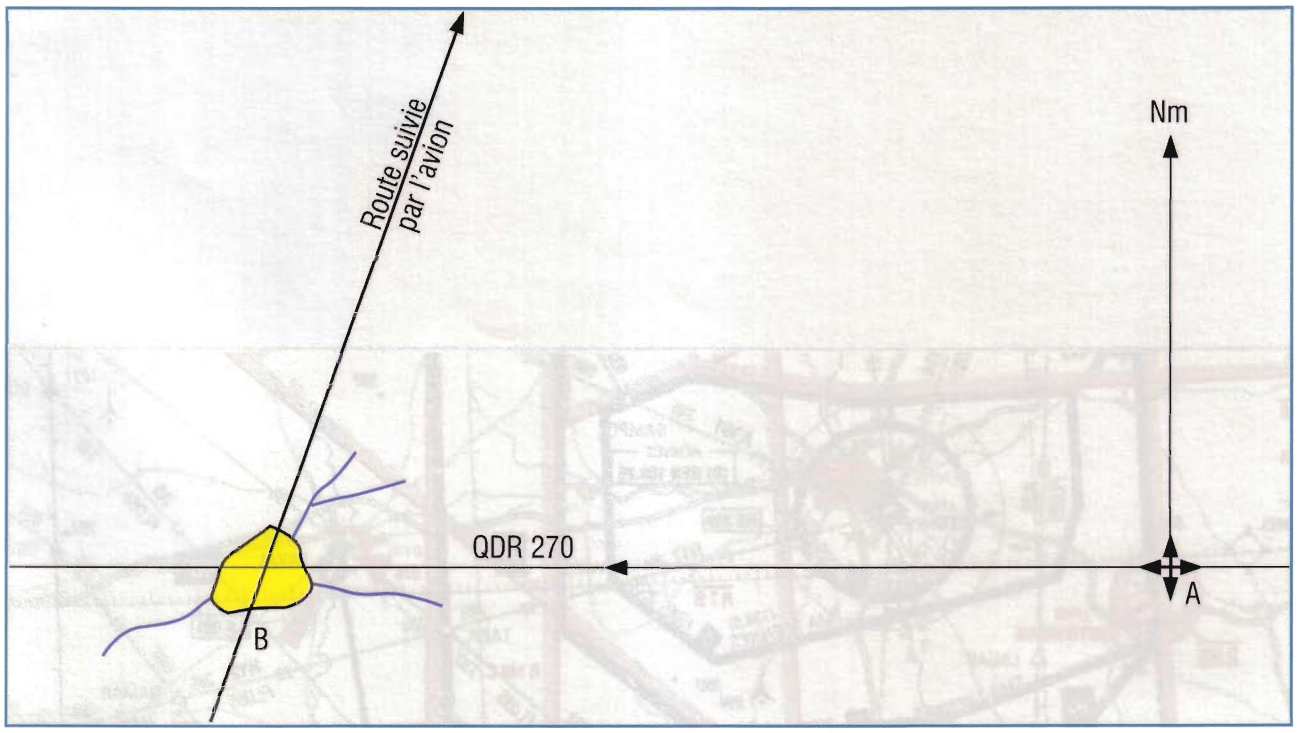


Fig. 284 – *Radial de flanquement.*

La radionavigation en route

Deux cas sont envisageables :

1. Votre route ou son prolongement passe par la balise de radionavigation. Vous suivez un QDM que vous avez mesuré préalablement, si vous allez vers la balise, ou un QDR si vous vous en éloignez.
2. Votre route ne passe pas par la balise (fig. 284). Supposons que votre repère de navigation soit une ville située en B. Pour l'identifier, vous confirmerez votre observation du sol en vérifiant que vous êtes bien sur le QDR 270 de la balise A, QDR préalablement mesuré sur une carte.

Exemples de radionavigation

1. Vous décollez de Laval à destination de Cholet (fig. 285 page suivante). Vous suivez le QDM 192 d'ANG jusqu'à la verticale de cette station.

   Vous suivez ensuite le QDR 185 d'ANG et vous passez nécessairement à la verticale du terrain de Cholet qui est aussi sur le QDR 107 de NTS.
2. Dans l'exemple suivant (fig. 286 page 233) la radionavigation est utilisée comme aide d'une navigation à l'estime de Nogaro vers Castelnau-Magnoac. Vous avez le choix parmi trois solutions :

La route directe

Vous avez mesuré que Castelnau se trouve sur le QDR 104 de TBO. Ce QDR vous servira de butée (ou radial de flanquement). Si vous arrivez sur ce QDR et que vous ne voyez pas Castelnau, il est inutile de poursuivre au même cap.

La route Nogaro-TBO-Castelnau

C'est la route la plus longue, mais elle est simple à suivre. Après la verticale de la balise TBO vous vous éloignerez sur le QDR 104 jusqu'à Castelnau.

L'erreur systématique

C'est une solution intermédiaire ; en décidant de suivre une route magnétique supérieure à la route directe, vous intercepterez le QDR 104 de TBO nécessairement à l'Ouest de Castelnau. Il ne vous reste donc qu'à suivre le QDR 104 jusqu'au terrain.

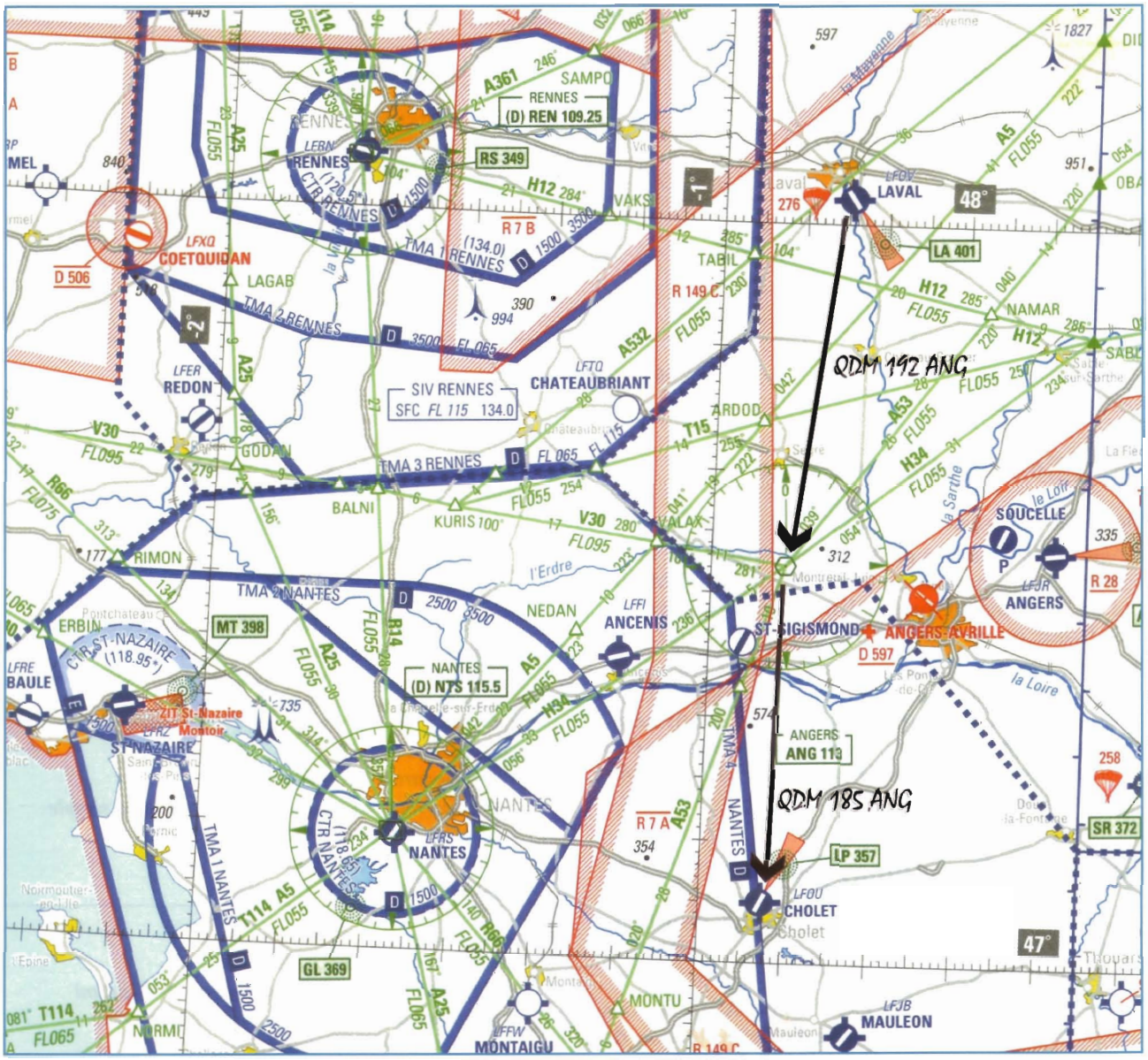


Fig. 285 – *Navigation Laval-Cholet.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E1112006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Carte IGN 1:500 000 OACI © IGN - Paris - 2007 – Autorisation n° 21070455 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 286 – *Navigation Nogaro-Castelnau.*

UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.3
LE VOR, LE RADIOCOMPAS, LE GONIO

LE VOR

Il s'agit d'un système de positionnement radioélectriques utilisant les fréquences VHF (« Very High Frequency »), d'où leur nom : « VHF Omnidirectional Range » (alignement omnidirectionnel VHF), ou VOR.

Principe de fonctionnement

La station VOR transmet :

- un signal de référence au moment du passage du balayage au Nord magnétique de la station,
- un signal de position dont la phase dépend du radial.

En affichant un radial avec le bouton « OBS » de votre récepteur, vous affichez en fait la phase correspondant à cette direction ; votre récepteur VOR est donc un simple phasemètre qui vous dira si le signal reçu correspond au niveau affiché (aiguille au milieu) ou est au contraire trop fort ou trop faible (aiguille à droite ou à gauche du radial affiché).

Cette information peut être reçue par un récepteur VOR ou VOR/ILS. La déviation maximale de l'aiguille correspondant à un écart angulaire de 10 degrés. La précision du VOR est de l'ordre de plus ou moins 5 degrés.

Un simple récepteur VOR vous permet également d'obtenir une information d'écart par rapport à l'axe d'une piste dotée d'un ILS bien que ce type d'aide à l'atterrissage fonctionne selon un autre principe *(voir Unité d'Instruction V.2 page 351)*. Votre récepteur reconnaîtra automatiquement le principe selon lequel il doit fonctionner d'après la fréquence que vous aurez affichée (dixième de mHz pair pour le VOR, impair pour l'ILS) ; l'OBS est alors sans effet.

Les émetteurs VOR

Ils sont implantés sur les aérodromes ou aux points clés des régions de contrôle.

La distance de réception des VOR est dite « optique », c'est-à-dire qu'entre émetteur et récepteur il ne doit pas y avoir d'obstacle important (fig. 287). La distance de réception dépend de votre altitude.

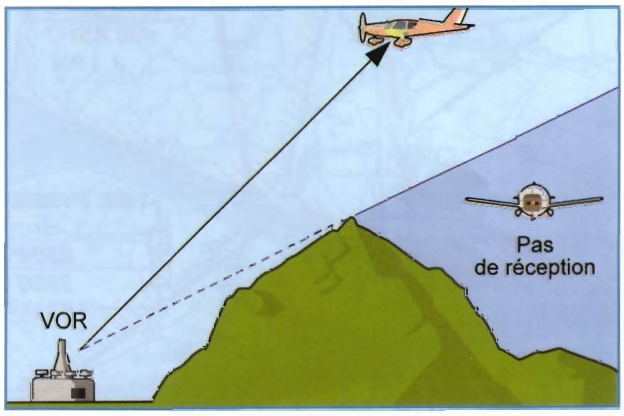


Fig. 287

A 1 000 ft on reçoit un VOR jusqu'à 35 NM, à 4 000 ft jusqu'à 75 NM [1]. Pour mémoire :

$$D(NM) = 1{,}23\sqrt{\text{hauteur de l'avion (en ft)}}$$

L'émission VOR se fait dans la plage VHF de 108,00 à 117,95 Mhz.

Pour chaque VOR, les renseignements suivants figurent sur la carte au 1/500 000 OACI et sur la carte au 1/1 000 000 du SIA :

- son emplacement avec le symbole approprié (fig. 288) ;
- son indicatif ;
- sa fréquence ;
- une rose orientée suivant le Nord magnétique permettant la lecture directe des QDR.

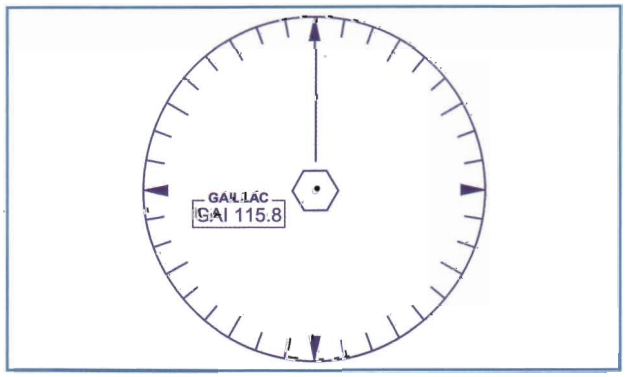


Fig. 288 – *La représentation d'un VOR-DME sur les cartes aéronautiques.*

1 A condition de se trouver dans la limite de portée du VOR, qui dépend de sa puissance d'émission.

Fig. 289

Le récepteur

Il est composé de trois parties : l'antenne de réception, le boîtier de bord et un indicateur :

- L'antenne de réception a la forme d'un V horizontal, généralement fixé sur le haut du fuselage ou de part et d'autre de la dérive ;
- Le boîtier de bord permet la mise en marche du système, la sélection de la balise VOR et son identification (fig. 289) ;
- Les indicateurs les plus courants comprennent (fig. 290 et 291) :
  - un rond central fixe représentant l'avion,
  - une aiguille mobile (droite-gauche), représentant la route sélectionnée,
  - un bouton **OBS** (Omni Bearing Selector), ou sélecteur de route, permet de sélectionner le radial choisi, en faisant tourner la couronne graduée ; ici le radial 090,
  - le voyant mobile (triangle blanc) indique TO-FROM-OFF,
  - **TO** : l'indicateur se réfère au QDM,
  - **FROM** : l'indicateur se réfère au QDR,
  - OFF : le système ne fonctionne pas,
  - l'autre fenêtre de la couronne graduée permet de lire l'inverse du radial sélectionné,
  - lorsque l'aiguille atteint la déviation maximale, vous êtes à 10 ° du radial sélectionné,
  - l'indication est indépendante du cap de l'avion.

Utilisation du récepteur

A partir du boîtier de bord, vous mettez le poste en fonctionnement, affichez la fréquence de la station VOR choisie, et identifiez l'indicatif morse de la balise.

Si vous utilisez le VOR de Pontoise (PON), vous devez entendre :

P O N

• — — • — — — — •

Il est indispensable, avant d'utiliser les informations d'un VOR, d'identifier son indicatif. En effet, le fonctionnement de l'émetteur VOR est surveillé par un système appelé « monitor ». L'absence d'indicatif signifie que le monitor est hors de fonctionnement, autrement dit que l'émetteur VOR n'est plus surveillé. Le VOR est incertain, donc dangereux.

Dès la mise en fonctionnement en vol et si les conditions de réception sont correctes, le voyant OFF disparaît de l'indicateur et laisse place au voyant TO ou FROM. Généralement l'aiguille est déviée (fig. 291). Ici le radial 330 est affiché, l'aiguille est en butée à gauche, vous êtes donc à plus de 10 ° à droite du radial. Rappelez vous que l'aiguille vous indique le sens de l'altération de cap pour rejoindre la route pour un avion ayant un cap sensiblement égal au radial sélectionné, que vous ayez l'indication TO ou FROM.

En tournant lentement le bouton OBS, on constate que la couronne graduée tourne simultanément et que l'aiguille se déplace.

Fig. 290

Fig. 291

Pour une rotation de 360 ° de la couronne, l'aiguille passe deux fois devant le rond central, et le voyant bascule vers TO dans un cas et vers FROM dans l'autre cas.

Notez les valeurs correspondantes sur la couronne graduée, elles diffèrent de 180 ° (Fig. 292 et 293).

Exemple :

Vous êtes sur le QDM 120.

Fig. 292

Vous êtes sur le QDR 300.

Fig. 293

TO = QDM
FROM = QDR

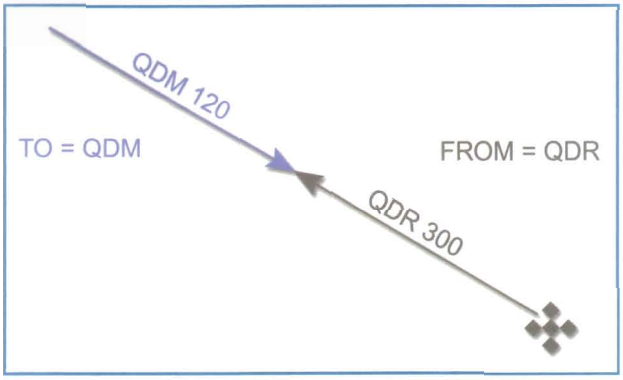


Fig. 294

Alignement sur un axe

Station avant (fig. 295)

Vous êtes au Sud-Ouest de la station, vous dirigeant vers celle-ci, vous travaillez donc avec les QDM, en l'occurrence le 040, que vous voulez suivre jusqu'à la verticale de la station.

Le 040 est affiché sur la couronne et comme prévu le voyant a basculé vers TO.

① tant que vous restez sur le QDM 040 l'aiguille est centrée ;

② l'aiguille est à droite, il faut corriger à droite pour revenir sur l'axe ;

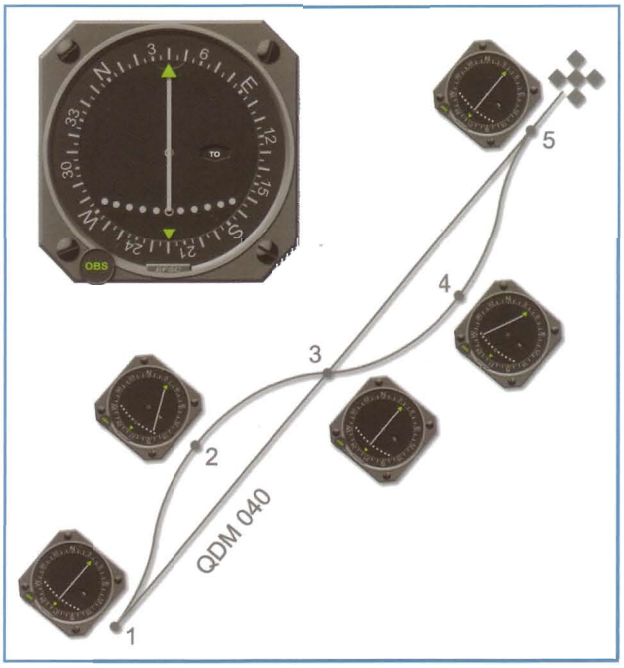


Fig. 295

③ l'aiguille est de nouveau centrée, car vous êtes revenu sur le QDM 040 ;

④ l'aiguille est à gauche, il faut corriger à gauche pour revenir sur l'axe ;

⑤ l'aiguille est centrée.

Vous avez déterminé le cap à maintenir pour rester sur le QDM 040.

Verticale

A l'approche de la verticale, vous entrez dans le cône d'incertitude : les radials sont pratiquement confondus et le récepteur ne peut plus les différencier.

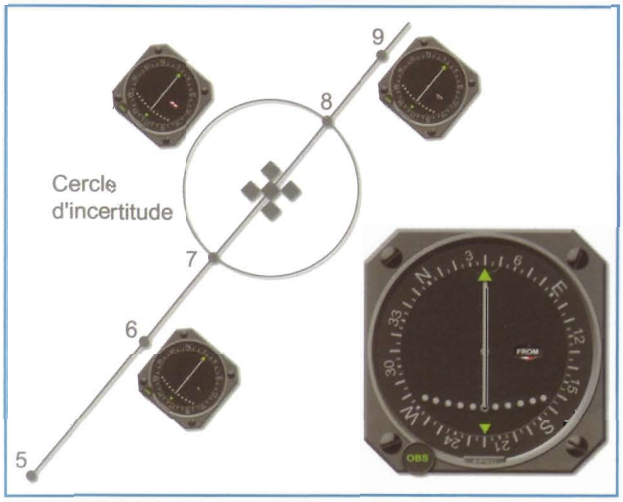


Fig. 296

L'aiguille devient instable, le voyant bascule en position OFF. Il ne faut surtout pas chercher à centrer l'aiguille, la seule conduite à adopter est de maintenir le cap déterminé.

⑥ aiguille stable, voyant TO stable ;

⑦ aiguille instable, voyant TO instable ;

entre ⑦ et ⑧ passage à la verticale : OFF apparaît, la position de l'aiguille devient quelconque.

⑨ aiguille stable, voyant FROM stable.

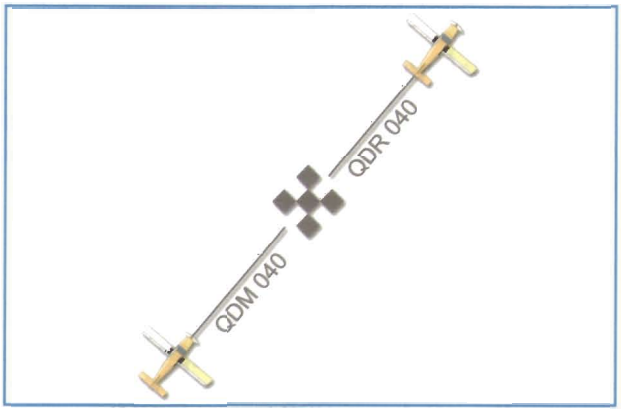


Fig. 297

Station arrière

Vous poursuivez au cap précédent. Après le passage de la verticale, le voyant OFF disparaît et FROM apparaît. Le radial 040 étant toujours affiché, il s'agit désormais du QDR 040 (fig. 297).

⑨ sorti du cône d'incertitude, si vous avez bien maintenu votre cap, alors vous êtes normalement sur le QDR 040, l'aiguille est centrée ;

⑩ l'aiguille est à droite, il faut corriger à droite pour revenir sur l'axe

⑪ l'aiguille est de nouveau centrée, vous êtes revenu sur l'axe ;

⑫ l'aiguille est à gauche : correction à gauche

⑬ l'aiguille est de nouveau centrée..,

Conclusion :

- *en allant vers une station, vous devez sélectionner un QDM avec le bouton OBS, le voyant TO apparaît, il suffit de suivre l'aiguille, celle-ci est directionnelle ;*
- *en s'éloignant d'une station, vous devez sélectionner un QDR avec le bouton OBS, le voyant FROM apparaît, il suffit de suivre l'aiguille, celle-ci est directionnelle.*

Si le cap de l'avion est proche de l'indication sélectionnée à l'OBS :

Aiguille directionnelle :

- *aiguille à droite, correction de route à droite,*
- *aiguille à gauche, correction de route à gauche.*

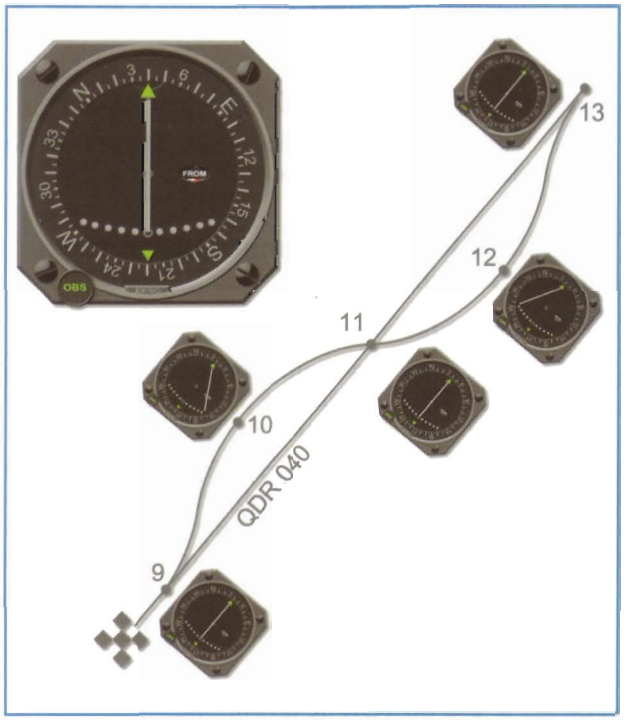


Fig. 298

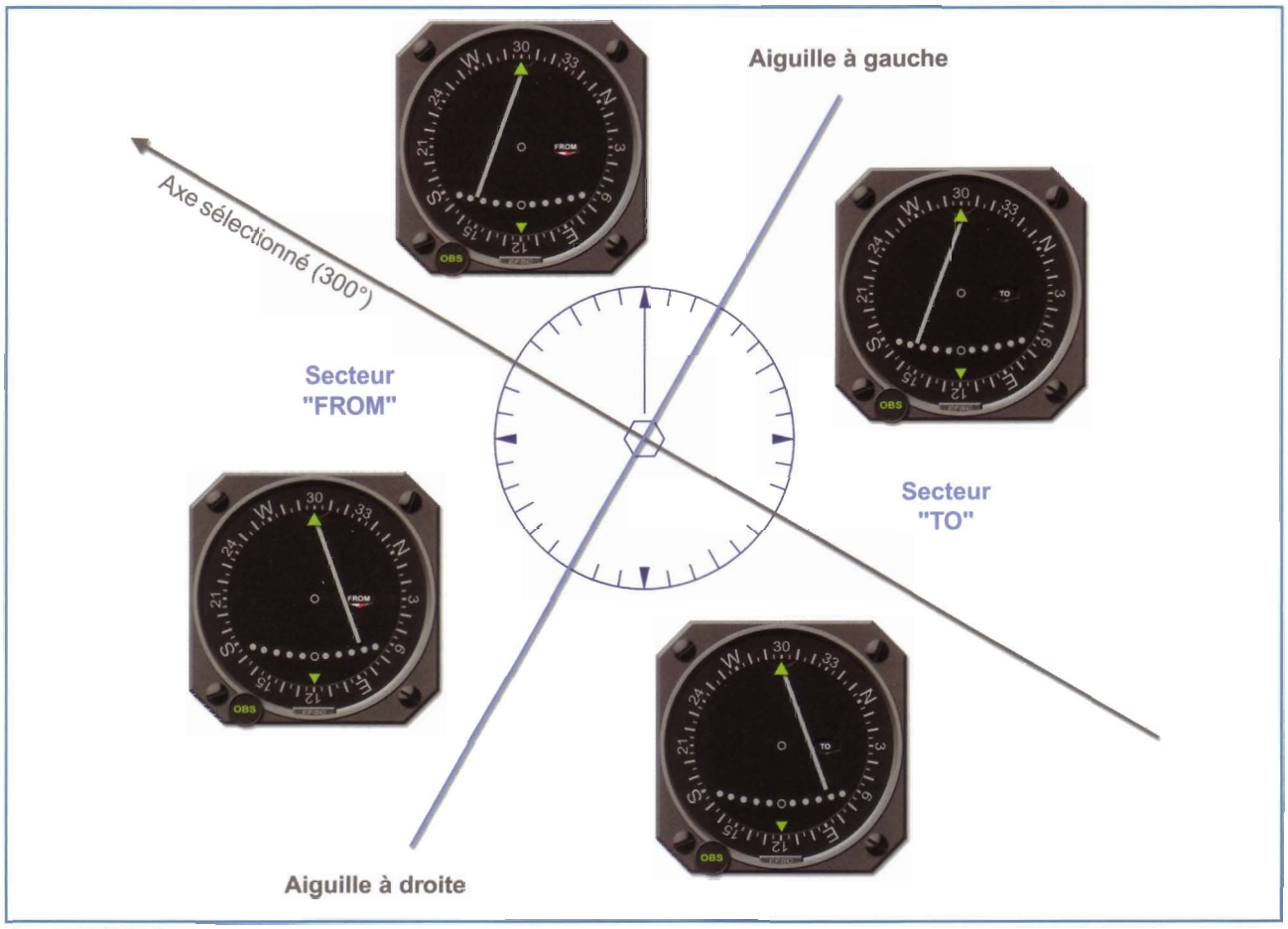


Fig. 299 – *Interprétation de l'indicateur VOR.*

Comment interpréter l'indicateur VOR ?

Vous souhaitez vous situer par rapport à un axe radioélectrique sélectionné 300 ° de la station VOR de Pontoise PON.

Vous affichez avec l'OBS le radial 300.

Sur l'indicateur VOR vous voyez apparaître le voyant FROM et l'aiguille dévie à droite (fig. 299).

Rappelons les trois éléments importants pour le positionnement

1. Sélection du radial.
2. Le récepteur vous indique si vous êtes dans le secteur TO ou FROM (délimité par l'axe perpendiculaire au radial sélectionné).
3. L'aiguille vous indique de quel côté du radial ou du QDM vous vous trouvez. Il suffit d'orienter mentalement l'avion dans le même sens que l'indication affichée (fig. 300), l'aiguille représente l'axe, le rond central l'avion.

Utilisation en route

A est sur le 290 du VOR de d'Amboise.

Vous décidez d'afficher avec l'OBS le radial 290.

En suivant une route Nord-est (fig. 301), avant de couper le radial 290 , l'aiguille sera à droite (vous êtes à gauche de l'axe), en traversant le radial 290 ①, l'aiguille sera centrée (vous êtes sur le QDR 290), ensuite l'aiguille sera à gauche ③ (vous êtes à droite de l'axe).

En remarquant que A se trouve également sur le QDM 110, vous décidez d'afficher, le QDM 110 à l'aide de l'OBS (fig. 302).

L'avion se trouve désormais dans le secteur 110 TO, donc le voyant de l'indicateur bascule vers TO.

En conservant toujours la même route, lorsque vous serez sur le QDM 060 , l'aiguille sera à gauche (en orientant l'indicateur dans le sens du radial sélectionné, l'aiguille représentant le QDM 110, on visualise la position de l'avion). En traversant le QDM 110 ①, l'aiguille sera centrée, ensuite l'aiguille déviera à droite ③.

Interception d'un axe

1) Vous devez suivre un axe en éloignement

Vous affichez un QDR (voyant FROM), soit dans notre exemple le 290.

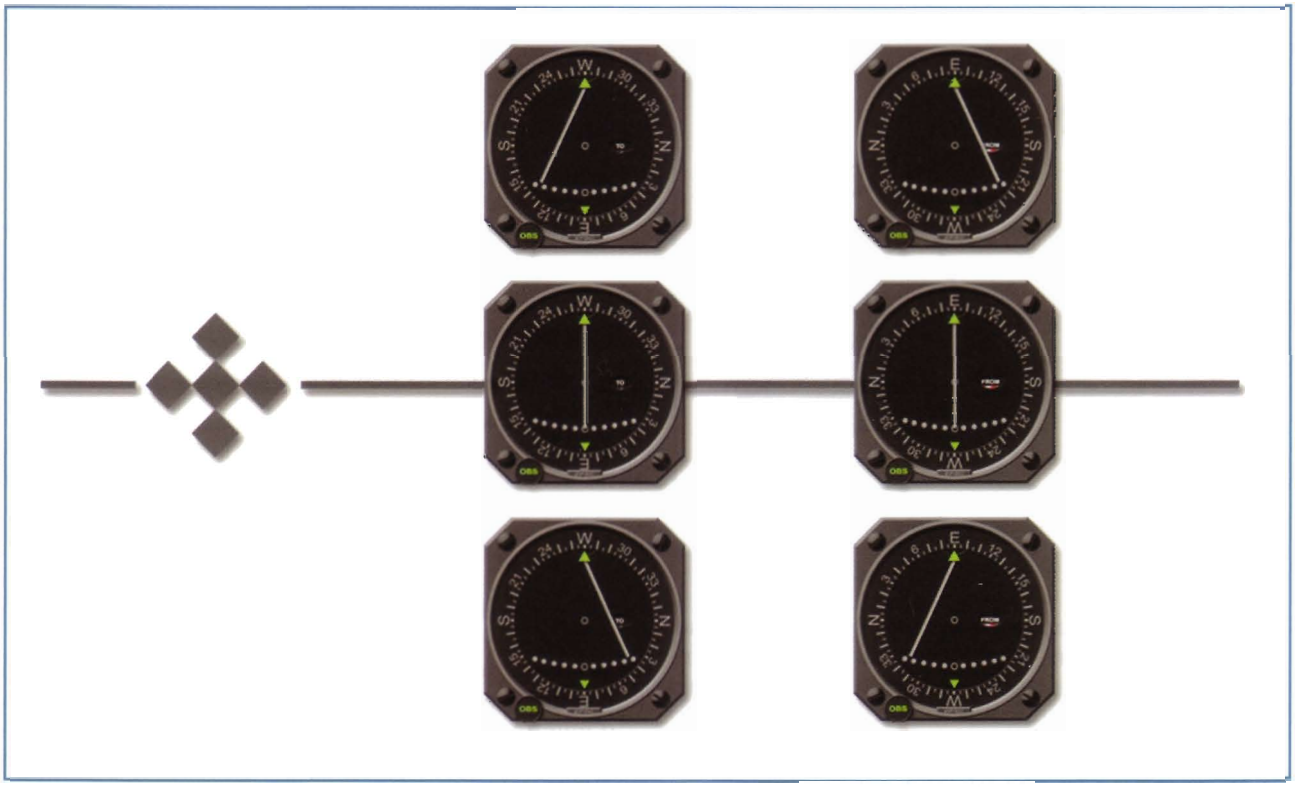


Fig. 300

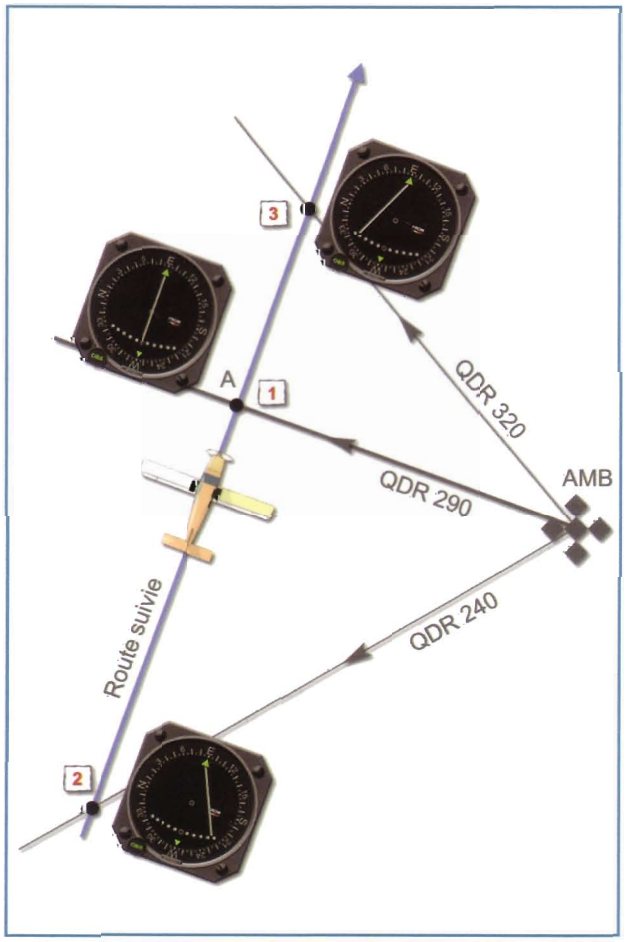


Fig. 301

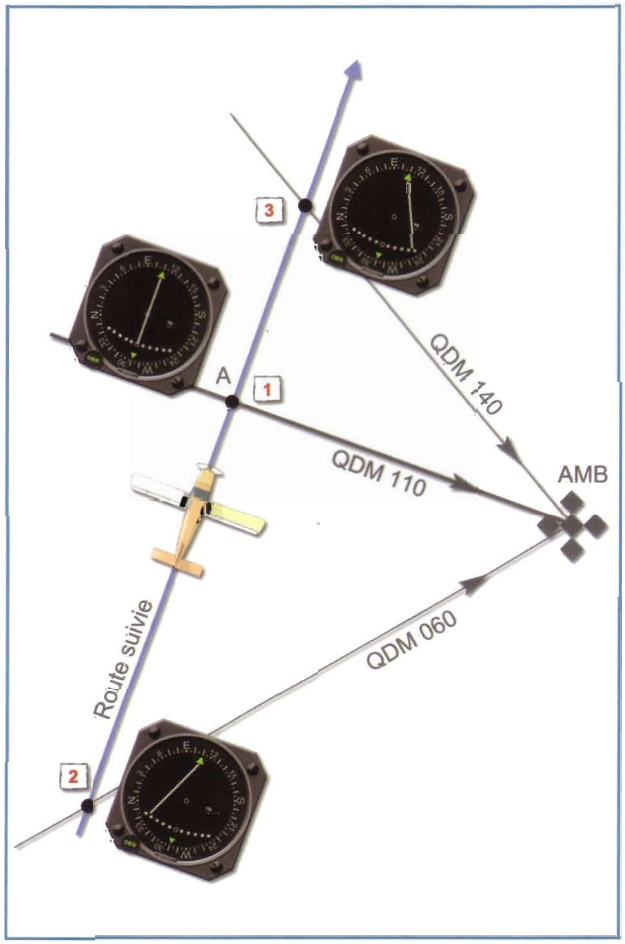


Fig. 302

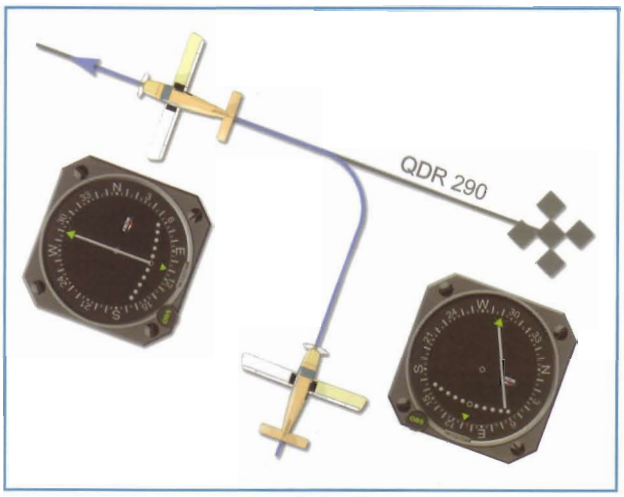


Fig. 303 – *Interception d'un axe.*

Ainsi sans autre manipulation, dès que l'aiguille se rapproche du centre vous virez vers le cap 290 corrigé de la dérive. L'aiguille est directionnelle puisque votre cap est voisin du « numéro » affiché 290.

2) Vous devez suivre un axe en rapprochement

Vous affichez un QDM (voyant TO), soit le 110.

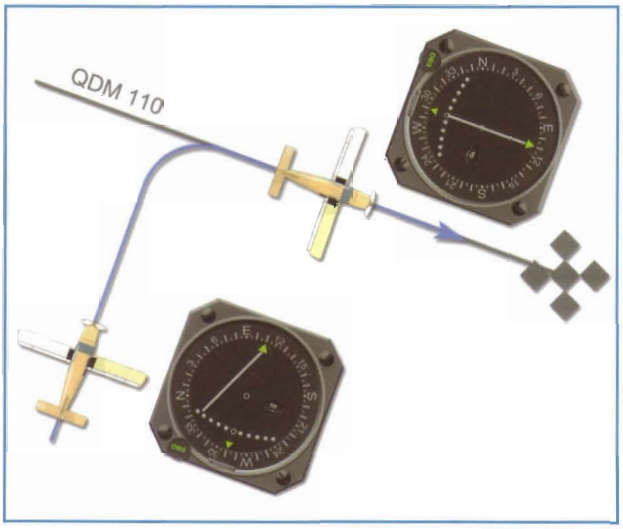


Fig. 304 – *Interception d'un axe.*

De même que précédemment, l'aiguille est directionnelle dès que vous virez vers le cap 110 corrigé de la dérive.

Notez que dans les deux cas, vous devez anticiper la mise en virage, c'est-à-dire commencer à virer avant que l'aiguille ne soit centrée.

L'anticipation doit être d'autant plus grande que vous êtes plus près de la station.

Essayez d'intercepter un axe sous un angle inférieur à 90 °, pour limiter les problèmes d'anticipation.

Conduite à tenir en cas de non-réception d'une station VOR

Vous devez envisager quelques cas classiques, par exemple :

- vous êtes hors de portée (vous volez trop bas) ;
- le VOR est en maintenance (absence d'indicatif) ;
- la fréquence est mal affichée, etc.

Si vous ne parvenez toujours pas à recevoir la station, vous devez vous appuyer sur l'estime et le cheminement, ou chercher à recevoir un autre VOR dont vous n'êtes pas trop éloigné.

Le radiocompas

Le terme radiocompas désigne le récepteur de bord. Comme pour les stations VOR, il existe deux types d'émetteurs fonctionnant suivant le même principe, mais de puissance d'émission donc de portée différente.

L'émetteur

Le NDB (« Non Directional Beacon »)

Moyen de radionavigation implanté le plus souvent aux points clés des régions de contrôle ou à proximité de certains aérodromes dans l'axe de piste comme support à des procédures d'approche aux instruments. Sa portée dépend de sa fonction et son indicatif comprend 2 ou 3 lettres. Les NDB à faible portée étaient anciennement désignés Locator (L).

Le NDB fonctionne dans la plage moyenne fréquence MF de 200 à 1750 kHz.

Sur les cartes aéronautiques au 1/500 000 et 1/1 000 000 le NDB est indiqué par :

- son emplacement avec le symbole approprié (voir cartouche des cartes citées ci-dessus) ;
- son indicatif ;
- sa fréquence.

Le récepteur

- L'antenne de réception est généralement composée d'une antenne placée sous l'avion et protégée par un carénage.
- Le boîtier de bord permet de mettre en route l'appareil et de sélectionner la fréquence de la balise choisie. Il comporte également un sélecteur de mode de fonctionnement.
- L'indicateur comporte une rose graduée de 0 à 360 °, et une aiguille indiquant la direction de la station (fig. 305).

Fig. 305 – *L'indicateur ADF.*

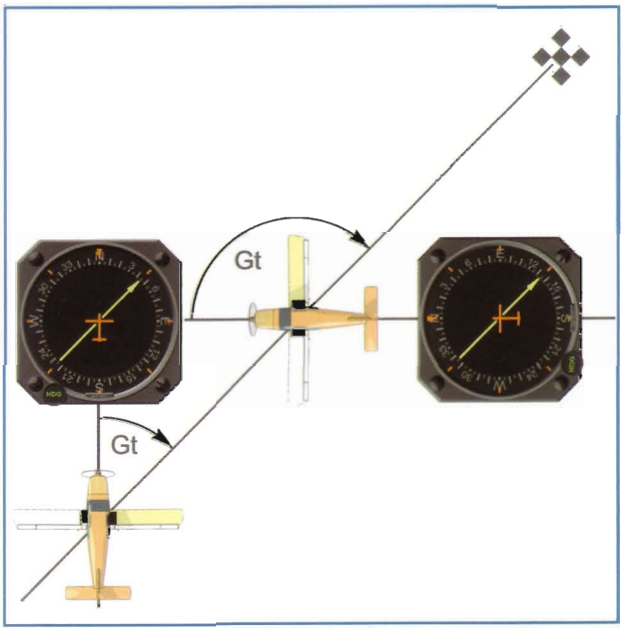


Fig. 307 – *L'aiguille indique la direction de la station.*

Utilisation pratique du radiocompas

Après avoir affiché la fréquence de la balise, vérifiez son indicatif en code morse en sélectionnant la position **BFO**.

Revenez ensuite sur **ADF** (« Automatic Direction Finder »), en vous assurant que l'aiguille se stabilise, pour pouvoir utiliser le radiocompas (fig. 306).

Fig. 306 – *Le boîtier de sélection de l'ADF.*

La position de l'aiguille sur le cadran permet de déterminer l'angle que fait la direction vers la station avec l'axe de l'avion.

Cet angle s'appelle le **gisement** (Gt) et se compte de 0 à 360 °.

Ainsi, contrairement au VOR, deux avions sur le même QDM, mais ayant des caps différents, n'ont pas la même indication instrumentale.

Calcul du QDM à partir du gisement

Vous êtes au cap 060 et vous recevez l'indication suivante (fig. 309) :

Le **gisement** de la station est le 030, vous êtes sur le QDM 060 + 030 = 090, en effet :

Fig. 308 – *L'indicateur tel que le pilote le voit.*

On obtient donc le QDM en ajoutant au cap le gisement :

$$QDM = Cm + Gt$$

Fig. 309

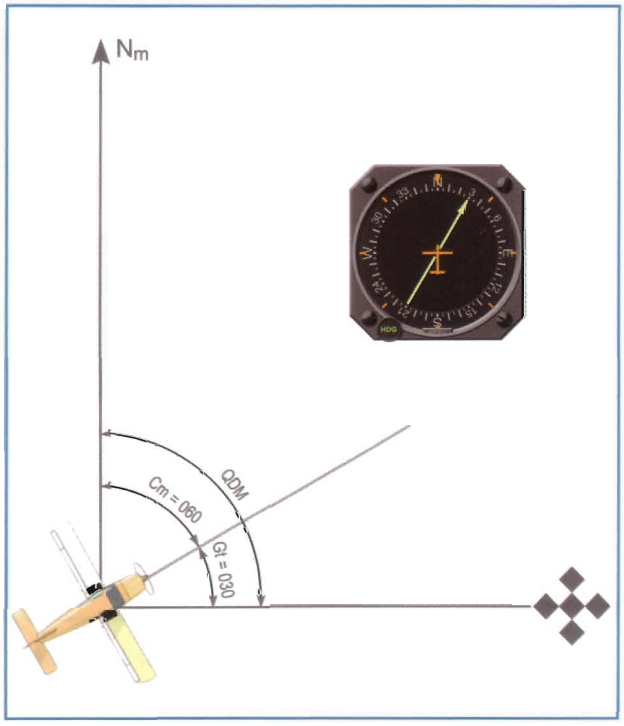


Fig. 310

Supposons que vous soyez au cap 060 mais en recevant l'indication suivante (fig. 311) :

Gt = 330 °, vous êtes sur le QDM :

QDM = 060 + 330 = 390

QDM = 390 – 360 = 030

Fig. 311

Pour vous éviter de faire ce calcul, l'indicateur ADF est muni d'un bouton situé à gauche (fig. 305) ressemblant à celui de l'OBS. Ce bouton permet de faire tourner la rose de l'indicateur. Vous pouvez ainsi afficher sur l'indicateur ADF le cap lu sur le conservateur de cap. L'aiguille de l'ADF donne alors directement des QDM.

A noter que l'aiguille peut battre légèrement vers la droite et vers la gauche lors de l'émission de l'indicatif par la balise NDB. Ce battement est normal.

Cas du RMI (« Radio Magnetic Indicator »)

Présentation

Le RMI est un indicateur sophistiqué. Il résulte de la combinaison d'un conservateur de cap (généralement recalé en permanence par une centrale de cap) et d'une information VOR et/ou ADF.

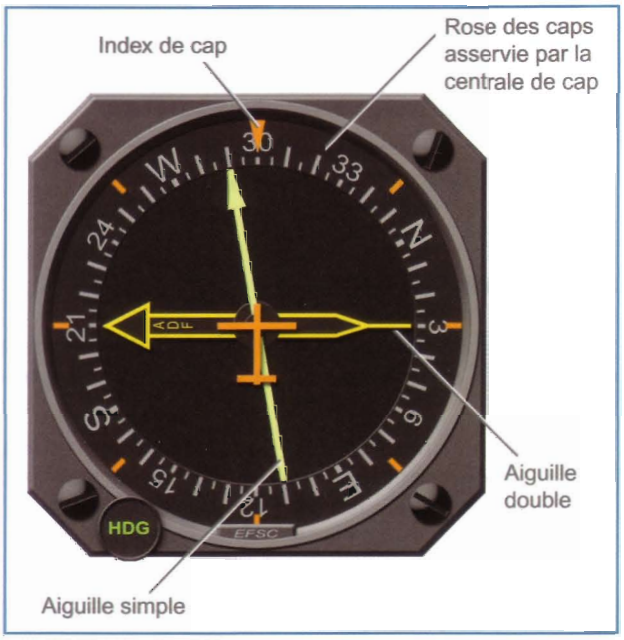


Fig. 312

Fig. 313

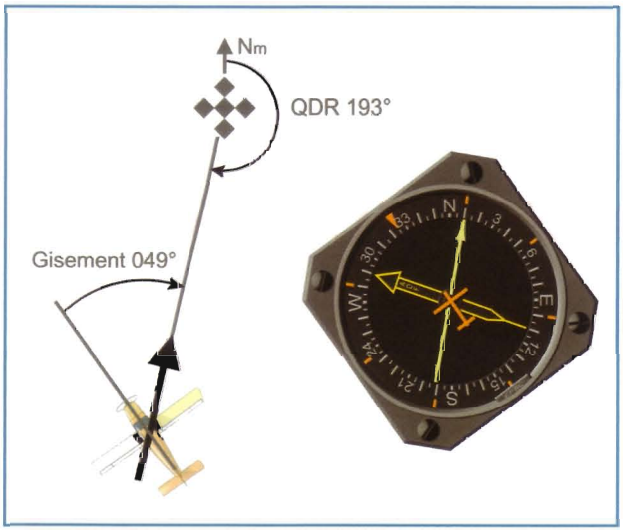


Fig. 314

Les informations directement lues sont le cap, le QDM, le QDR et le Gisement. Il ne nécessite donc pas de calcul de la part du pilote.

Exemple :
Nous avons mis le VOR sur l'aiguille simple du RMI.
Nous sommes ici au cap 324 ° sur le QDR 193 ° ou QDM 013° et le gisement à la station est de 049 °.

Limite d'utilisation et précision du radiocompas

L'onde moyenne fréquence est très sensible aux perturbations magnétiques. Par temps orageux, l'aiguille du radiocompas peut très bien vous indiquer la direction d'un cumulo-nimbus au lieu de vous indiquer la balise.

Notez également que vous pouvez recevoir une onde qui épouse la surface du globe. Cette onde de sol (ou onde de surface) est donc reçue bien au-delà de la portée optique selon la puissance de l'émetteur, contrairement au VOR, car le signal peut subir des diffractions en cas de présence d'obstacles. Enfin, en cas de survol maritime, l'onde peut être déviée au franchissement de la côte du fait de la différence de conductibilité entre la mer et la terre. Cette déviation dépend de l'angle que fait l'onde et le trait de côte.

De même, de nuit l'indication du radiocompas peut être douteuse, dans ces cas n'hésitez pas à couper le récepteur *(cf. Les moyens de radionavigation au chapitre relatif au vol de nuit page 417).*

La précision du radiocompas est de l'ordre de 5 °.

Nous tenons enfin à attirer votre attention sur la nécessité d'être très vigilant à l'approche des verticales des moyens de radionavigation. Ce sont des points où convergent de nombreux avions et vous devez par conséquent assurer plus que jamais « l'anticollision ».

Ne laissez pas vos instruments monopoliser toute votre attention, votre sécurité en dépend.

Le VDF ou gonio

Le gonio ou VDF (VHF Directional Finding) est une aide à la navigation très facile à utiliser. En effet, tout organisme au sol disposant de cet équipement est en mesure de vous communiquer des QDR ou des QDM vers lui, dès que vous le contactez par radio.

Principe du VDF

Le gonio permet de relever la position d'un émetteur (votre radio VHF), en utilisant un récepteur approprié.

Le pilote émet sur la fréquence du VDF, et la direction d'émission est relevée par l'opérateur. Le relèvement est alors communiqué au pilote sur la même fréquence généralement sous forme d'un QDM.

Utilisation pratique du VDF

Affichez la fréquence du gonio que vous voulez contacter, sur votre radio VHF. Les fréquences des VDF figurent sur les cartes d'atterrissage et dans le livret complément à la carte radionavigation.

Si la station gonio est Pontoise, le message doit être le suivant « Pontoise Gonio, pour un cap magnétique vers vous, répondez ». Pour rejoindre la station il vous suffit de prendre ce cap corrigé de la dérive. Si les QDM diminuent, diminuez votre cap, s'ils augmentent, augmentez votre cap.

Il convient ensuite de répéter ces demandes, pour des corrections éventuelles de route et ceci à un rythme d'autant plus élevé que vous êtes plus près de la station afin de mieux corriger la dérive et rester sur l'axe initial. Lors de l'accusé de réception de votre dernière demande de cap magnétique, terminez votre message par : « Pontoise gonio, terminé ».

Vous pouvez par ailleurs utiliser le QDM fourni par le VDF simplement pour confirmer votre navigation, même si vous ne cherchez pas à vous diriger vers la station VDF contactée.

Limite d'utilisation du VDF

C'est un moyen non autonome qui nécessite un opérateur. Le nombre d'avions qui peuvent utiliser ce service est forcément limité.

La portée est sensiblement optique, donc tout obstacle entre émetteur et récepteur gêne l'opération de relèvement.

LES CARTES D'AÉRODROMES

Les cartes publiées dans l'Atlas des cartes VAC des aérodromes font partie des documents que vous devez avoir à bord *(cf. Les obligations relatives à l'emport de documents en phase V page 346)*. Par ailleurs, si vous ne devez pas obligatoirement disposer de la documentation officielle diffusée par le SIA, la documentation que vous devez utiliser doit impérativement être à jour et donc conforme à la documentation officielle.

Dans l'atlas VAC publié par le SIA, suivant l'importance des aérodromes vous pouvez disposer des cartes suivantes :

- Les **cartes d'approche à vue** (fig. 315) référencées :
  - par le nom officiel de l'aérodrome (le nom abrégé utilisé comme indicatif d'appel est représenté en gras) ;

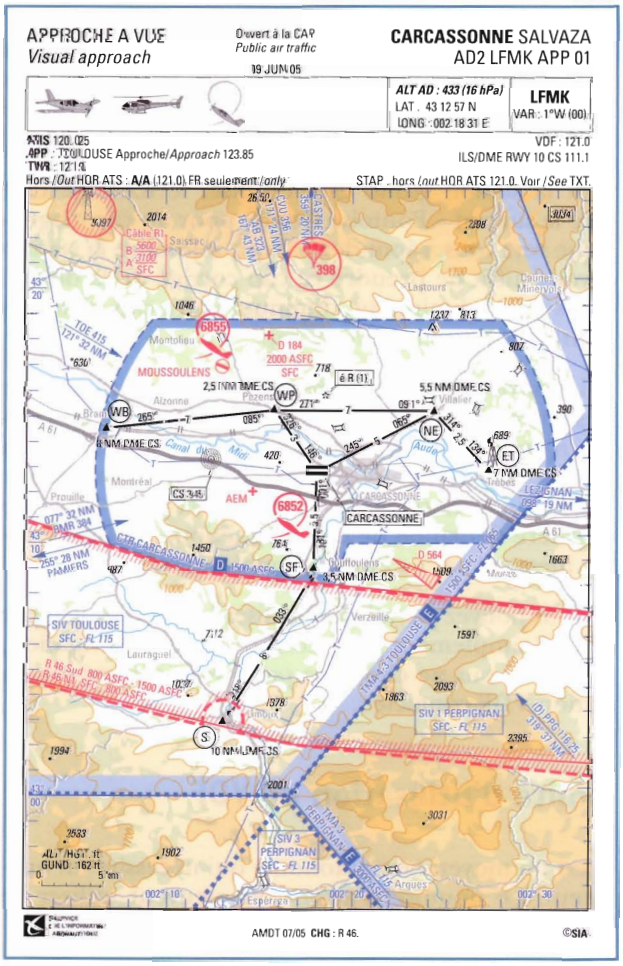


Fig. 315 – *La carte d'approche à vue de Carcassonne-Salvaza.*

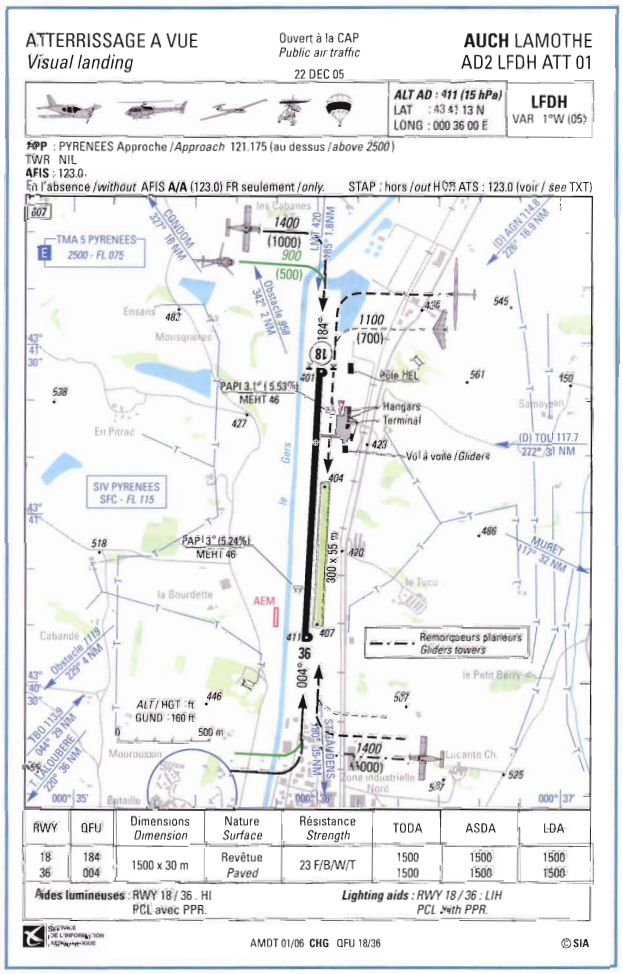


Fig. 316 – *Cas d'une carte ATT d'un aérodrome sans carte APP.*

  - la mention AD2 suivie de l'indicateur d'emplacement et l'identification du type de carte mentionnée **APP** puis d'un Numéro d'ordre.

Une carte APP est diffusée pour les aérodromes dotés d'une CTR ou situés dans un environnement complexe. Les activités principales se déroulant sur l'aérodrome sont rappelées sous forme de symbole en haut de carte ainsi que les organismes de la circulation aérienne (organisme ATS) avec leurs indicatifs d'appel et les fréquences.

Les espaces aériens représentés sur les cartes APP sont indiqués du sol à 5 000 ft AMSL ou 2 000 ft ASFC (le plus élevé des deux) comme sur la carte au 1/500 000 OACI.

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E I I/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol
Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E I I/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

- Les **cartes d'Atterrissage à vue** (fig. 316) référencées comme pour la carte APP avec la mention **ATT**.

  Ce type de carte a pour objectif de renseigner les pilotes sur l'infrastructure de l'aérodrome et les circuits de pistes notamment ; Pour les aérodromes pour lesquels il n'y a pas de carte APP , la zone couverte peut-être étendue si nécessaire pour représenter les particularités proches de l'aérodrome. Les espaces aériens sont alors indiqués dans les mêmes limites que pour la carte APP et les informations relatives aux activités et aux organismes ATS sont indiquées comme sur le carte APP.

- Les **cartes de mouvements à la surface** référencées comme pour les cartes précédentes avec la mention **GMC** (pour Ground Movement Chart).

  Ce type de carte n'est publié que pour les aérodromes importants lorsque les détails nécessaires aux mouvements au sol des aéronefs ne peuvent être indiqués sur la carte ATT.

- Les **cartes des aires de stationnement** référencées comme pour les cartes précédentes avec la mention **APDC** (pour Aircraft Parking/Docking Chart).

  Ce type de carte n'est publié que lorsque les renseignements utiles ne peuvent être indiquées clairement sur les cartes ATT ou GMC et ne concerne que des aérodromes importants également.

- **Les textes associés aux cartes** (fig. 317)

  Les « Consignes particulières » et les « Informations diverses » concernant les aérodromes sont publiées séparément dans des pages de texte identifiées par **TXT** suivies d'un numéro d'ordre.

  En plus des consignes particulières relatives à l'utilisation de l'aérodrome, vous y trouvez notamment les renseignements concernant :

  – les horaires ATS,
  – le ravitaillement en carburant,
  – les informations relatives à la météo et à la douane sur l'aérodrome,
  – le niveau de protection pour la lutte aviaire.

  Vous pouvez vous procurer ces documents sous forme de divers abonnements (voir le catalogue du SIA) ; ils sont également disponibles sur le site du SIA *www.sia.aviation-civile.gouv.fr* et peuvent être téléchargés.

CARCASSONNE SALVAZA
28 OCT 04 AD2 LFMK TXT 01

Consignes particulières / *Special instructions*

Conditions générales d'utilisation de l'AD / ***General AD operating conditions***
Piste non revêtue réservée aux ACFT basés et éventuellement aux LDG train rentré. / *Grass strip reserved for based ACFT and emergency LDG gear up.*
Roulage TWY 5 TRSI. / *Taxiing TWY 5 TRSI.*
AD réservé aux ACFT munis de radio pendant les horaires ATS. / *AD reserved to radio-equipped ACFT during ATS HOR.*

Procédures et consignes particulières / ***Procedures and special instructions***
Éviter le survol de la Cité. / *Avoid overflying the City*
Activation zones R 46 : activité réelle R 46 N1 annoncée par CARCASSONNE Tour. / *LF-R46 N1 activity known by CARCASSONNE TWR.*
R46 N1 active : suivre la vallée de l'Aude au lieu de l'itinéraire S-SF / *R46 N1 activated. follow the Aude valley instead of routing S-SF.*
R46 Sud active : 820 ft ASFC MAX si R46 N1 non active. / *R46 Sud activated: 820 ft ASFC MAX if R46 N1 not activated.*
Sauf autorisation des services ATS : Parkings L1, L2 et commercial interdits aux appareils de masse max inferieure à 2T, utiliser les zones non revêtues situées à l'ouest. / *Except with ATS authorization: Parking L1, L2 and commercial are forbidden to ACFT with max weight less than 2T, use unpaved areas located at the west.*
Une vigilance particulière est demandée aux utilisateurs du pélicandrome suite à l'absence du contact visuel depuis la Tour. / *Close attention is required to users of the pelicandrome due to lack of visual contact from the TWR.*
Procédure de réduction d'espacement sur la piste, applicable par les ATS, aux seuls monomoteurs à hélice en vol VFR / *Separation reduction procedure on the RWY, applied by ATS to VFR flight single engine propeller only.*

VFR spécial / ***Special VFR***
Avions : VIS > ou = 1500 m - HEL : VIS > ou = 800 m. / *ACFT: VIS > ou = 1500 m - HEL: VIS > ou = 800 m.*
En présence d'IFR dans la CTR : ACFT/HEL : VIS : > ou = 2 500 m. / *With IFR traffic in CTR: ACFT/HEL : VIS: > ou = 2 500 m.*

VFR de nuit / ***Night VFR flight***
Arrivées à l'Est : se présenter à 2700 ft AMSL verticale AD. / *ARR from East: Proceed 2700 ft AMSL over-head AD.*
Départs vers l'Est : monter à 2700 ft AMSL verticale AD puis cap vers l'Est, en montée vers altitude de croisière. / *DEP to East: Climb to 2700 ft AMSL over-head AD then head for East, climbing to cruise altitude.*

Equipement AD / ***AD equipment***
STAP paramètres disponibles : vent, base des nuages, T, DP, QNH, QFE. / *STAP data available: wind, cloud base, T, DP, QNH, QFE.*

Activités diverses / ***Special activities***
- Activité d'aéromodélisme d'ALAIRAC. / *ALAIRAC flying models activity.*
- Voltige sur AD N° 6870 : Verticale axe de piste FL055/330 ft AAL PPR CARCASSONNE TWR. / *Aerobatics on AD NR 6870: Overhead RWY FL055/330 ft AAL PPR CARCASSONNE TWR.*
- Activité de voltige N° 6852 : LAVALETTE FL 055/2000 ft ASFC. PPR CARCASSONNE TWR. / *Aerobatics NR 6852: LAVALETTE FL 055/2000 ft ASFC. PPR CARCASSONNE TWR.*
- Activité de voltige N° 6855 : verticale AD MOUSSOULENS, FL 055/330 Ft AAL HOR . CARCASSONNE Tour, PPR TOULOUSE APP. / *Aerobatics NR 6855: Overhead MOUSSOULENS AD, FL 055/330 Ft AAL, HOR: CARCASSONNE TWR, PPR TOULOUSE APP.*

SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE AMDT 11/04 © SIA

CARCASSONNE SALVAZA
AD2 LFMK TXT 02 28 OCT 04

Informations diverses / *Miscellaneous*
HIV + 1HR / *WIN + 1HR*

Les informations de source **NON DGAC** de cette rubrique sont communiquées sous toute réserve.
Non DGAC *informations in this document are communicated with all reserve.*

1 - **Situation / *Location*** : 3 km W Carcassonne (11 AUDE).
2 - **ATS** : HX : voir / *see* NOTAM
☎ 04 68 10 23 52.
3 - **VFR de nuit / *Night VFR*** : agréé / *approved.*
4 - **Gestionnaire / *Managing authority*** : CCI CARCASSONNE
3 bd Camille Pelletan - BP 13
11001 CARCASSONNE Cedex
☎ 04 68 10 36 00
Sur / *On* AD ☎ 04 68 71 96 46.
5 - **District Aéronautique / *Aeronautical district*** : LANGUEDOC ROUSSILLON.
6 - **BDP / BIA** : BRIA de rattachement / *Attaching BRIA* : MARSEILLE (voir / *see* GEN).
7 - **Préparation du vol / *Flight preparation*** : RSFTA / *AFTN.*
8 - **MET** : VFR : voir / *see* GEN VAC
IFR : voir / *see* GEN IAC
STATION : LUN-VEN / *MON-FRI* : 0530-1530.
9 - **Douanes / *Customs*** : LUN-VEN / *MON-FRI* 0430-2030, SAM / *SAT* : 0530-SS+30, DIM et JF / *SUN and HOL* 0600-2030 ☎ 04 68 11 41 99
En dehors sur demande / *Outside* O/R : CCI CARCASSONNE.
10 - **AVT** : carburants / *fuel* : 100 LL- TR.O (CIV)- Lubrifiants / *Oil* : 80 - 100 (CIV-MIL)
LUN-VEN / *MON-FRI* : 0430-2030
SAM, DIM et JF / *SAT, SUN and* HOL : 0600-SS+30
☎ 04 68 71 96 47
Paiement / *Payment* : Carte BP-Carte bleue-Bons MIL-Bons SFACT / *BP Card - CB - MIL voucher -SFACT voucher.*
11 - **SSLIA** :catégorie 5, niveau 5 pour commerciaux programmés ou sur demande avec préavis de 2 HR auprès CCI CARCASSONNE
Niveau 2 en dehors de ces créneaux (HOR AVT).
Category 5, level 5 for planned commercial flights or O/R with PPR 2 HR at CCI CARCASSONNE Level 2 ouside these slots (HOR AVT).
12 - **Lutte aviaire / *Bird control*** : groupe B / *group B.*
13 - **Hangars pour aéronefs de passage / *Transient aircraft hangar*** : NIL
14 - **Réparations / *Repairs*** : NIL
15 - **ACB** : de l'Aude ☎ 04 68 25 05 54
Amicale des pilotes Audois ☎ 04 68 71 38 78.
16 - **Hôtels, restaurants / *Hotels, restaurants*** : sur AD et à proximité / *On AD and in the vicinity.*
17 - **Divers / *Miscellaneous*** : SEFA ☎ 04 68 11 50 40.

SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE AMDT 11/04 © SIA

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no EI 1/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 317 – *La carte VAC de Carcassonne-Salvaza : consignes particulières et informations diverses.*

UNITÉ D'INSTRUCTION N° III.4
L'AVION
SON ÉQUILIBRE – SA STABILITÉ

Grâce aux chapitres précédents, nous avons vu quels sont les phénomènes physiques qui permettent de voler. Nous avons tiré les premières leçons de ces notions aérodynamiques : nous savons à présent comment faire pour modifier la résultante aérodynamique à notre gré et quels sont les défauts de notre système (tourbillon marginal, existence d'une portance limite au-delà de laquelle l'avion décroche).

Sommes-nous à présent capables, avec ces connaissances, de construire notre propre avion ? Pas encore tout à fait. En effet, si nous décidions de prendre l'air avec un tel avion, il est fort probable que nous ne pourrions même pas décoller. Il nous faut donc aller un peu plus loin dans l'étude, c'est-à-dire celle du comportement de l'avion.

Nous commencerons par donner quelques rappels simples de physique. Ces rappels vont nous permettre d'étudier aisément les forces qui agissent sur l'avion, ainsi que leur répartition et importance.

Nous en déduirons comment faire pour rendre un avion assez stable pour se maintenir en l'air, et assez maniable pour être pilotable.

RAPPELS DE PHYSIQUE ÉLÉMENTAIRE

L'équilibre des forces

Si un objet immobile subit des forces dont la somme est nulle, il ne se déplace pas. Par exemple, un objet posé sur une table subit deux forces qui s'équilibrent : son propre poids qui l'attire vers le sol, et la réaction de la table qui l'empêche de tomber.

Si un objet en mouvement subit des forces dont la somme est nulle, sa trajectoire n'est pas déviée ni sa vitesse modifiée.

Par exemple, un palet de hockey lancé sur de la glace ne subit que son propre poids, et la réaction de la glace. Ces deux forces s'équilibrent et si aucun joueur n'intervient, le palet poursuivra sa course en ligne droite et à vitesse quasiment constante.

Centre de gravité

Le centre de gravité d'un objet est le point où s'applique le poids de l'objet.

Il est très facile de matérialiser le centre de gravité de certains objets comme une règle par exemple : il suffit de poser la règle en équilibre sur le bout de son doigt ; le centre de gravité de la règle se trouve à la verticale du point d'application de la règle sur le doigt.

Chaque objet a un centre de gravité. La position du centre de gravité dépend de la répartition des masses au sein de l'objet. Si elle varie, la position du centre de gravité varie aussi. Par exemple, lorsqu'un passager se déplace dans un avion, le centre de gravité change de position, ce qui peut avoir un effet non négligeable sur la conduite d'un avion léger.

L'équilibre des « moments »

Procédons à l'expérience de la règle fixée au mur en son milieu.

Tant qu'aucune force n'est appliquée d'un côté ou de l'autre de la règle, celle-ci reste en équilibre.

A l'application d'une force en A, nous constatons sans surprise que la règle pivote autour de son axe de rotation (fig. 319).

Remarquons que si nous avions appliqué cette même force en C, centre de la règle, aucune rotation ne se serait manifestée (fig. 320). De même, appliquons en A une force suivant l'axe de la règle : nous ne constatons pas non plus de rotation (fig. 321).

Nous voyons donc qu'une force peut être ou ne pas être capable de faire tourner un objet sur lui même :

- en figure 319, la force appliquée en A induit une rotation de la règle ;
- en figure 321, malgré l'application d'une force, la règle ne tourne pas.

Nous constatons par conséquent qu'une force possède ou non un « pouvoir » de rotation. Ce « pouvoir » de mettre les objets en rotation n'existe qu'à condition que le support de la force ne passe pas par le centre de rotation (fig. 319).

Dans le cas où le support de la force passe par le centre de rotation de l'objet, ce pouvoir de rotation

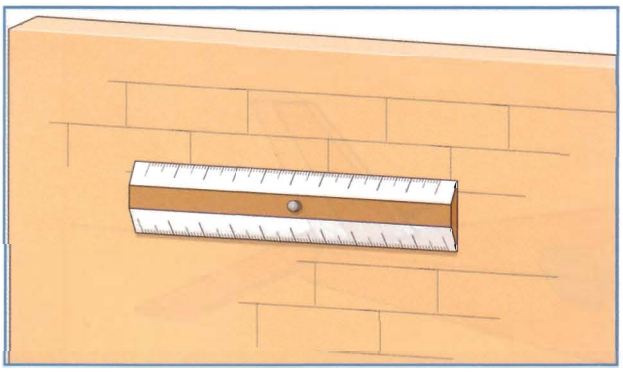


Fig. 318

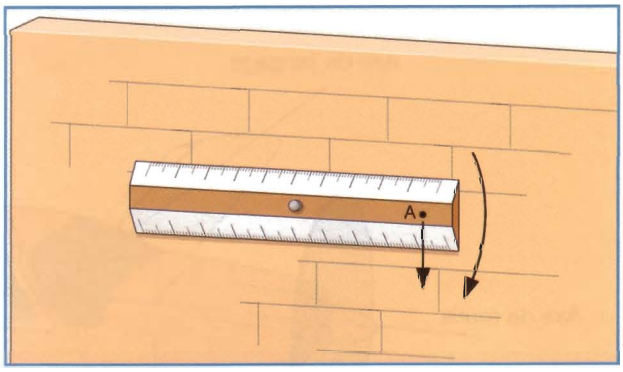


Fig. 319

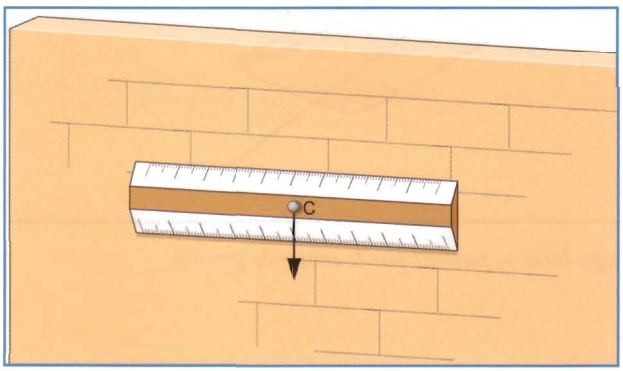


Fig. 320

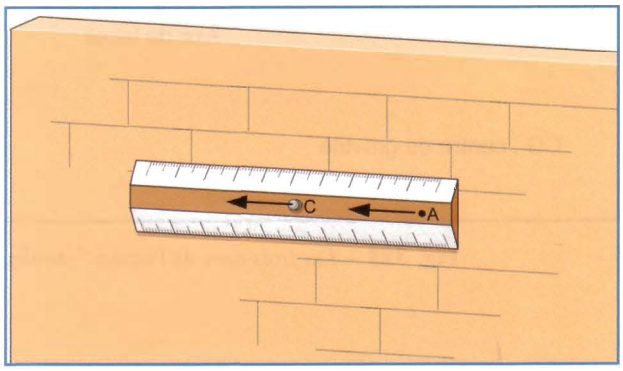


Fig. 321

disparaît, et aucune rotation n'est observée (fig. 320 et 321).

Vous savez d'ailleurs tout cela : lorsque vous ouvrez une porte, vous poussez perpendiculairement à celle-ci, jamais vers la charnière !

Ce pouvoir de rotation d'une force est désigné en physique par le « moment » : plus le « moment d'une force » est grand, plus la force est capable de mettre l'objet auquel elle s'applique en rotation.

Note (fig. 322)

Le moment d'une force par rapport à un axe de rotation est le produit de la force par la distance minimale séparant l'axe de rotation du support de la force :

$$Moment = F \times d$$

Nous voyons que le moment d'une force, autrement dit sa capacité à mettre en rotation un objet, est proportionnel à son intensité et à la distance séparant son axe de l'axe de rotation.

Ainsi, pour obtenir une rotation, vous pourrez appliquer une force à une distance donnée de l'axe de rotation, ou encore appliquer une force deux fois moins grande à une distance deux fois plus grande de l'axe de rotation.

C'est le principe du levier, qui permet de soulever un poids très important sans se fatiguer, en utilisant une distance à l'axe de rotation très grande.

Application à l'avion

Dans le cas de l'avion, nous étudierons les rotations autour de trois axes passant par le centre de gravité (fig. 323) :

- l'axe de roulis,
- l'axe de tangage,
- l'axe de lacet.

Les **gouvernes**, que nous avons étudiées en Phase I, génèrent les forces qui permettent au pilote de faire pivoter l'avion autour de son centre de gravité.

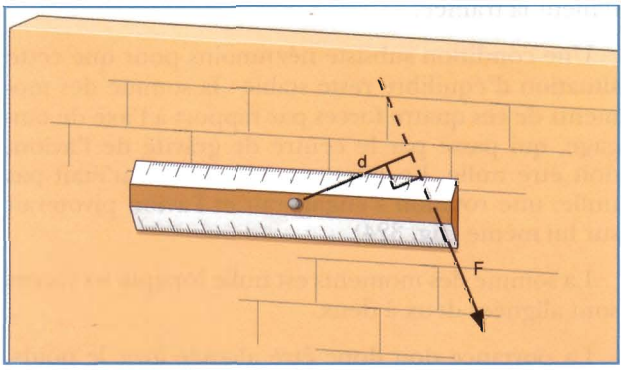


Fig. 322 – *Le moment d'une force* F *par rapport à un axe de rotation est le produit de* F *par la distance* d *à cet axe de rotation.*

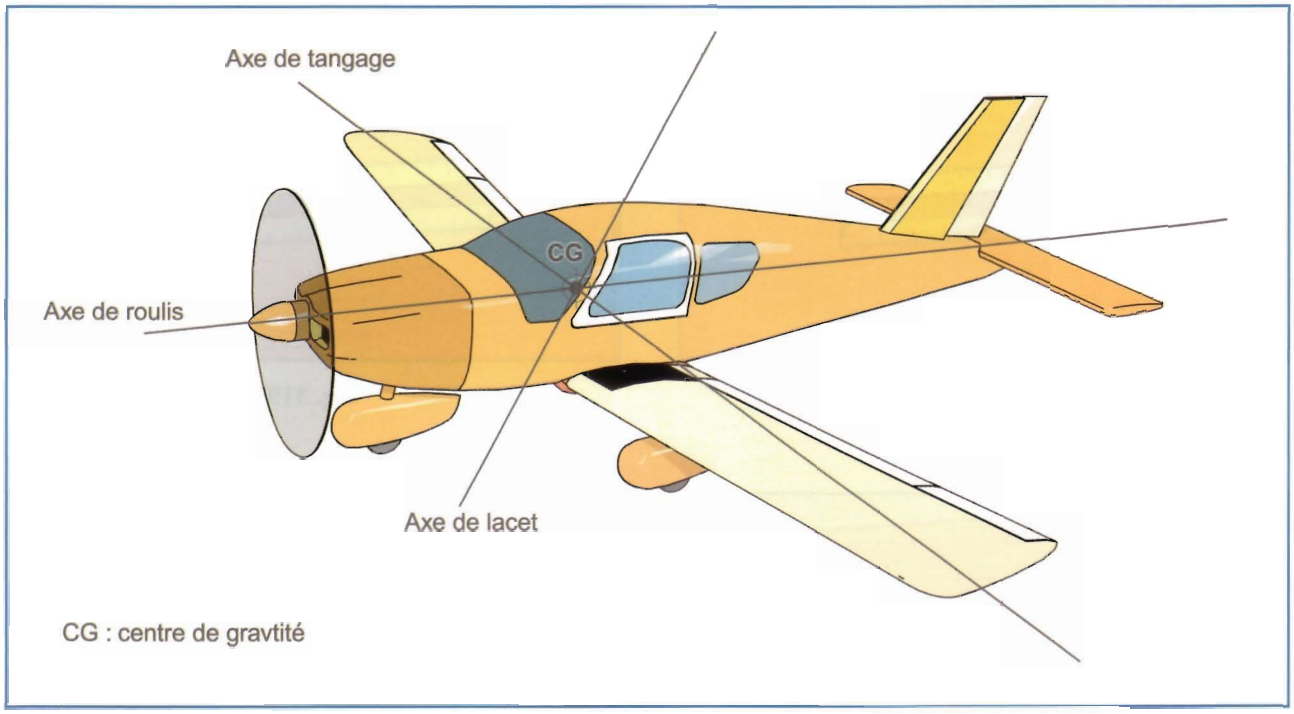


Fig. 323 – *Les trois axes de l'avion – roulis, tangage, lacet –, passent par le centre de gravité.*

Les gouvernes ont été représentées en grisé sur la figure 323. On constate qu'elles sont placées le plus loin possible du centre de gravité, pour que leur pouvoir de rotation, autrement dit leur « moment », soit le plus grand possible.

Cela est conforme à la règle que nous avons vu au paragraphe précédent : le moment d'une force est d'autant plus grand que la distance de cette force au centre de rotation est grande (c'est le principe du levier).

ÉQUILIBRE DE L'AVION

Lors d'un vol rectiligne en palier la portance équilibre exactement le poids et la traction équilibre exactement la traînée.

Une condition subsiste néanmoins pour que cette situation d'équilibre reste stable : la somme des moments de ces quatre forces par rapport à l'axe de tangage, qui passe par le centre de gravité de l'avion, doit être nulle. En effet, si cette somme n'était pas nulle, une rotation s'engagerait et l'avion pivoterait sur lui même (fig. 324).

La somme des moments est nulle lorsque les forces sont alignées deux à deux.

La portance doit donc être alignée avec le poids, et la traction doit être alignée avec la traînée. Nous en déduisons qu'une condition nécessaire au vol en palier est que **la résultante des forces de portances passe par le centre de gravité** (point d'application du poids). Nous verrons que cette condition est générale à tous les cas de vol.

Notons que pour la plupart des avions, la traction et la traînée ne sont pas exactement alignées, en raison des impératifs mécaniques de positionnement de l'élément propulseur (moteurs à pistons ou à turbine).

Sur les avions légers, la traction et la traînée sont faibles par rapport au poids et à la portance. en outre, leur bras de levier par rapport à l'axe de tangage sont faibles. En conséquence, leurs moments sont pratiquement négligeables par rapport à cet axe.

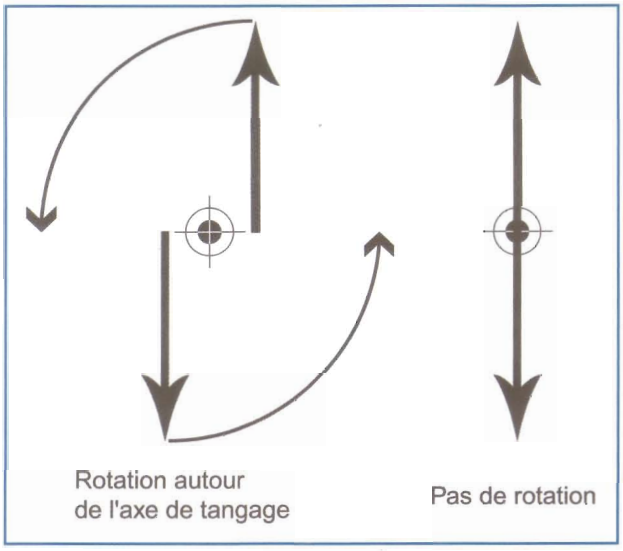


Fig. 324

STABILITÉ ET MANIABILITÉ DE L'AVION

Une fois résolu le problème de l'équilibre de l'avion se pose celui de sa stabilité. En effet, l'avion laissé à lui même quelques instants continue-t-il à voler normalement ?

Faites l'expérience suivante lorsque vous serez en vol stabilisé : lâchez les commandes. Vous constaterez que l'avion vole très bien. C'est signe qu'il est stable. Nous allons voir comment réaliser cette stabilité.

Que se passerait-il si cet équilibre n'était pas stable ?

L'avion serait soumis en permanence à des couples qui le feraient pivoter sur lui-même. Le pilote devrait donc, pour maintenir l'avion en ligne de vol, corriger sans cesse les variations de trajectoire, et ce d'autant plus vite que l'instabilité serait grande.

A partir d'un certain degré d'instabilité, la réaction du pilote ne serait plus assez vive pour contrer les écarts de l'avion. On imagine aisément le dénouement d'une telle situation.

Que se passerait-il à l'inverse si l'avion était trop stable ?

Plus l'avion a tendance à revenir rapidement à sa position d'équilibre, et à s'en écarter difficilement, et plus le pilote doit faire des efforts importants pour modifier la situation de son appareil, et la réaction de l'avion est en outre très lente. L'avion est stable mais il n'est plus maniable.

Pour qu'un avion soit stable mais reste maniable, on opère un réglage que nous allons étudier maintenant. Ce réglage agit sur la **maniabilité** de l'avion.

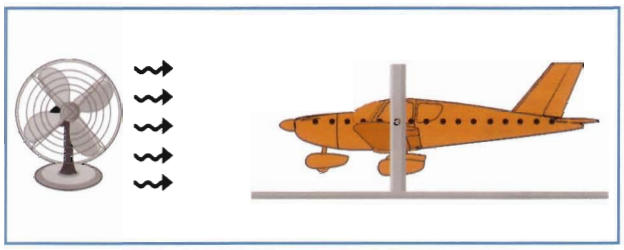


Fig. 325 – *Pour déterminer le foyer d'un avion, nous plaçons ce dispositif dans une soufflerie.*

Existence d'un point particulier : le foyer

C'est à partir du point de référence appelé « foyer » que dépend la stabilité d'un avion : la position du centre de gravité de l'avion par rapport au foyer détermine sa stabilité ou sa **maniabilité**.

Nous allons essayer, à l'aide d'une petite expérience, de comprendre ce qu'est le foyer.

Plaçons le dispositif suivant dans une soufflerie (fig. 325) et observons :

Il est constitué d'une maquette d'avion dont la masse est nulle, par hypothèse, (on imagine que la maquette est fabriquée dans un matériau extrêmement léger, de masse négligeable). On s'affranchit en effet du poids de l'avion pour qu'il ne perturbe pas l'expérience.

Le fuselage est perforé. Chaque trou permet le passage d'une tige de fer servant d'axe de rotation.

Mettons en route la soufflerie et effectuons différents essais. A chaque essai, la tige de fer est placé dans un trou différent.

Avant la mise en route de la soufflerie, la maquette est dans une position quelconque. Dans les deux premiers essais, nous constatons qu'après la mise en route, la maquette s'aligne dans l'axe de la veine d'air (fig. 326 et 327).

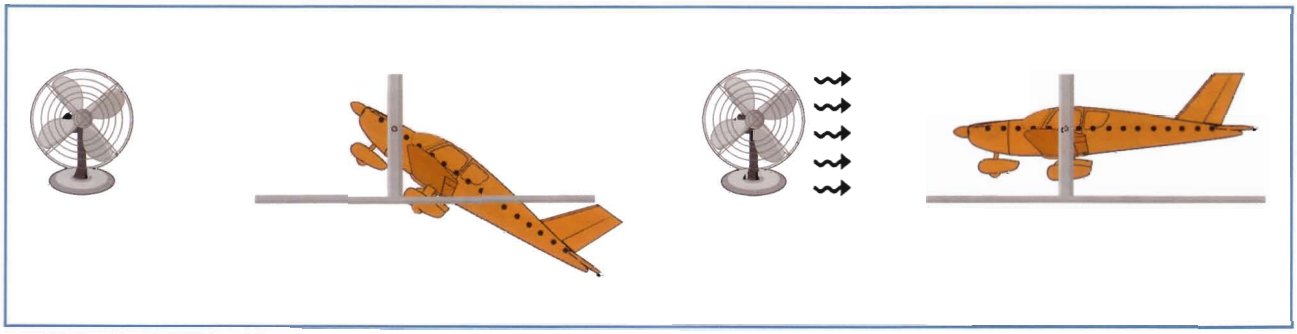


Fig. 326 – *Premier essai.*

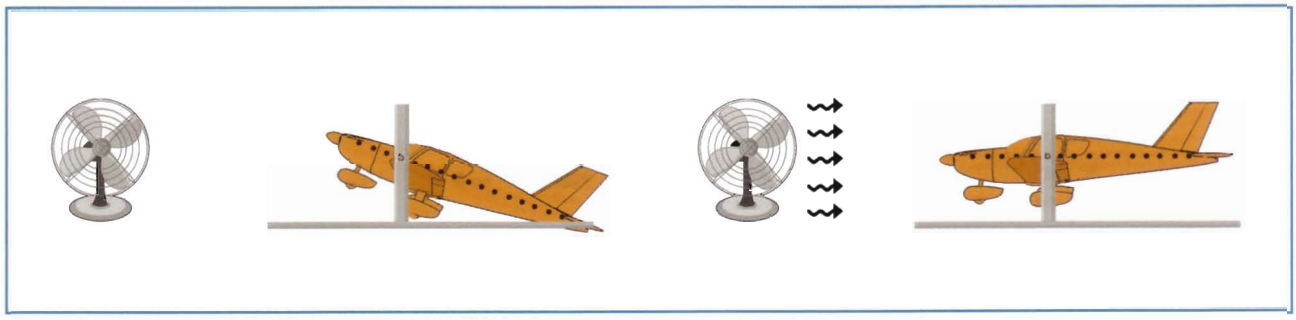


Fig. 327 – *Deuxième essai.*

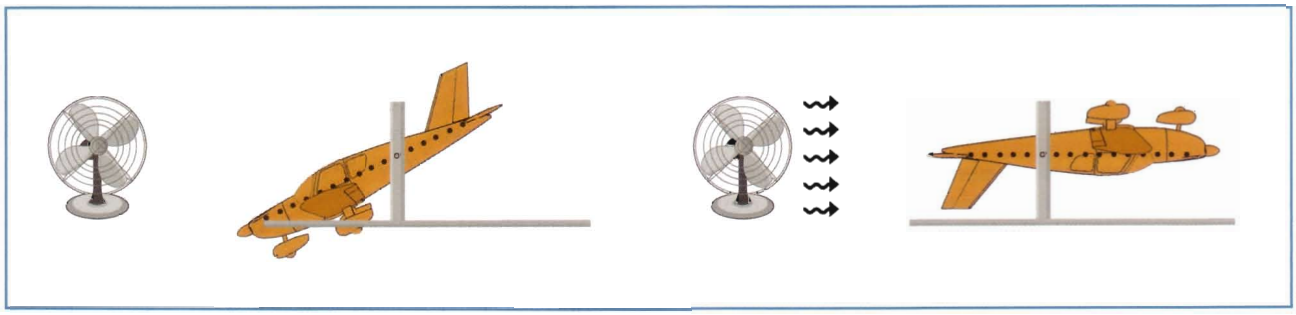


Fig. 328 – *Troisième essai : la maquette bascule.*

Poursuivons l'expérience en reculant l'axe de rotation matérialisé par la tige de fer. A partir d'une position de l'axe, la maquette bascule puis se stabilise en s'alignant dans le vent relatif, le nez vers l'arrière (fig. 328).

Remarquons qu'au cours de ce dernier essai, l'avion n'est plus du tout dans les limites de sa configuration de vol normal. C'est donc un essai qui ne représente aucune réalité pratique. Il n'a d'intérêt que pour l'illustration de l'existence d'un point au-delà duquel l'avion « bascule ».

En pratiquant de proche en proche, il est concevable de déterminer la position de ce point pour lequel, à la mise en route de la soufflerie, la maquette reste en équilibre indifférent.

On constate que, quelle que soit la position de l'avion avant la mise en route, dans la mesure où l'incidence est voisine des incidences de vol, cette position est conservée après mise en route de la soufflerie et l'avion ne s'aligne pas dans le lit du vent relatif. C'est ce point qui est appelé « foyer » de l'avion.

Quelles sont ses caractéristiques ?

Poursuivons l'expérience : si l'on impose à la maquette l'incidence ① (fig. 329) alors que la soufflerie est en fonctionnement, elle conserve cette incidence. De même, si l'on augmente l'incidence jusqu'à

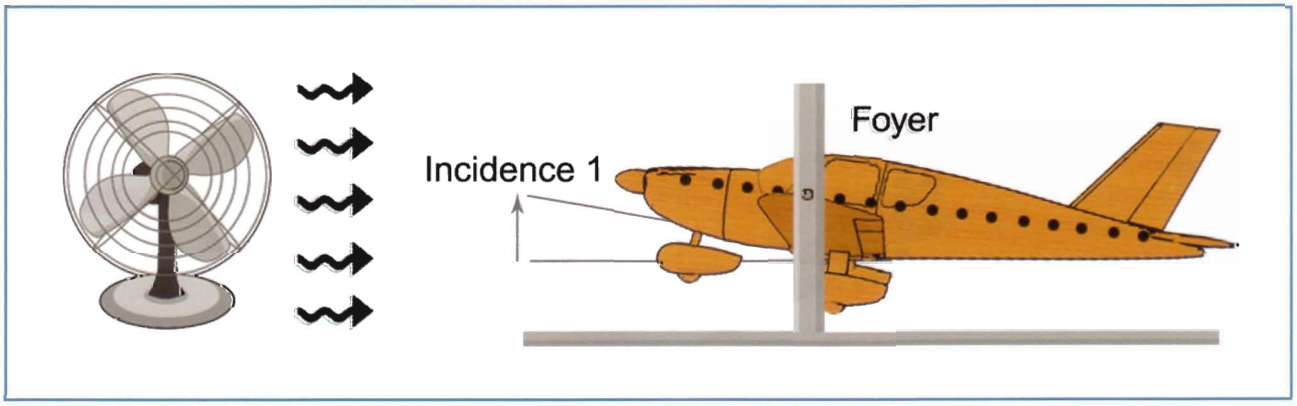


Fig. 329

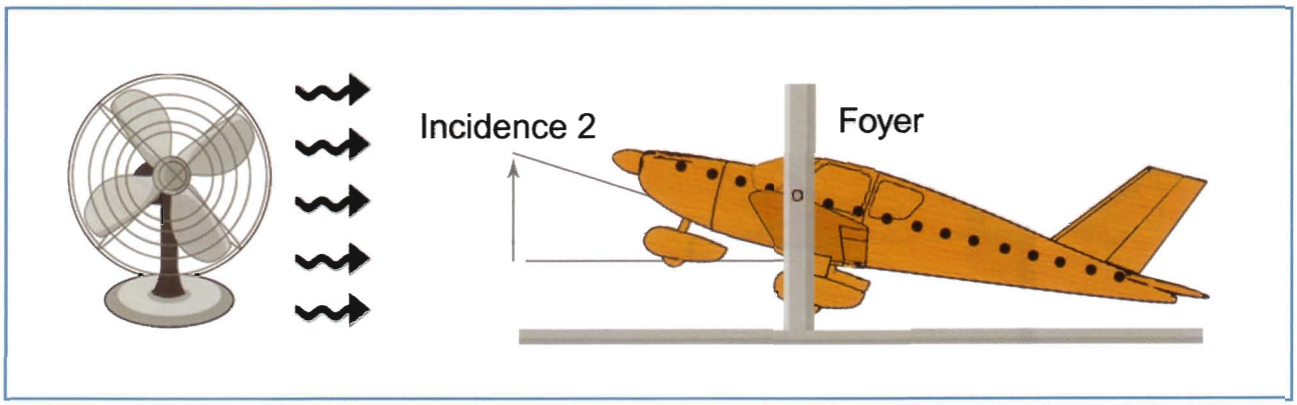


Fig. 330 – *Lorsque l'axe est placé au foyer, l'incidence ne varie pas à la mise en route de la soufflerie.*

l'incidence ② (fig. 330), elle conserve cette nouvelle incidence.

Or l'incidence ② est supérieure à l'incidence ① et la portance ② est supérieure à la portance ①.

Dans notre expérience, la variation d'incidence induit une variation de la portance, force qui ne modifie pas la position de la maquette. Cette force passe donc par l'axe supportant la maquette et l'on trouve ainsi, expérimentalement, la position du Foyer.

Notons que dans cette expérience, l'augmentation d'incidence n'est réaliste que dans les limites d'incidence de l'avion (jusqu'à l'incidence de portance max.).

Définition du foyer

Le foyer est le point d'application des **variations** de portance.

L'une des propriétés du foyer est que sa position est fixe, contrairement au point d'application de la portance qui varie en fonction du profil et de l'incidence de l'aile, et au centre de gravité qui dépend du centrage de l'avion.

Masse et centrage

Les opérations de « masse et de centrage » sont conduites avant le vol. Elles permettent de déterminer la masse de l'avion au départ et la position du centre de gravité de l'avion, éventuellement de les modifier pour qu'en vol, l'avion soit stable. Elles revêtent une importance capitale.

Référence utilisée pour le centrage

Le centrage consiste à déterminer la position du centre de gravité de l'avion, qui dépend du nombre d'occupants, de leur masse, de la position et de la masse des bagages éventuels, du carburant et des autres chargements divers.

Dans la pratique, le centre de gravité n'étant pas concrètement matérialisé, le constructeur choisit, pour chaque avion, un « plan de référence », par exemple la cloison pare-feu séparant le moteur de la cabine. On mesure la distance qui sépare le centre de gravité de l'avion du plan de référence. On a ainsi la position du centre de gravité par rapport à une référence connue.

Cette distance particulière qui sépare le centre de gravité du plan de référence est souvent appelée « bras de levier » dans les manuels de vol. Elle s'exprime en mètres, ou dans une unité de distance couramment utilisée dans le pays où l'avion est conçu.

Le centre de gravité est en avant du foyer

Envisageons le cas d'une augmentation subite d'incidence. Que se passe-t-il ?

Étape ①

L'incidence augmente (fig. 331).

Étape ②

L'augmentation d'incidence induit une augmentation de la portance. L'augmentation de portance apparaît, rappelons-le, au foyer F: une petite force, égale à l'augmentation de portance, apparaît en F.

Étape ③

La petite force appliquée en F crée un moment piqueur du fait des positions relatives du foyer et du centre de gravité.

Étape ④

Ce moment piqueur tend à diminuer l'angle d'incidence, ce qui a pour effet de diminuer la portance.

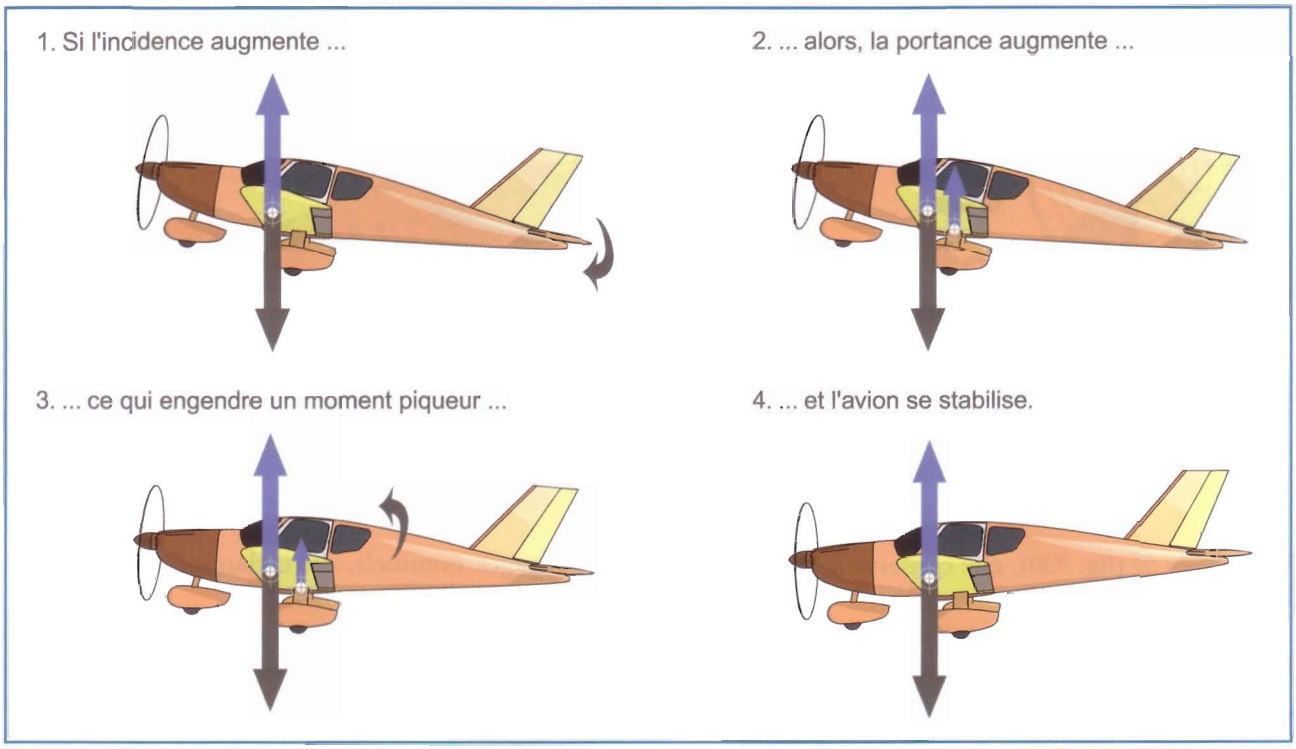


Fig. 331 – *Les quatre étapes de la stabilité longitudinale de l'avion.*

Elle revient à sa valeur initiale, la situation d'équilibre est rétablie.

Ainsi, à une augmentation d'incidence, l'avion répond naturellement par une action tendant à diminuer cet écart : l'avion est stable.

Un avion stable tend à garder naturellement son incidence d'origine.

Plus la distance séparant le centre de gravité du foyer sera grande, plus le moment créé par la force appliquée en F sera grand (souvenons-nous que le moment $M = F \times d$), et donc plus l'écart d'incidence sera rapidement résorbé.

L'avion aura tendance à reprendre plus rapidement son incidence d'origine : il sera d'autant moins maniable.

Notre première constatation est que l'avion est d'autant moins maniable que le centre de gravité se trouve loin en avant du foyer. Le manuel de vol donne en section 2 les moyens de vérifier que la distance entre le foyer et le centre de gravité de l'avion permet un pilotage confortable.

Les limites du centrage et la marge statique

Prêtons-nous à nouveau à une petite expérience : nous sommes en croisière dans notre avion à une incidence donnée. Déplaçons une lourde sacoche dans le sens longitudinal, des sièges arrière vers les sièges avant. Nous venons de déplacer le centre de gravité de notre appareil vers l'avant.

Notre avion a alors tendance à diminuer son incidence. Pour annuler ce mouvement, il nous faut créer un moment de façon à rétablir l'équilibre autour du nouveau centre de gravité.

Pour cela, il faut agir sur la gouverne de profondeur par une action à cabrer. On comprend qu'il ne soit pas possible d'avancer sans limite le centre de gravité de l'avion : la gouverne de profondeur compense le déséquilibre en étant de plus en plus braquée à cabrer jusqu'à la limite de son efficacité.

Le centrage a donc une limite avant.

La limite arrière du centrage est, nous l'avons vu, en avant du foyer. En effet, lorsque le CG se trouve au foyer, une petite sollicitation des gouvernes induit une réaction excessive de l'avion. On gardera une marge entre le foyer et la limite arrière de la plage de centrage pour que l'avion ne soit jamais trop maniable.

L'espace compris entre la limite avant et la limite arrière du centrage est appelée la « plage de centrage » (fig. 332).

D'un point de vue opérationnel, il faudra veiller avec soin à ce que le centre de gravité de votre avion se trouve bien dans la plage de centrage. Cette opération que l'on appelle « centrage de l'avion » est très simple : elle s'effectue grâce à un diagramme qui se trouve dans le manuel de vol de l'avion.

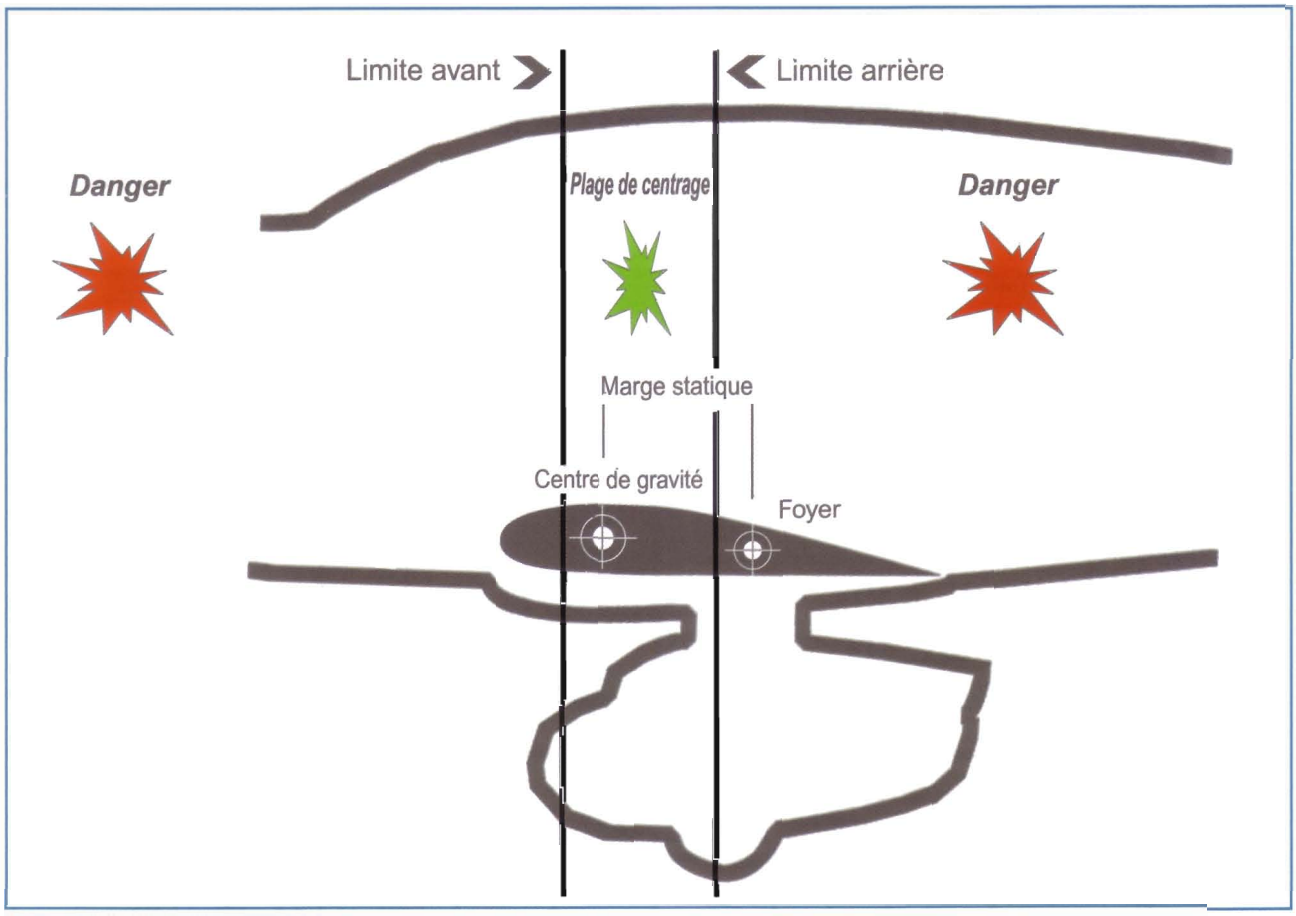


Fig. 332 – *Les limites avant et arrière de la position du centre de gravité : la plage de centrage.*

Plus la marge statique est grande, plus l'avion est stable : situation idéale pour un avion de voyage ; plus la marge statique est faible, plus l'avion est maniable : situation idéale pour un avion de voltige.

Un exemple de calcul de centrage est donné à la fin du paragraphe.

La marge statique caractérise la position du centre de gravité par rapport au foyer.

Exemple de calcul de masse et centrage

Avant chaque vol, le pilote commandant de bord doit se livrer à la préparation du vol. Celle-ci comprend le calcul de la masse de l'avion et la détermination de son centrage.

Ces deux calculs sont essentiels : ils déterminent si l'avion est, au vu du chargement, en mesure de voler.

Pour cela, le pilote dispose du manuel de vol de l'avion. Il y trouvera en section « Masse et centrage » une explication des étapes du calcul et les graphiques et tableaux nécessaires.

Chaque avion a un manuel de vol qui lui est propre. Ainsi, il existe un grand nombre de systèmes de calcul de masse et centrage. Nous allons voir ici la méthode utilisée pour le TB 9.

1re étape
Bilan des masses embarquées

Il s'agit de déterminer la masse de votre avion à partir de la masse sans chargement, appelée « masse à vide », qui comprend tous les équipements fixes et l'huile du moteur, à laquelle on ajoute la masse de toutes les charges que vous allez embarquer, c'est-à-dire :

- la masse des occupants ;
- la masse du carburant (pour connaître la masse du carburant en kg, il suffit de multiplier le volume embarqué exprimé en litres, par 0,72) ;
- les bagages.

Masse à vide

La masse à vide de votre avion figure sur la « **fiche de pesée** » (fig. 333). Ce document, rendu obligatoire par arrêté, se trouve dans les documents de bord de l'avion.

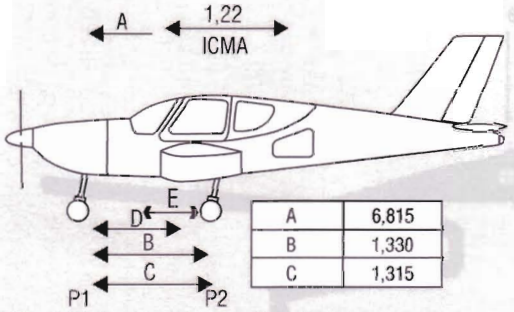
Comparez-la avec la fiche de pesée de votre avion (elle se trouve dans les documents de bord)

SOCATA
Groupe Aerospatiale
FRANCE

REGISTRE INDIVIDUEL DE CONTROLE
INDIVIDUAL INSPECTION RECORD
PROCES VERBAL DE PESEE ET DE CENTRAGE
WEIGHT AND BALANCE REPORT

AVION TYPE TB TB9
NUMERO de SERIE
serial number
F:6

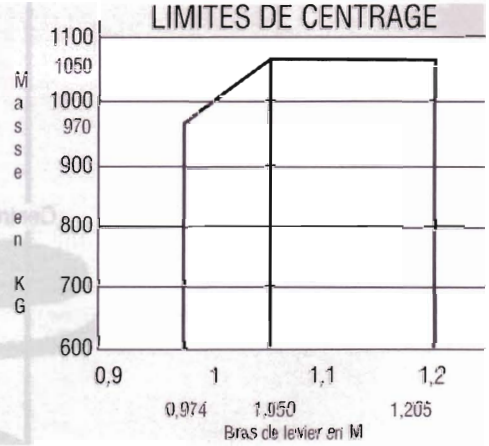
Mise de niveau : "pas de porte"
Référence face avant cloison pare feu



A	6,815
B	1,330
C	1,315

P1: point de levage avant
P2 : point de levage C et D

LIMITES DE CENTRAGE



PESEE EFECTUEE SUR POINTS DE LEVAGE
avion peint , avec huile moteur

	masse lue (kg)	tare (kg)	masse nette (kg)	
Point gauche	255	0	255	
Point droit	265	0	265	
Point avant	179	0	179	) = P1
MASSE P (kg)			699	

DISTANCE DU C.G. A LA REFERENCE

d(m) = B-(C*P1)/P

1,330 - (1,316 * 179) / 699 =

= **0.993**

CORRECTIONS

	masse (kg)	bras de levier (m)	moment
Masse P	699.00	d=0.993	694.107
Peinture	0.00	0.000	0.00
Huile moteur	0.00	0.000	0.00
Essence non consommable	4.30	1.075	4.62
MASSE A VIDE	703.30	0.993	698.727
		= D	

CENTRAGE A VIDE
(en % de la CMA)

((D-A)*100)/ 1.22

(100 * 0.178) / 1.22 =

= **14.6 %**

EXEMPLES DE CHARGEMENT

	Centrage avant			Centrage arriere		
	masse (kg)	bras de levier (m)	moment	masse (kg)	bras de levier (m)	moment
Masse a vide	703.30	0.993	698.727	703.30	0.993	698.727
Essence	-----	1.075	-----	18.00	1.075	19.350
Pilote.Passager avant	77.00	1.155	88.935	154.00	1.155	177.870
Passagers arriere	-----	2.035	-----	154.00	2.035	313.390
Bagages (65 kg maxi)	-----	2.600	-----	22.2004	2.600	57.721
RESULTATS	780.30	1.009	787.662	1051.50	1.205	1267.058

date et visa controle

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 333

Dans notre exemple, cette masse vaut : 703,30 kg. Vous la portez dans le tableau qui se trouve dans le manuel de vol (fig. 334).

Masse des occupants (pilote et passagers)

Note

Pour les avions transportant au plus neuf passagers, c'est la masse individuelle de chaque occupant qui doit être utilisée pour les opérations de masse et de centrage. Chaque masse doit être déterminée au kilogramme près, dans toute la mesure du possible.

On procède par rangée de sièges : on comptabilise d'abord les occupants avant, puis les occupants arrière.

A l'avant, le passager qui se trouve à côté de vous, et vous-même (le pilote), totalisez une masse réelle que vous indiquez dans le tableau (fig. 334) de, par exemple :

145 kg

Les deux passagers qui se trouvent à l'arrière totalisent, eux, par exemple :

87 kg

Masse du carburant

Vous embarquez ce jour-là 121 litres de carburant. Ce volume correspond à une masse de :

$$121 \times 0{,}72 = 87 \text{ kg}$$

Masse des bagages

Les bagages montés à bord pèsent au total :

8 kg

Vous connaissez à présent votre masse au départ :

1 030 kg

SECTION 6
MASSE ET CENTRAGE

SOCATA
MODELE TB 9

	EXEMPLE			VOTRE AVION			Rep sur abaque Figure 6.6
	Masse kg	Bras de levier m	Moment m.kg	Masse kg	Bras de levier m	Moment m.kg	
Masse à vide standard	647	0,958	619,8	703,3	0,993	698,7	
Options	5	0,450	2,2	0			
Masse à vide de base	652		622	703,3			A(1)
Pilote + passager AV	154	1,155	178	145	1,155	167,5	A(2)
Passagers AR	129	2,035	262,5	87	2,035	177	B(1)
Carburant (121 l)	87	1,075	93,5	87	1,075	93,5	B(2)
Bagages	8	2,600	20,8	8	2,6	20,8	
MASSE TOTALE ET MOMENT	1030		1176,8	1030		1158	M

Figure 6.3 - EXEMPLE DE CHARGEMENT

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 334 – *Le tableau que l'on trouve dans le manuel de vol permet de dresser le bilan des forces et des moments.*

Appliquez cet exemple à votre manuel de vol

Cette valeur va vous servir pour la vérification du centrage de notre avion. Elle sera aussi prise en compte dans la détermination des performances, qui fait aussi partie de la préparation du vol, et que nous étudierons dans un chapitre suivant.

2e étape – Bilan des moments

Note

On entend ici par le terme « moment » le « moment massique », c'est-à-dire la multiplication d'une distance par une masse (exprimé en m.kg), et non la multiplication d'une distance par une force (exprimé en N.m), qui est l'expression du moment dans le système international d'unités. Ces deux grandeurs sont néanmoins égales à l'accélération de la pesanteur près (≅ 9,81 m.s⁻²).

Nous allons dresser ici le bilan des moments des masses que nous avons comptabilisées précédemment. En effet, c'est en ayant l'ensemble des valeurs des masses et de leurs moments respectifs que nous pourrons vérifier que le centre de gravité de notre avion est bien dans la plage de centrage.

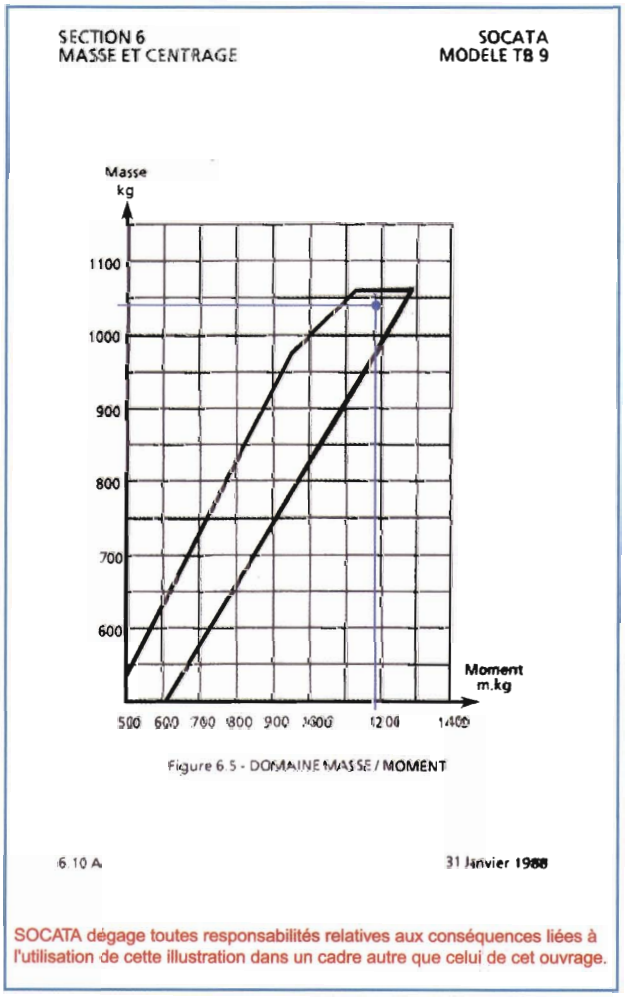


Fig. 335 – *Un exemple de visualisation du domaine de centrage : le centrage est correct.*

Appliquez cet exemple à votre manuel de vol

La position du centre de gravité de chaque charge embarquée, ainsi que de l'avion à vide, est donnée par la distance au plan de référence, choisi et fixé par le constructeur, que l'on appelle « bras de levier ». En multipliant ce bras de levier par la masse, on obtient le « moment » de cette charge par rapport au plan de référence.

Notons que les distances entre les centres de gravité des différentes charges et le plan de référence sont mesurées dans des plans longitudinaux passant par le centre de gravité de ces charges. Ces plans, parallèles au plan de symétrie de l'avion, sont perpendiculaires au plan de référence. On est donc ramené à mesurer une distance entre un point, le centre de gravité de la charge, et un axe, l'intersection du plan de référence et du plan longitudinal passant par le centre de gravité de la charge. C'est bien le cas que nous avons étudié en « Rappels de physique élémentaire », page 246.

On dresse le bilan des moments :

- de la charge des occupants ;
- de la charge du carburant ;
- des bagages.

Moment de l'avion à vide

Le bras de levier correspondant est lu dans la fiche de pesée. Il vaut ici 0,993 m. Le moment de l'avion à vide est donc de :

$$703{,}30 \times 0{,}993 = 698{,}4 \text{ m.kg}$$

Moment des occupants

Les bras de levier correspondant figurent déjà dans le tableau (fig. 334). Il suffit d'y faire les multiplications des masses par les bras de levier :

$$AV : 145 \times 1{,}155 = 167{,}5 \text{ m.kg}$$

$$AR : 87 \times 2{,}035 = 177 \text{ m.kg}$$

Moment du carburant et des bagages

De même que ci-dessus, on effectue la multiplication de la masse du carburant et des bagages par leur bras de levier respectif, qui figurent déjà dans le tableau :

$$87 \times 1{,}075 = 93{,}5 \text{ m.kg}$$

$$8 \times 2{,}6 = 20{,}8 \text{ m.kg}$$

Nous pouvons à présent, comme pour les masses, déterminer le moment total de notre avion :

1 158 m.kg

(arrondir à 0 décimale)

3e étape – Vérification du centrage

Dans cette étape, nous allons déterminer si le centre de gravité de notre avion, avec l'ensemble des charges du jour, se trouve bien dans la plage de centrage.

Cette plage de centrage est « modélisée » par le domaine masse/moment du graphique représenté en figure 335. Le centrage de l'avion est correct si le point correspondant à la **masse totale** et au **moment total** se trouve à l'intérieur du domaine.

Nous avons trouvé les valeurs suivantes :

*Masse totale : **1 030 kg***

*Moment total : **1 158 m.kg***

En reportant ces deux valeurs sur le graphique, on constate que le point correspondant, que nous avons noté *M* ici, est bien dans le domaine. Le centre de gravité de l'avion chargé est donc bien dans la plage de centrage. LE CENTRAGE EST CORRECT.

En cas de centrage incorrect

Qu'aurait-il fallu faire si le point M était à l'extérieur du domaine masse/moment ?

Le centre de gravité est hors des limites requises. IL NE FAUT PAS DÉCOLLER. Il s'agit alors de déterminer quelle est, ou quelles sont, la ou les charges qui sont trop importantes, ou mal placées.

Pour cela, on reconsidère la répartition des charges et/ou la masse de ces charges. La décision pourra être de déplacer les passagers, d'emporter moins ou pas de bagages, d'effectuer une escale de ravitaillement pour diminuer la quantité d'essence embarquée.

Quelles que soient les solutions retenues, vous serez très certainement amené à étudier de nouveau votre vol de façon détaillée.

Par exemple si vous décidez de faire une escale de ravitaillement il vous faudra déterminer de nouveaux caps, temps de vols altitudes de vol, aides à la navigation etc.

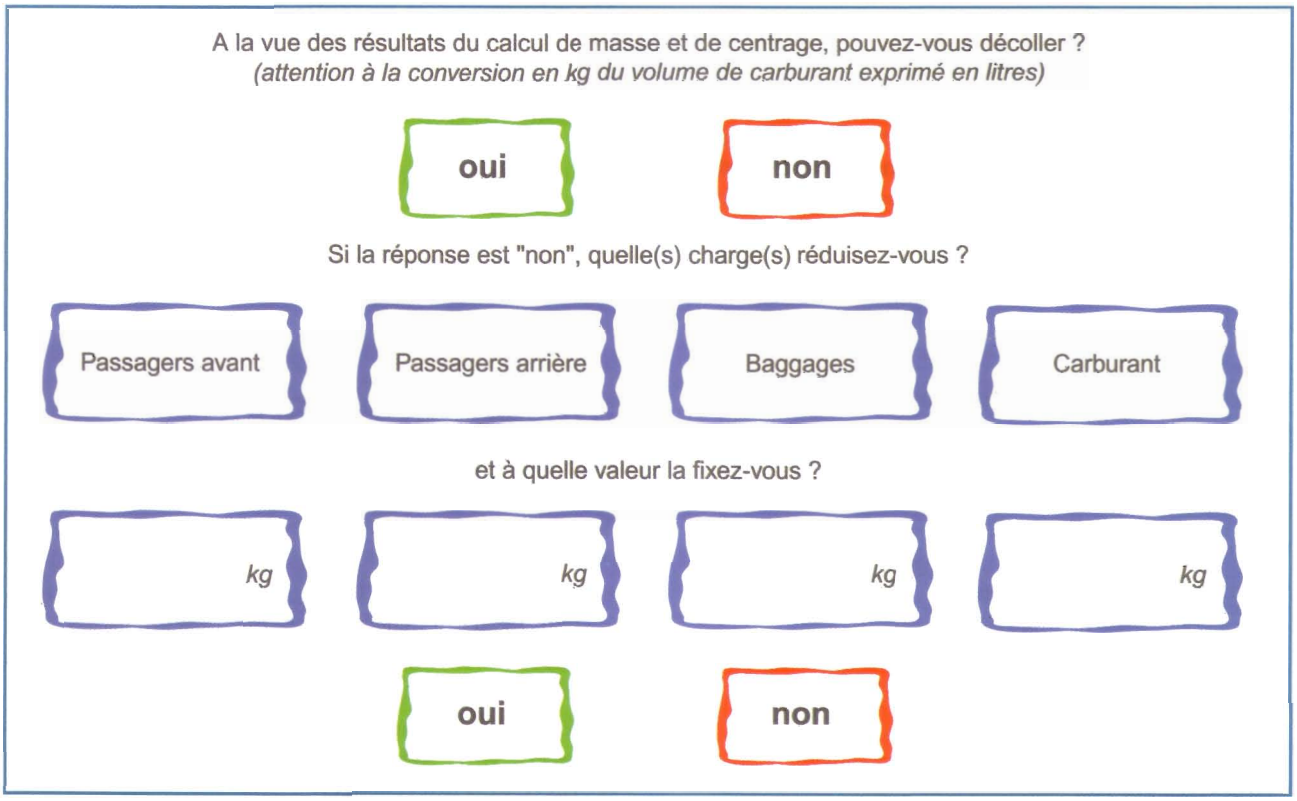
Les « paramètres » que vous pouvez modifier pour effectuer un centrage correct de l'avion :

- Occupants avant et arrière : répartition sur sièges avant/arrière en fonction de leur masse et/ou nombre
- Carburant : répartition et/ou quantité
- Bagages : répartition et/ou quantité

Exercez-vous avec les données suivantes

- Masse à vide et bras de levier standard.
- Masse et bras de levier des options.
- Masse pilote.
- Masse passager avant.
- Masse des deux passagers arrière.
- Volume de carburant.
- Masse des bagages (placés en soute).

Retenons pour finir qu'un centrage plutôt arrière apporte certains avantages : la gouverne de profondeur ayant un effet moins « déporteur », l'avion consomme moins et la vitesse peut être plus élevée. En outre, le pilotage est plus agréable car les efforts aux commandes sont moins importants (avion plus maniable).



LE MANUEL DE VOL SON UTILISATION PRATIQUE

DESCRIPTION

Pour chaque avion est établi un recueil de caractéristiques et utilisations qui lui sont propres c'est le **manuel de vol**.

Ce document, approuvé par la Direction Générale de l'Aviation Civile, doit être en permanence à bord pour permettre au pilote de s'y référer en cas de besoin.

Il est indispensable que vous ayez une bonne connaissance du manuel de vol de l'avion que vous utilisez.

Généralement, vous trouverez les rubriques suivantes (l'ordre et l'intitulé sont donnés à titre indicatif et vous trouverez souvent un agencement et des appellations différents) :

Section 1 – Description de l'avion

Vous trouvez dans ce chapitre tout ce qui se rapporte aux dimensions de l'avion, une description du poste de pilotage, le circuit d'essence, le circuit d'allumage, les circuits électriques ainsi que le fonctionnement de tous les accessoires.

Section 2 – Limitations

Ce chapitre comporte toutes les limites d'utilisation : vitesses limites, facteur de charge, masse maximale, limites de centrage, vol en conditions givrantes, manœuvres acrobatiques autorisées, limites de fonctionnement moteur températures et pressions).

Vous trouvez également dans ce chapitre une reproduction de toutes les plaquettes devant figurer dans la cabine.

Section 3 – Procédures d'urgence

Vous trouvez dans ce chapitre la conduite à tenir dans les cas suivants :

- Panne moteur,
- Incendie,
- Panne du circuit électrique,
- Vol en conditions givrantes,
- Positions inusuelles,
- Pannes de train,
- Atterrissage forcé,
- Amerrissage, etc.

Section 4 – Procédures normales

Vous trouvez dans ce chapitre tout ce qui se rapporte à l'utilisation normale de votre avion :

- Visite prévol et check-lists complètes ;
- Exemple de devis de poids ;
- Vitesses recommandées et paramètres moteur ;
- Utilisations particulières (remise de gaz, atterrissage vent de travers.

Section 5 – Performances

- Vitesse de décrochage ;
- Tableaux de performances :
  - distance de décollage,
  - performances en montée, en croisière et à l'atterrissage,
  - consommation,
  - distance franchissable et autonomie,
- Limitation vent de travers ;
- Utilisation par temps chaud ou froid.

Section 6 Maintenance et entretien courant

Section 7 Utilisation des équipements optionnels

La liste que nous venons d'établir n'est pas limitative. Néanmoins toutes les rubriques que nous avons mentionnées doivent figurer dans votre manuel de vol. Vous devez avoir une bonne connaissance de ce manuel. **Votre sécurité en dépend**.

UTILISATION PRATIQUE DU MANUEL DE VOL

Avant d'entreprendre tout vol, vous devez obligatoirement vérifier :

- que vous respectez les limites de masse et de centrage de votre avion *(voir paragraphe précédent)*,
- que les performances de l'avion utilisé sont compatibles avec les aérodromes utilisés.

Nous allons donc traiter des performances et limitations de votre avion lors des phases de décollage, de croisière et d'atterrissage.

Performances et limitations au décollage

Les paramètres influant sur les performances au décollage

La météo, l'état de votre avion et de la piste influent sur les performances de l'avion au décollage.

Pour répondre à la question fondamentale suivante : « est-ce que je peux décoller ? », nous allons quantifier avec précision les paramètres dont vous devrez tenir compte avant chaque décollage. Ils sont de quatre ordres :

- la température et l'altitude-pression *(définie dans le chapitre « Altimétrie – Les calages altimétriques – Le calage 1013,25 hPa »)*, qui sont toutes deux représentatives de la densité de l'air ;
- les « paramètres avion » : la masse au décollage, le braquage des volets ;
- la pente et l'état de la piste ;
- la force et l'orientation du vent.

Les tableaux suivants font la synthèse des variations de performance de l'avion en fonction de ces quatre paramètres.

DENSITÉ DE L'AIR	
TEMPÉRATURE	Lorsque la température augmente, la densité de l'air diminue : le moteur dispose de moins d'oxygène pour la combustion du carburant. Sa puissance diminue donc.
ALTITUDE-PRESSION	Lorsque l'altitude-pression augmente, la densité de l'air diminue. Le moteur fournit donc moins de puissance (voir ci-dessus). Il est donc très important de tenir compte de l'altitude de l'aérodrome de départ. Un ordre de grandeur de l'augmentation de la distance de décollage est de 15 % par tranche de 1 000 ft. Dans TOUS LES CAS, consultez le manuel de vol de l'avion.

Dans la section « Performances » du manuel de vol, vous trouverez un tableau ou un abaque qui illustre ces notions. Voici à titre d'exemple un des tableaux extrait du manuel de vol qui donne les performances au décollage du TB9 :

SOCATA
MODELE TB 9

SECTION 5
PERFORMANCES

PERFORMANCES DE DECOLLAGE

CONDITIONS : Vi : Décollage : 111 km/h - 60 kt
Passage 15 m : 115 km/h - 62 kt
Masse : 850 kg

Température	Distance	Altitude pression (ft)				
		0	2000	4000	6000	8000
- 20°C (- 4°F)	Longueur de roulement (m)	175	215	260	320	375
	Passage des 15 mètres	275	335	410	510	640
0°C (+ 32°F)	Longueur de roulement (m)	210	245	305	360	430
	Passage des 15 mètres	325	380	475	590	770
+ 15°C (+ 59°F)	Longueur de roulement (m)	245	290	330	390	475
	Passage des 15 mètres	365	435	525	665	895
+ 30°C (+ 86°F)	Longueur de roulement (m)	265	305	365	430	520
	Passage des 15 mètres	400	470	590	760	1040
+ 40°C (+ 104°F)	Longueur de roulement (m)	290	340	390	460	575
	Passage des 15 mètres	435	515	635	820	1295

Figure 5.6 - PERFORMANCES DE DECOLLAGE (850 kg)

30 Septembre 1989 5.9

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 336 – *Performance au décollage d'un TB9.*

Recherchez ces informations dans votre manuel de vol

Remarquez l'influence de la température et de l'altitude-pression : comparez les longueurs de roulement au décollage par – 20 °C et à 0 ft, et par + 40 °C à 4 000 ft. L'une est un peu plus du double de l'autre !

Il est à noter que les performances tirées du manuel de vol ont été optimisées : avion et moteur neufs, bien réglés avec un pilote d'essai. L'usure de l'hélice, la vétusté de la cellule, le moteur dont la puissance maximale faiblit avec le temps sont des facteurs qui dégradent ces performances. Il conviendra donc d'appliquer une majoration aux valeurs déduites du manuel de vol. L'expérience montre qu'une majoration de 30 % paraît être une valeur raisonnable *(voir pages 261 à 265)*.

On trouvera dans le manuel de vol un tableau comme celui indiqué en figures 336 ou 338 pour différentes températures et différentes pressions en fonction de la masse.

Note

Bien souvent, un seul braquage des volets est recommandé lors du décollage.

AVION	
MASSE	Lorsque l'avion est plus lourd (essence, passagers, bagages), la vitesse de décollage est plus élevée et le temps et la longueur d'accélération plus importants, ce qui augmente la distance de décollage.
VOLET	L'influence du braquage des volets est variable : il diminue la vitesse minimale de sustentation sans augmenter de manière conséquente la traînée. La vitesse de décollage étant plus faible, la distance de décollage l'est aussi. Mais il induit aussi une diminution de la pente de montée, et donc pénalise les marges de franchissement d'obstacles. Aucune conclusion n'est par conséquent possible *a priori*. Il convient de consulter le manuel de vol.

PISTE	
PENTE	Dans le manuel de vol, les distances de décollage sont données sur terrain plat. La pente de la piste a une très forte influence sur l'accélération au décollage, donc sur la distance de décollage.
États DE SURFACE	L'état de surface des pistes peut être variable (piste dure ou en herbe, sèche ou mouillée, herbe rase ou haute, sol dur ou mou), ce qui modifie l'accélération de l'avion et influe sur la distance de décollage. Consultez le manuel de vol de votre avion.

VENT	
COMPOSANTE DE FACE	Le vent de face pendant la phase d'accélération au décollage augmente le vent relatif. La vitesse de décollage est donc atteinte plus rapidement et la distance de décollage s'en voit diminuée. Un ordre de grandeur de la diminution de la distance de décollage est d'environ 20 % par 5 kt de vent effectif. Vous trouverez dans le manuel de vol de l'avion les éléments de calcul nécessaires.
COMPOSANTE ARRIÈRE	Inversement, le vent arrière augmente la distance de décollage.
COMPOSANTE DE TRAVERS	Il existe une limitation vent de travers « démontrée » au décollage (et atterrissage), elle est variable selon les avions.

La prise en compte de l'état de la piste et de la composante arrière du vent s'effectue à l'aide de pourcentages indiqués dans le manuel de vol. Il suffit d'appliquer aux performances et limitations trouvées (longueur de piste, pente de montée, etc.) les coefficients correcteurs indiqués. Pour le TB9, on majorera par exemple la distance de roulage au décollage de 7 % si l'on décolle sur une piste en gazon dur (fig. 337).

La limitation vent de travers est fixée pour chaque avion (25 kt pour le TB9). Elle se trouve dans le manuel de vol.

La comparaison des performances de l'appareil et des limitations au décollage

Cette comparaison répond à une question de bon sens :

1re question : la piste est-elle assez longue pour pouvoir décoller ?

Il suffit pour cela que la longueur de piste soit supérieure à la distance de décollage de votre avion dans les conditions du jour. Vous comparerez donc :

- la longueur de piste disponible, information que vous trouverez sur les cartes d'aérodrome, éventuellement corrigée des indications données par les **NOTAM** (« **NO**tice **T**o **A**ir **M**en ») ;
- la distance de décollage, que vous déterminerez à l'aide du manuel de vol (voir exemple ci-après).

Exemple de calcul des performances et limitations au décollage

Nous envisageons de décoller avec un TB 9 du terrain de CHÂTEAU THIERRY-Belleau, dans l'Ain, dont la carte d'aérodrome est représentée en figure 339. La

température extérieure est de 15 ° C, la masse de l'avion est de 1 060 kg, le vent est du 360 °/5 kt.

Nous disposons du tableau de performances au décollage situé en section 5 « Performances » du manuel de vol, représenté en figure 338. Comment l'utiliser ?

SOCATA MODELE TB 9 — SECTION 5 PERFORMANCES

AVERTISSEMENT

Les mesures ont été effectuées par vent nul, sur piste sèche et goudronnée.

Les résultats sont présentés en fonction de l'altitude (en pieds) et de la température à l'altitude considérée.

Les distances de roulage au décollage seront majorées de :
7 % sur gazon dur
10 % sur herbe courte
27 % sur herbe haute
29 % sur herbe courte et humide et sur terrain ferme
plus de 29 % sur terrain mou, boue ou neige.

Les distances de roulage sur herbe courte et humide, sur terrain ferme doivent être augmentées de 25 % au décollage (passage des 15 mètres) et de 30 % à l'atterrissage. L'effet de roulage au sol est évalué ci-dessus.

Influence du vent : Vent de face : Réduire la distance de 20 % pour 5 kt de vent de face.
Vent arrière : Augmenter la distance de 15 % pour 2,5 kt de vent arrière.

PERFORMANCES DE DECOLLAGE

Volets décollage

Les longueurs de roulement correspondent à des essais effectués (à TARBES-OSSUN) sur piste goudronnée.

30 Septembre 1988 — 5.7

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 337 – *Corrections relatives à l'état de la piste, et limitations dues au vent.*

Recherchez ces informations dans votre manuel de vol

On se place d'abord dans la colonne « température » ❶, sur la ligne « 15 ° C ».

Dans la colonne suivante, « Distance » ❷, vous voyez la distance qui nous intéresse : le « Passage des 15 mètres » ❸, correspondant à notre « distance de décollage ».

Pour déterminer cette valeur, il suffit de sélectionner la colonne notée « Altitude pression » ❹ correspondant à l'altitude pression du terrain.

Sur la carte, nous voyons que l'altitude du terrain est de 728 pieds (a). On convertit cette altitude en altitude-pression. Supposons qu'ici, l'altitude-pression est égale à l'altitude, soit 728 pieds.

SECTION 5 PERFORMANCES — SOCATA MODELE TB 9

PERFORMANCES DE DECOLLAGE

CONDITIONS : Vi : Décollage . 120 km/h - 65 kt
Passage 15 m : 120 km/h - 65 kt
Masse : 1060 kg

❶ Température	❷ Distance	❹ Altitude pression (ft) 0	2000	4000	6000	8000
- 20°C (- 4°F)	Longueur de roulement (m)	245	305	365	440	525
	Passage des 15 mètres	390	485	580	715	895
0°C (+ 32°F)	Longueur de roulement (m)	305	350	425	510	620
	Passage des 15 mètres	470	530	670	835	1075
+ 15°C (+ 59°F)	Longueur de roulement (m)	340	395	470	570	690
	Passage des 15 mètres ❸	520	610	750	945	1240
+ 30°C (+ 86°F)	Longueur de roulement (m)	380	435	520	625	765
	Passage des 15 mètres	575	680	840	1070	1435
+ 40°C (+ 104°F)	Longueur de roulement (m)	400	485	560	675	770
	Passage des 15 mètres	615	750	905	1155	1710

Figure 5.5 - PERFORMANCES DE DECOLLAGE (1060 kg)

5.8 — 30 Septembre 1989

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 338 – *Performances au décollage d'un TB9.*

Recherchez ces informations dans votre manuel de vol

Note

Pour connaître l'altitude-pression en un lieu donné, il suffit de caler l'altimètre à 1 013,25 hPa. L'indication lue sur l'altimètre est l'altitude-pression.

Il est aussi possible de déterminer l'altitude-pression par le calcul, en connaissant le QNH et l'altitude du lieu (par exemple l'altitude du terrain). Cette méthode de calcul est étudiée en détail dans le chapitre « Altimétrie – Les calages altimétriques – Le calage 1 013,25 hPa ».

Détermination de la distance de décollage

(ou distance de franchissement des 15 mètres)

On pratique par interpolation entre 0 et 2 000 pieds :

610 – 520 = 90 mètres

90 / 3 = 30 mètres

520 + 30 = 550 mètres

ATTERRISSAGE A VUE
Visual landing

Usage restreint
Restricted use
02 SEP 04

CHATEAU THIERRY BELLEAU
AD2 LFFH ATT 01

	ALT AD : 728 (26 hPa)	**LFFH**
	LAT : 49 04 02 N	Non WGS-84
	LONG : 003 21 25 E	VAR : 1°W (00)

APP : NIL
TWR : NIL
A/A : 120.375 (commune avec / *common with* SOISSONS).

RWY	QFU	Dimensions *Dimension*	Nature *Surface*	Résistance *Strength*	TODA	ASDA	LDA
04 22	036 216	930 x 50 m	Non revêtue *Unpaved*	-	930 930	930 930	780 780

Aides lumineuses : NIL — ***Lighting aids*** : *LIL*

SERVICE DE L'INFORMATION AERONAUTIQUE

AMDT 10/04 **CHG** : Normalisation, ASI.

© SIA

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E I I/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 339 – *Carte d'atterrissage à vue du terrain de Château Thierry-Belleau.*

Il nous reste à prendre en compte l'état de la piste et le vent. Pour cela, on utilise la page du manuel de vol reproduite en figure 337.

Supposons que le revêtement de la piste soit de l'herbe courte. On doit alors majorer les deux distances trouvées de 10 %.

Nous décollerons face au vent. Il est donc de face ; pour 5 kt, nous réduirons les distances de 20 %, soit au total :

$$20\ \% - 10\ \% = 10\ \%$$

Distance de décollage :

$$550 - 10\ \% = 550 - 55 = 495,$$

Ce qui donne 644 mètres compte tenu de la majoration de 30% préconisée *(cf. page 261)* qu'on arrondit à 650 mètres.

On arrondit la valeur finale au multiple de 10 supérieur, cette correction allant dans le sens de la sécurité.

Pour terminer, on compare la distance de décollage à la longueur de la TODA (distance utilisable au décollage), relevée sur la carte d'aérodrome : 930 mètres.

Nous disposons d'une marge de :

$$930 - 650 = 280 \text{ mètres,}$$

ce qui est satisfaisant.

Il nous est possible de répondre « Oui » à la question « le décollage est-il possible ? ».

La marge est ici confortable mais, attention il ne sera pas toujours ainsi, il vous faut systématiquement vérifier vos performances dans les conditions du jour. Par ailleurs, il y a lieu de ne pas se satisfaire d'une TODA juste dans les normes ; en effet elle risque de ne pas se révéler suffisante pour étaler les imprécisions :

- de pression atmosphérique ;
- de température ;
- de la masse au décollage de l'avion ;
- de l'état de la piste ;
- de la vitesse et de la direction instantanée du vent ;
- de la « forme » du pilote (facteurs humains) ;
- de la vétusté de l'avion (cellule et moteur).

Performances et limitations en croisière

Il s'agit de déterminer les paramètres suivants.

Avion à hélice à calage fixe

- le régime moteur (nombre de tours/minute) ;
- la vitesse propre, c'est-à-dire la vitesse du vent relatif ;
- l'autonomie en carburant ;
- la distance franchissable.

Avion à hélice à calage variable

- la pression d'admission que vous afficherez ;
- le régime moteur (nombre de tours/minute) ;
- la vitesse propre, c'est-à-dire la vitesse du vent relatif ;
- l'autonomie en carburant ;
- la distance franchissable.

En fonction de :

- l'altitude de croisière ;
- la température ;
- le type de croisière (croisière normale ou rapide) ;
- la masse de l'avion.

Ces paramètres vous permettront de faciliter le pilotage, la navigation et surtout d'assurer votre sécurité : l'autonomie et la distance franchissable sont deux paramètres que vous devrez connaître à chaque départ en voyage. Ils vous éviteront d'avoir à vous poser moteur coupé dans un champ à la suite d'une panne sèche.

Leur détermination est, comme vous allez le constater à l'aide de l'exemple suivant, d'une grande facilité :

Nous envisageons de voyager en TB9 à un niveau de croisière 45, au calage altimétrique de 1 013,25 hPa (soit une altitude-pression de 4 500 pieds). Nous disposons dans le manuel de vol du TB 9 de différents tableaux, appelés « tableaux de marche », relatifs aux performances en croisière.

Celui que nous avons représenté en figure 340 correspond à une altitude-pression de 4 000 pieds ❶.

Si nous choisissons une croisière économique à 66 % ❷ de puissance, nous voyons que :

N = 2 500 tr/min ❸

nous afficherons 2 500 tours/minute au compte-tours

VP = 99 kt ❹

la vitesse propre sera de 99 kt

Autonomie = 5 h 25 min ❺

(réservoirs pleins au départ = 152 litres)

= 995 km ❻

En optant pour une croisière rapide à 73 % ❼, nous aurons les paramètres suivants :

N = 2 600 tr/min ❽

nous afficherons 2 600 tours/minute au compte-tours

VP = 107 kt ❾

la vitesse propre sera de 107 kt

Autonomie = 4 h 04 min ❿

(réservoirs pleins au départ = 152 litres)

= 805 km ⓫

Nous constatons que d'une croisière à l'autre, nous gagnons 8 kt de vitesse propre, mais nous perdons environ 1 h 20 min et 190 km d'autonomie !

Nous orienterons donc notre choix en fonction de nos impératifs : distance ou temps.

Notons que, dans la gamme des vitesses de vol usuelles ou dans la gamme des vitesses de croisière conseillées, plus on vole lentement, plus on va loin par vent nul pour une même quantité de carburant consommée.

Par vent de face, il convient de voler un peu plus vite. Par vent arrière, une vitesse plus faible réduit la consommation.

Avant chaque décollage, j'annonce à haute voix
(même si je suis seul à bord)
combien de temps je vais voler
avec la quantité d'essence qui se trouve à bord,
et que j'ai vérifiée.
J'écris l'heure à laquelle mon moteur s'arrêtera,
faute d'essence.
(Application directe des principes des facteurs humains)

SOCATA
MODELE TB 9

SECTION 5
PERFORMANCES

❶
ALTITUDE PRESSION : 4000 ft
TEMPERATURE STANDARD : 7°C

PERFORMANCES AVEC CONSOMMATION ECONOMIQUE

N	W	VI		/p		C	AUTONOMIES (Sans réserve)	
tr/min	%*	km/h	kt	km/h	kt	l/h	h.min	km
2600	73	183	99	194	105	30,5	4h59'	965
2550	69	177,5	96	189	102	29	5h15'	990
2500❸	66❷	173	93,5	183	99❹	28	5h25❺	995❻
2450	63	166	89,5	177,5	96	27	5h38'	1000
2400	61	163	88	173	93,5	26	5h51'	1010
2350	58	155	84	164,5	89	24,7	6h10'	1012

PERFORMANCES A LA MEILLEURE PUISSANCE

N	W	VI		Vp		C	AUTONOMIES (Sans réserve)	
tr/min	%*	km/h	kt	km/h	kt	l/h	h.min	km
2600❸	73❼	187	101	198	107❾	37,4	4h04❿	805⓫
2550	69	181,5	98	193	104	35,4	4h17'	825
2500	66	177	95,5	187	101	33,9	4h29'	840
2450	63	170	92	181,5	98	32,4	4h41'	850
2400	61	167	90	177	95,5	31,4	4h50'	855
2350	58	159	86	168,5	91	30	5h04'	855

(*) W % : Puissance en pourcentage - Valeurs arrondies

Figure 5.11 - PERFORMANCES EN PALIER (4000 ft)
30 Septembre 1989 5.15

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 340 – *Tableau de marche du TB9.*

Recherchez ces informations
dans votre manuel de vol

Performances et limitations à l'atterrissage

Il s'agit de déterminer si l'atterrissage est possible, en répondant à la question suivante :

La piste est-elle assez longue pour me permettre d'atterrir ?

Il suffira de comparer la longueur de piste disponible pour l'atterrissage, que vous trouverez dans les cartes d'aérodromes éventuellement corrigées par les NOTAM, et la distance d'atterrissage franchissement des 15 mètres (fig. 341) dont vous avez besoin. Cette dernière est fonction de :

- la masse de l'avion à l'atterrissage, égale à la masse de l'avion au décollage moins la masse de carburant consommée pendant le vol,
- le braquage des volets,
- la température,
- la force et la direction du vent,
- l'altitude du terrain de destination,
- le type de piste (bitumée, en herbe, etc.).

On détermine la distance d'atterrissage de la manière suivante :

Nous nous plaçons dans le cas d'un atterrissage avec un TB 9 sur le terrain de Château Thierry-Belleau. D'après la carte VAC du terrain on note que la (LDA) longueur de piste disponible pour l'atterrissage est de 780 m. La masse de l'avion est de 1 060 kg ❶. La température est de 15 ° C ❷ et le vent du 360 °/ 5 kt.

Après lecture du tableau (fig. 342), nous interpolons les valeurs :

450 – 420 = 30 mètres
les valeurs 450 et 420 ❸
sont prises pour les altitudes de 2 000 et 0 pieds.

Pour une altitude de 728 pieds, il faut donc majorer du tiers environ soit :

30/3 = 10 mètres.

La distance d'atterrissage nécessaire est donc de :

420 + 10 = 430 mètres.

Le manuel ne donnant aucune information pour la correction tenant compte de l'état de la piste ; considérons une herbe sèche et courte, nous majo-

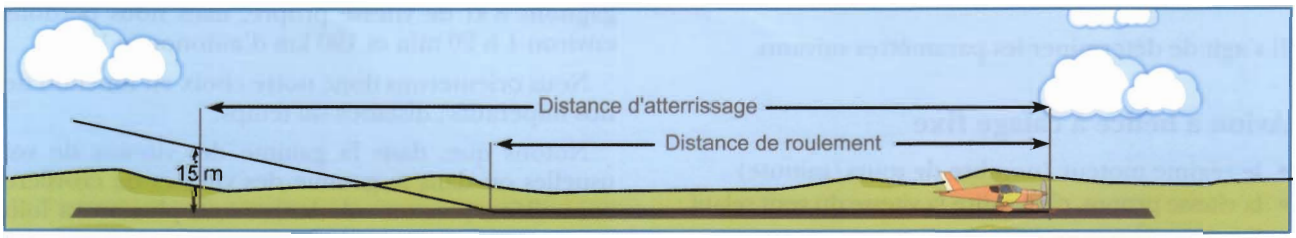


Fig. 341 – Définition de la distance d'atterrissage.

rons alors ce résultat de 20% comme indiqué dans le tableau ci-dessous soit :

430 + 86 = 516 mètres

Compte tenu de la majoration de 30 % préconisée pour tenir compte de la dégradation des performances *(cf. page 255)*, on prendra une longueur nécessaire de :

516 + 155 = 671 mètres arrondie à 680 m.
La LDA déclarée étant de 780 m *(cf. carte VAC)*, l'atterrissage est donc possible.

ATTENTION

Les performances à l'atterrissage sont indiquées dans les manuels de vol en prenant en compte la configuration «Atterrissage» ; pensez qu'en cas de panne de volet, et en l'absence d'indication précise au manuel de vol, vous devez majorer la distance d'atterrissage nécessaire de 50% ; l'atterrissage est encore envisageable à Château Thierry, mais notez que de nombreuses pistes ne permettront plus un tel atterrissage à moins, en cas d'urgence, de réduire votre hauteur de franchissement au seuil, ce qui nécessite un examen détaillé des obstacles dans le fond de trouée notamment pour une approche sur des pistes courtes non revêtues pour lesquelles le fond de trouée peut avoir une pente atteignant 5%, aboutissant au début de la piste, au lieu du début de la bande située à 60 m en amont de la piste comme sur les aérodromes plus importants.

SECTION 5
PERFORMANCES

SOCATA
MODELE TB 9

PERFORMANCES D'ATTERRISSAGE

MASSE : 1060 kg (1)

CONDITIONS : VI: Impact . 109 km/h - 59 kt
Passage 15 m : 124 km/h - 67 kt

Température	Distance	Altitude pression (ft) 0	2000	4000	6000	8000
- 20°C (- 4°F)	Longueur de roulement (m)	170	185	195	215	235
	Passage des 15 mètres	365	395	425	460	500
0°C (+ 32°F)	Longueur de roulement (m)	185	195	215	235	250
	Passage des 15 mètres	400	425	460	495	535
+ 15°C (2) (+ 59°F)	Longueur de roulement (m)	195	210	230	245	265
	Passage des 15 mètres	(3) 420	(3) 450	485	525	565
+ 30°C (+ 86°F)	Longueur de roulement (m)	205	220	240	260	280
	Passage des 15 mètres	440	475	505	550	595
+ 40°C (+ 104°F)	Longueur de roulement (m)	210	230	250	270	290
	Passage des 15 mètres	455	485	530	570	615

Figure 5 14 - PERFORMANCES D'ATTERRISSAGE (1060 kg)

5.18 30 Septembre 1989

SOCATA dégage toutes responsabilités relatives aux conséquences liées à l'utilisation de cette illustration dans un cadre autre que celui de cet ouvrage.

Fig. 342 – *Performances à l'atterrissage du TB9.*

Calcul des performances de décollage et atterrissage en l'absence d'éléments dans le manuel de vol

En l'absence d'informations suffisantes dans votre manuel de vol, il est conseillé d'appliquer les majorations suivantes

CONDITIONS	DECOLLAGE		ATTERRISSAGE	
	Augmentation de la distance jusqu'au passage des 15 m	Facteur (2)	Augmentation de la distance jusqu'au passage des 15 m	Facteur (2)
Augmentation de 10 % de la masse de l'aéronef	20 %	1,2	10 %	1,1
Augmentation de 1 000 ft de l'altitude du terrain	15 %	1,15	5 %	1,05
Augmentation de 10 °C de la température	10 %	1,1	5 %	1,05
Herbe sèche (1) – courte (13 cm) – longue (14-25 cm)	 20 % 25 %	 1,1 1,25	 20 % 30 %	 1,2 1,3
Herbe mouillée (1) – courte – longue	 25 % 30 %	 1,25 1,3	30 % 40 %	 1,3 1,4
Sol mou ou enneigé	25 % ou plus	1,25 ou plus	25 % ou plus	1,25 ou plus
Pente de 2 %	Ascendante 10 %	1,1	Descendante 10 %	1,1

1 Effet accru pour les distances de roulage au décollage/atterrissage
2 Les facteurs sont cumulatifs et doivent être multipliés

MÉTÉOROLOGIE

L'HUMIDITÉ

Dans l'atmosphère, on trouve l'eau sous trois états :

- **gazeux** : vapeur invisible et transparente, qu'il ne faut pas confondre avec, par exemple, la buée, ou le brouillard, qui sont des formes liquides (micro-gouttelettes) de l'eau contenue dans l'air ;
- **liquide** : pluie, gouttes et gouttelettes composant les nuages, le brouillard, la brume, etc. ;
- **solide** : grêle, neige, cristaux composant les nuages de haute altitude.

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Une masse d'air ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau.

L'air est saturé lorsque la quantité de vapeur présente dans cet air atteint sa valeur maximale.

Cette quantité est directement fonction de la température : plus la température est basse, plus la quantité de vapeur d'eau que peut contenir l'air est faible. Lorsque cette quantité est dépassée, l'eau qui est en trop passe à l'état liquide en se condensant. Alors apparaissent la buée, le brouillard ou les nuages.

Processus de saturation d'une masse d'air

Comment arrive-t-on à la saturation d'une masse d'air ?

Il y a deux processus :

Augmentation de la quantité de vapeur d'eau

Ce phénomène se produit par exemple lorsque la masse d'air passe au-dessus d'une étendue maritime et que la température élevée de l'eau favorise son évaporation.

Abaissement de la température de la masse d'air

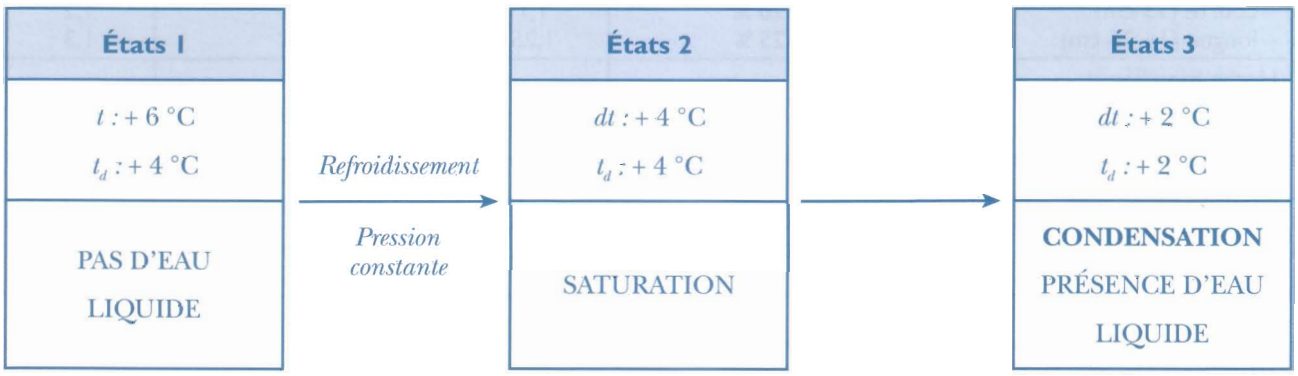
C'est le mode de saturation le plus fréquent. C'est lui qui est à l'origine de la formation des perturbations que nous étudierons dans le chapitre « Frontologie ».

Cet abaissement de la température s'effectue de deux manières :

- La température s'abaisse à pression constante, la température à laquelle apparaît la saturation s'appelle température du point de rosée (notée t_d, d pour « dew » traduction de rosée en anglais, ou DP pour « Dew Point »). Tout refroidissement supplémentaire entraîne une transformation d'une partie de la vapeur d'eau en gouttelettes, par condensation.

  Il est donc très intéressant de connaître le **point de rosée** d'une masse d'air : lorsque la température est au-dessus de la température du point de rosée, il n'y a pas de condensation. Si la température de l'air atteint la température du point de rosée de la masse d'air, il y a saturation. La condensation et l'apparition de brouillard et de nuages ne se fera ensuite que si cet air est refroidi ou humidifié.

  L'exemple ci-dessous montre la saturation d'une masse d'air de température de point de rosée t_d



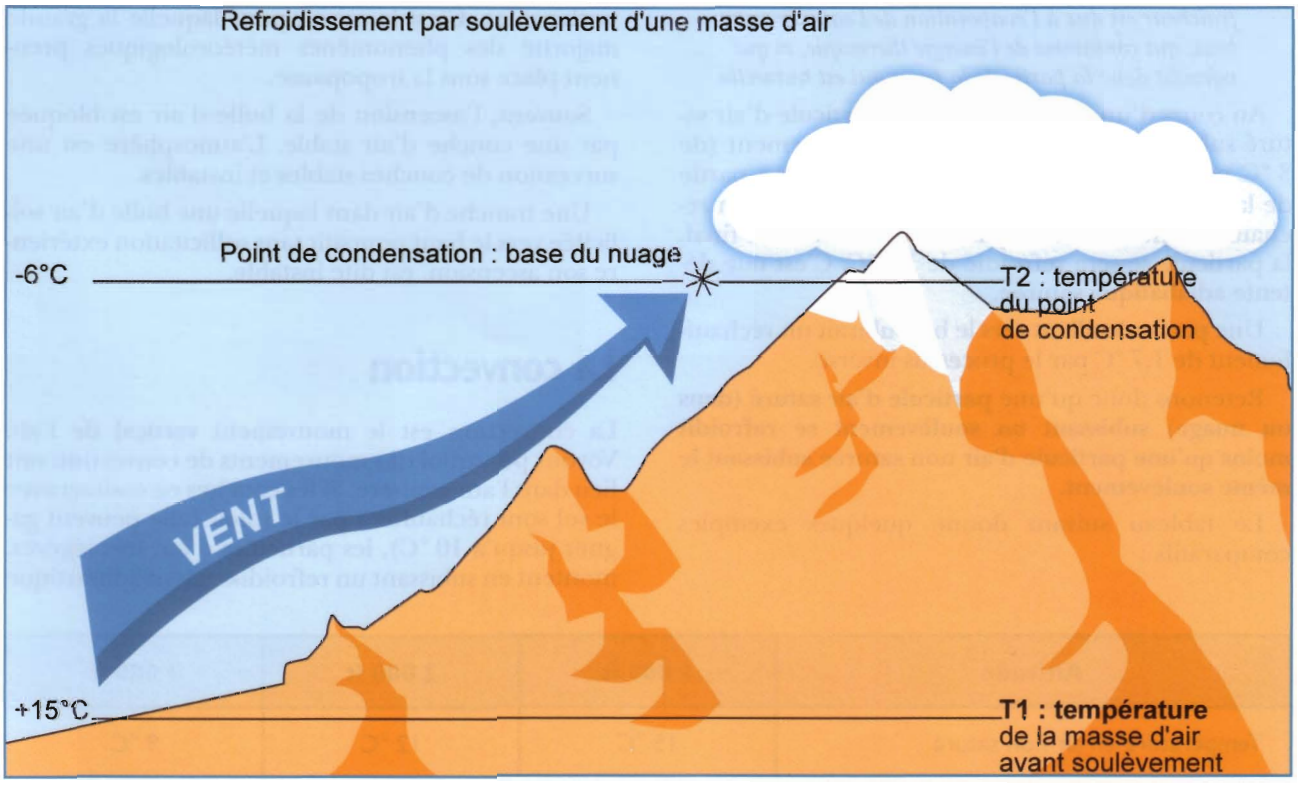


Fig. 343 – *Condensation par soulèvement.*

égal à + 4 °C par abaissement de la température t de la masse d'air.

- Par soulèvement, une particule subit une détente. En effet, la pression à laquelle elle est soumise diminue (l'altitude augmente : la pression diminue).
  Les lois physiques qui s'appliquent aux gaz montrent que lorsque la pression d'un gaz ou d'un mélange de gaz diminue, sa température diminue aussi. Ainsi, par soulèvement, la température d'une masse d'air diminue.
  Lorsqu'elle atteint sa température de saturation, la vapeur d'eau qu'elle contient est en quantité trop grande : une partie se transforme en eau liquide (fig. 343), c'est-à-dire en microgouttelettes puis en gouttelettes formant une masse nuageuse.
  La température à laquelle se produit la condensation n'est pas ici la température du point de rosée : la pression ayant diminué, sa valeur est différente, on l'appelle température du point de condensation.

STABILITÉ - INSTABILITÉ

Transformation adiabatique

Sous cette expression qui peut paraître hermétique se cache une réalité très simple : on appelle « transformation » tout processus amenant l'une des caractéristiques d'un gaz (température, pression, etc.), ou plusieurs de ces caractéristiques, à varier. Le terme « adiabatique » signifie simplement « sans échange de chaleur avec l'extérieur ».

L'air est un très mauvais conducteur de la chaleur. En effet, un volume d'air de température donnée et se déplaçant dans une masse d'air de température différente, a tendance à conserver ses caractéristiques propres sans céder ni prendre de chaleur au milieu ambiant.

Les variations de température d'une particule d'air **non saturée** qui se déplace ne sont donc dues qu'aux **compressions** et **détentes** qu'elle subit dans son déplacement, et non à la température de l'air ambiant dans lequel elle se déplace.

Par exemple, une particule d'air non saturé qui s'élève se détend car la pression ambiante diminue. Cette détente se fait sans échange de chaleur. La température de la particule ne diminue que parce que sa pression chute. C'est une **détente adiabatique sèche**. Si l'air n'est pas saturé, le fait d'élever une particule de 1 000 pieds lui fait perdre 3 °C par détente.

Il existe une autre source de changement de température pour une particule en déplacement : la condensation, qui libère de l'énergie sous forme de chaleur, et la vaporisation, qui consomme de l'énergie thermique (de la chaleur). Pour illustrer la consommation de chaleur de l'évaporation, il suffit de faire la petite expérience suivante :

> *Humectez votre bras avec un peu d'eau tiède, puis soufflez dessus : vous constaterez une sensation de froid plus importante que si votre bras était sec, pourtant l'air que vous soufflez est à la même température dans les deux cas. La sensation de*

fraîcheur est due à l'évaporation de l'eau sur votre bras, qui consomme de l'énergie thermique, et qui refroidit donc la partie de la peau qui est humectée.

Au cours d'un soulèvement, une particule d'air saturé subit une détente, d'où un refroidissement (de 3 °C par exemple) et la condensation d'une partie de la vapeur qu'elle contient, ce qui entraîne un réchauffement (de 1,3 °C par exemple). A l'état final, la particule se sera refroidie de 1,7 °C. C'est une **détente adiabatique saturée**.

Une particule allant vers le bas subirait un réchauffement de 1,7 °C par le processus inverse.

Retenons donc qu'une **particule d'air saturé (dans un nuage) subissant un soulèvement se refroidit moins qu'une particule d'air non saturée subissant le même soulèvement**.

Le tableau suivant donne quelques exemples comparatifs :

Altitude	1 000 ft	2 000 ft	3 000 ft
Température en air non saturé	15 °C	12 °C	9 °C
Température en air saturé	15 °C	13 °C	12 °C

La stabilité

Si une particule est sollicitée vers le haut, elle va subir une détente adiabatique, qui l'amènera (voir paragraphe précédent « transformation adiabatique ») à une température plus basse que sa température initiale. Si sa nouvelle température est inférieure à celle de l'air ambiant, la masse volumique de cette particule sera **plus élevée que celle de l'air ambiant**, et elle **redescendra** à sa position initiale.

En supposant que l'on puisse amener à 1 500 pieds la bulle d'air initialement à + 16 °C à l'altitude zéro, sa température serait de + 11 °C après détente adiabatique. Elle serait plus froide, donc plus dense que l'air ambiant qui est à + 13 °C, et elle redescendrait.

Cette atmosphère, dans laquelle une bulle d'air sollicitée vers le haut revient à sa position initiale, est dite **stable**.

L'instabilité

Plaçons à présent notre particule dans de l'air ambiant plus froid.

Elle est donc **moins dense que l'air ambiant**, et **continue son ascension** sans sollicitation extérieure. Elle ne sera freinée que si elle rencontre au cours de son ascension de l'air ambiant à une température supérieure ou égale (fig. 344).

De toute façon l'ascension de la bulle d'air sera arrêtée par la tropopause (tranche caractérisée par une isothermie). C'est la raison pour laquelle la grande majorité des phénomènes météorologiques prennent place sous la tropopause.

Souvent, l'ascension de la bulle d'air est bloquée par une couche d'air stable. L'atmosphère est une succession de couches stables et instables.

Une tranche d'air dans laquelle une bulle d'air sollicitée vers le haut poursuit sans sollicitation extérieure son ascension, est dite **instable**.

La convection

La convection est le mouvement vertical de l'air. Voyons pourquoi des mouvements de convection ont lieu dans l'atmosphère. Si les couches en contact avec le sol sont réchauffées par le soleil (elle peuvent gagner jusqu'à 10 °C), les particules d'air, très légères, montent en subissant un refroidissement adiabatique sec (en ciel non nuageux). La place libre est prise par de l'air plus froid qui, à son tour, s'échauffe et monte.

Le processus est entretenu. Il s'organise en un réseau de cellules présentant en leur centre une cheminée d'air ascendant et, sur les bords, des courants descendants. Le mouvement ascendant est limité en altitude par une couche stable. Au cours du mouvement vers le haut, la particule d'air se refroidit et, si ce refroidissement est suffisant, il peut entraîner la **condensation** de l'eau contenue dans la particule. Le nuage apparaît à partir de cette altitude : c'est la **base des nuages**. Le mouvement se poursuit par une transformation adiabatique saturée (c'est-à-dire en air nuageux) jusqu'à une couche stable : c'est le **sommet des nuages** (fig. 345).

LES NUAGES

Un nuage se caractérise par sa morphologie. Celle-ci dépend principalement :

- de son **altitude** qui est comprise entre le sol et environ 36 000 pieds (la tropopause) aux alentours du 45e parallèle Nord (l'altitude de la tropopause dépend indirectement de la latitude du lieu).
  La tranche d'altitudes dans laquelle le nuage prend place détermine la température et donc la composition du nuage : gouttelettes d'eau, cristaux de glace, ou les deux ;

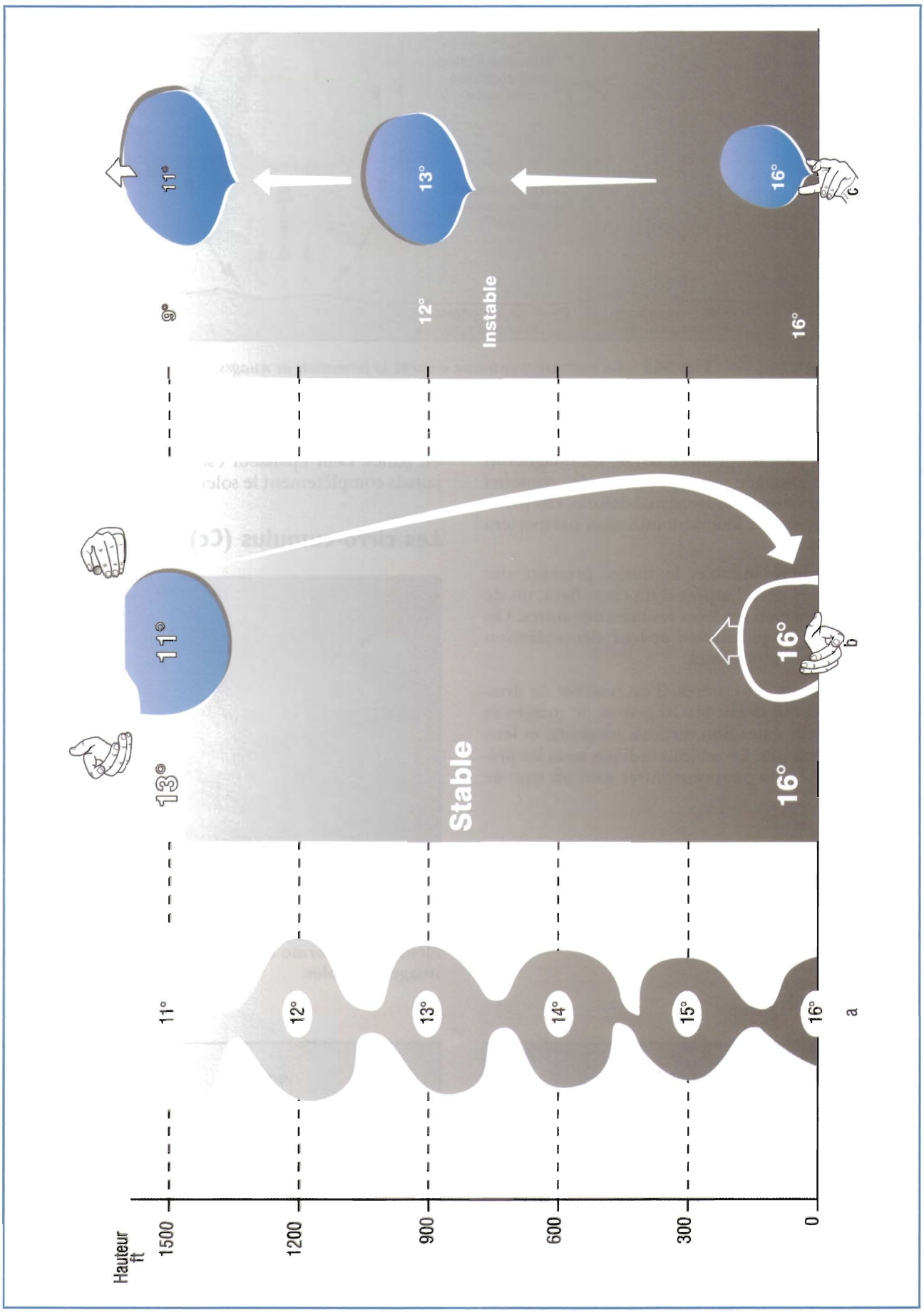


Fig. 344 – *Les deux natures de l'atmosphère : stable ou instable.*

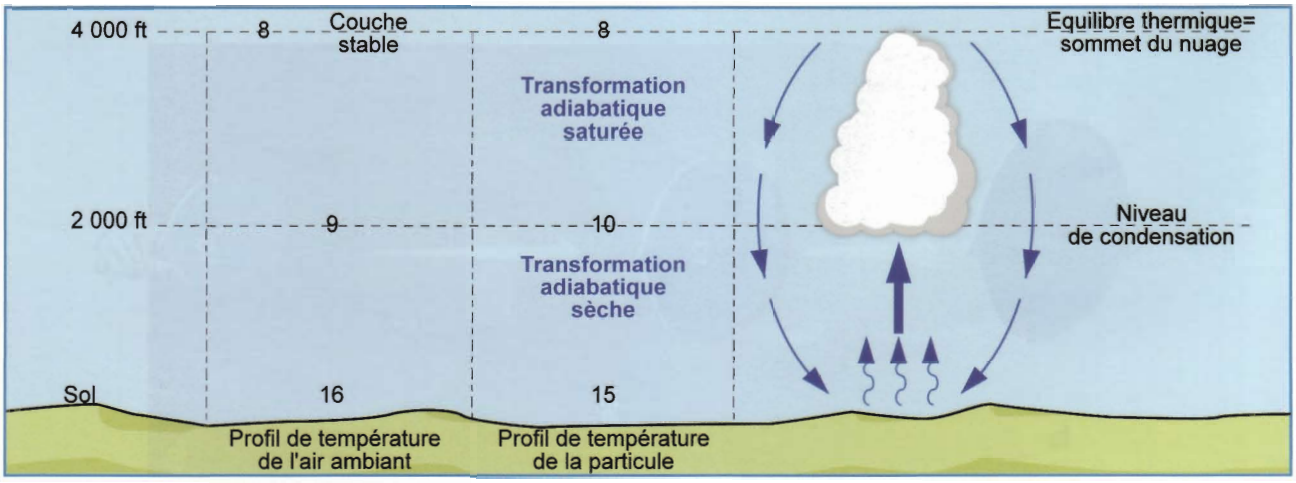


Fig. 345 – *La convection entraîne souvent la formation de nuages.*

- de **l'état de stabilité de l'atmosphère** dans lequel il s'est formé : en atmosphère stable, les nuages ont une forme allongée, un aspect flou, des contours diffus. Leur base est souvent mal définie. On parlera de nuage stable, leur dénomination comportera le mot **strat**.

  En atmosphère instable, le nuage présente des contours très nets, l'aspect d'un chou-fleur, ou de petites balles bien séparées les unes des autres. On parlera de nuage instable et leur dénomination comportera le mot **cumul**.

En fonction de ces critères, il est possible de dresser le tableau qui décrit les 10 genres de nuages et qui montre leur extension verticale moyenne et leur mode de formation. Ce tableau indique aussi les précipitations que l'on peut rencontrer sous un type de nuage.

Les nuages élevés

Leur altitude est supérieure à 20 000 pieds aux latitudes tempérées.

Les cirrus (Ci)

© Jacques Noël

Fig. 346 – *Cirrus.*

En forme de filaments, ils se déplacent généralement en bancs. Leur épaisseur est faible et ils ne cachent jamais complètement le soleil.

Les cirro-cumulus (Cc)

© Jacques Noël

Fig. 347 – *Cirro-cumulus.*

Ce sont des bancs, nappes ou couches de nuages blancs, sans ombre propre, composés de très petits éléments en forme de granules, rides… Ce sont des nuages instables.

© Jacques Noël

Fig. 348 – *Cirro-stratus.*

Les cirro-stratus (Cs)

Ils ont l'aspect de voiles nuageux transparents et blanchâtres assez uniformes. Ils créent fréquemment un phénomène de halo autour du soleil. Ce sont des nuages **stables**.

Les nuages de moyenne altitude

Leur altitude est comprise entre **6 000** et **20 000 pieds** aux latitudes tempérées.

Les altocumulus (Ac)

Ils peuvent être d'origine **stable** et se présentent alors sous forme de nappes, bancs ou couches de couleur grise ou blanche et forment des éléments en forme de galets, lamelles ou rouleaux.

© Jacques Noël

Fig. 349 – *Altocumulus.*

Ils peuvent être d'origine **instable** et présentent des bourgeonnements en forme de tours ou de flocons. Ils sont préorageux.

Les altostratus (As)

Ce sont des nuages gris qui se présentent sous la forme de nappes étendues, d'aspect souvent uniforme, ne laissant que voir vaguement le soleil. Ce sont des nuages **stables**.

© Jacques Noël

Fig. 350 – *Altostratus.*

Les nuages bas

Leur altitude est inférieure à 6 000 pieds aux latitudes tempérées.

Les strato-cumulus (Sc)

© Jacques Noël

Fig. 351 – *Strato-cumulus.*

Ces sont des nuages de turbulence en bancs, nappes ou couches, gris ou blanchâtres, possédant presque toujours des parties plus épaisses et plus sombres.

Les stratus (St)

Souvent très bas, ils ont l'aspect d'une couche nuageuse généralement grise, à base assez floue et uniforme. On dit souvent que les stratus sont semblables à du brouillard ne reposant pas sur le sol.

En été, dans les régions humides, il se forme souvent des stratus matinaux qui se dissipent en fin de matinée, lorsque l'échauffement du sol est suffisant.

© Jacques Noël

Fig. 352 – *Stratus.*

Ce sont des nuages **stables**. Ils sont **dangereux pour l'aéronautique** (en vol à vue) car leur base peut être très basse (à 100 mètres du sol) et recouvrir le sommet des reliefs.

Les cumulus (Cu)

Ce sont des nuages séparés, à contours bien délimités, se développant verticalement en forme de choufleur. Les parties de ces nuages éclairés par le soleil sont d'un blanc éclatant, alors que leur base est souvent sombre et horizontale.

Les cumulus peuvent être d'épaisseur extrêmement variable, de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres. Ce sont des nuages **instables**.

Le processus de formation des cumulus est le suivant : nous avons vu précédemment que l'échauffement du sol pouvait entraîner de l'instabilité dans les basses couches. Des mouvements convectifs ont lieu et peuvent entraîner la formation de nuages : ce sont des cumulus.

Si la tranche d'atmosphère instable est étendue, l'épaisseur des cumulus peut être très importante, comme pour le cumulus congestus (ou TCU). Ils peuvent évoluer en cumulo-nimbus *(voir page suivante)*.

© Jacques Noël

Fig. 353 – *Cumulus.*

© Jacques Noël

Fig. 354 – *Cumulus.*

© Jacques Noël

Fig. 355 – *Cumulus.*

Sous le nuage, il existe un courant ascendant et autour de lui des courants descendants, synonymes de turbulences, qui peuvent entraîner une gêne pour les passagers et pour vous-même.

Le cumulus est, le plus souvent, un nuage d'évolution diurne, lié à l'échauffement du sol par le soleil. Le nuage prend naissance vers la fin de matinée, puis quand le soleil baisse sur l'horizon, il se transforme en strato-cumulus. Ceux-ci disparaissent généralement en cours de nuit. Des grosses cellules cumuliformes peuvent parfois persister en cours de nuit.

Les nuages à grande extension verticale

Leur épaisseur verticale peut atteindre **plus de 40 000 ft**.

Le nimbo-stratus (Ns)

C'est un nuage de vastes dimensions horizontales et verticales. Du fait de sa grande épaisseur, sa base est très sombre. Il est souvent accompagné de strato-cumulus et de stratus.

Il est très souvent générateur de précipitations (pluie ou neige). C'est le nuage typique des longues journées pluvieuses. Il est **stable**.

© Jacques Noël

Fig. 356 – *Nimbo-stratus.*

Le Cumulo-nimbus (Cb)

C'est un nuage dense et puissant, à extension verticale considérable, en forme d'énorme tour. Sa partie supérieure présente fréquemment une forme d'enclume. Sa base est souvent doublée de nuages bas et déchiquetés.

Le cumulus congestus, cumulus de forte taille, est le stade précédant la formation du cumulo-nimbus.

Le cumulo-nimbus est un nuage générateur de grains et d'orages. Il est **très dangereux** pour l'aéronautique (nous reviendrons sur les dangers qu'il présente dans la suite du cours). C'est un nuage **instable**.

© Jacques Noël

Fig. 357 – *Cumulo-nimbus.*

LES MASSES D'AIR

Le **rayonnement solaire** reçu sur la Terre varie avec la latitude. La même quantité de rayonnement doit réchauffer, aux pôles, une grande surface alors qu'elle réchauffe une petite surface à l'équateur, d'où de grandes différences de température.

Par ailleurs, les océans humidifient l'air alors que les continents tendent à l'assécher. Ces écarts de quantité de chaleur et d'humidité engendrent une grande variété de climats.

© Jacques Noël

Fig. 358 – *Cumulus-Congestus.*

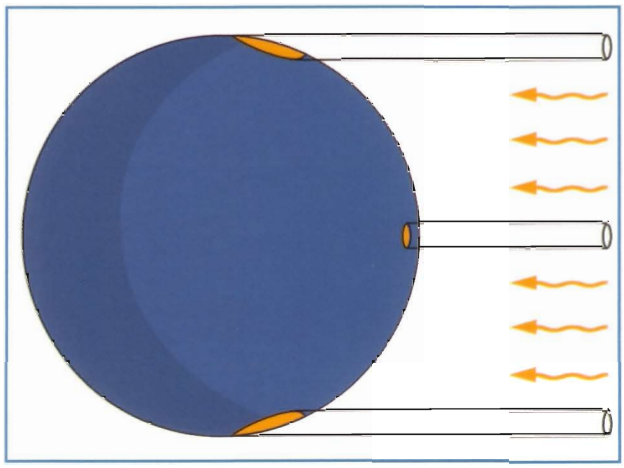


Fig. 359 – *Différence d'éclairement sur une sphère.*

Lorsqu'un grand volume d'air séjourne assez longtemps sur une région climatique du globe (pôles, tropiques, équateur, etc.), il prend des caractéristiques bien précises liées à son lieu d'origine. On appelle « **masse d'air** » ce vaste volume où les conditions de température et d'humidité sont, à une altitude donnée, sensiblement constantes d'un point à un autre.

L'atmosphère est une masse fluide au sein de laquelle les différences de température et de pression tendent à se combler. Aussi, les masses d'air ne sont pas immobiles, elles quittent leur région d'origine en modifiant leurs caractéristiques : en une semaine, on peut considérer qu'une masse d'air animée d'une vitesse de 40 à 50 km/h a presque totalement perdu ses paramètres d'origine.

De plus, la rotation de la terre engendre un déplacement général des masses d'air vers l'Est ou vers l'Ouest suivant leur latitude (fig. 360).

Vous concevez aisément que ces masses d'air de caractéristiques différentes se rencontrent parfois. Ces rencontres créent des zones de conflit que l'on appelle « **fronts** ».

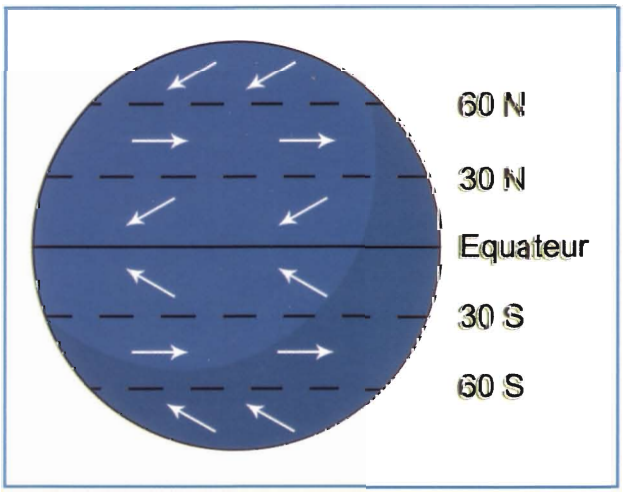


Fig. 360

Objectif de la phase :

Au cours de cette phase, vous étudierez le domaine de vol et l'approche sur des aérodromes à haute densité de trafic. Vous allez également effectuer vos premiers vols en solo.

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.1**

Circulation aérienne 277
L'Information aéronautique temporaire 292
Les montées particulières associées au décollage 293
Le décollage et l'atterrissage par vent de travers 295

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.2**

Météorologie 298
L'information météorologique 306
Généralités sur les cartes du temps significatif (TEMSI) 313

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° IV.3**

Météorologie :
les phénomènes dangereux pour l'aéronautique 319

PHASE IV

UNITÉ D'INSTRUCTION IV.1
CIRCULATION AÉRIENNE

LES SERVICES ET ORGANISMES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Au fur et à mesure que les mouvements d'aéronefs se sont intensifiés, il s'est avéré nécessaire de mettre en place des structures pour assister les activités aéronautiques et pour régler le flux de la circulation aérienne.

Des organismes ont donc été constitués. Ce sont les organismes de la circulation aérienne. Ils rendent trois types de service :

- le service **du contrôle**,
- le service **d'information de vol**,
- le service **d'alerte**.

Nous allons décrire plus en détail ce que sont ces services et les organismes qui les dispensent. Retenons dès à présent que :

- les organismes chargés du service du contrôle assurent aussi le service d'information de vol et le service d'alerte ;
- les organismes chargés du service d'information de vol assurent aussi le service d'alerte ;
- les organismes chargés du service d'alerte n'assurent que ce service.

Le service du contrôle

Il a pour objet :

- de prévenir les collisions entre les aéronefs qui sont sous la charge de l'organisme ;
- de régler et d'accélérer la circulation aérienne qui se trouve sous la charge de l'organisme ;
- de prévenir les collisions entre les aéronefs qui évoluent au sol (sur un aérodrome) et les obstacles (grue, véhicule, etc.).

Notons que le service du contrôle à pour objectif de prévenir les collisions entre aéronefs, mais que dans tous les cas l'évitement de la collision reste sous la responsabilité du commandement de bord que nous allons devenir.

Aspects concrets du service du contrôle

Concrètement, le service du contrôle se manifeste aux usagers par :

- **des clairances** (de l'anglais « clearance » qui veut dire autorisation), qui sont des autorisations ou instructions données aux aéronefs et transmises par radio. Par exemple : « descendez à 1 000 ft QFE, rappelez en longue finale ». Ces clairances ont pour objet d'assurer **les espacements** entre les aéronefs qui sont sous la charge de l'organisme du contrôle ;
- **des informations** concernant la position (gisement et distance par rapport à l'avion) de **tous les aéronefs** qui sont contrôlés par l'organisme du contrôle, dans la mesure où ils peuvent interférer avec votre trajectoire. C'est l'**information de trafic**. L'information de trafic permet au pilote d'être sûr d'être informé par l'organisme au sol de la position des aéronefs contrôlés qui pourraient interférer avec sa trajectoire. Ce service ne peut être rendu que dans les espaces où tous les aéronefs sont en contact radio, autrement dit où le contact radio est obligatoire.

Le service d'information de vol

Le rôle du service d'information de vol est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. Par exemple, ce service permet de disposer de renseignements concernant les conditions météorologiques sur le parcours, l'état des aérodromes et des installations radioélectriques, la présence éventuelle, si elle est connue par l'organisme, d'un aéronef dont la trajectoire pourrait interférer avec la vôtre. L'information de vol peut aller jusqu'à la transmission de suggestions de manœuvres pour éviter les collisions.

Comment peut-on utiliser le service d'information de vol

Il suffit d'être en contact radio avec un organisme au sol qui assure ce service (nous avons vu que tous les organismes chargés du contrôle assurent aussi le service d'information de vol).

Lorsque vous êtes en vol, si vous souhaitez bénéficier du service d'information de vol pendant votre phase croisière, vous pouvez contacter l'organisme responsable du secteur dans lequel vous vous trouvez qui peut être :

- le FIC (Flight Information Center) de la FIR par exemple « Brest Info » en dehors des secteurs attribués à un SIV ;
- le SIV/APP si vous êtes dans un secteur confié à une grande Approche par exemple « Nantes Info ».

Note

Lorsque les SIV/APP couvrent l'ensemble d'une FIR, le FIC est supprimé et le service d'information de vol est assuré par les secteurs de contrôle dans l'espace situé au-dessus des SIV/APP.

Ces organismes et leurs fréquences de veille sont publiées sur les cartes aéronautiques (cartes au 1/1 000 000 et 1/500 000) ainsi dans l'atlas VAC pour les SIV/APP.

Le service d'information de vol est assuré également par les organismes de la circulation sur les aérodromes (APP, TWR, AFIS).

N'hésitez pas à contacter les organismes d'information de vol lorsque vous êtes en route lors de trajets longs. Outre les informations qu'ils pourront vous communiquer, ils auront connaissance de votre présence. Leur information concernant la présence d'aéronefs dans leur espace n'en sera que plus complète, et ils pourront faciliter les recherches si vous êtes obligé de vous poser hors aérodrome. C'est donc

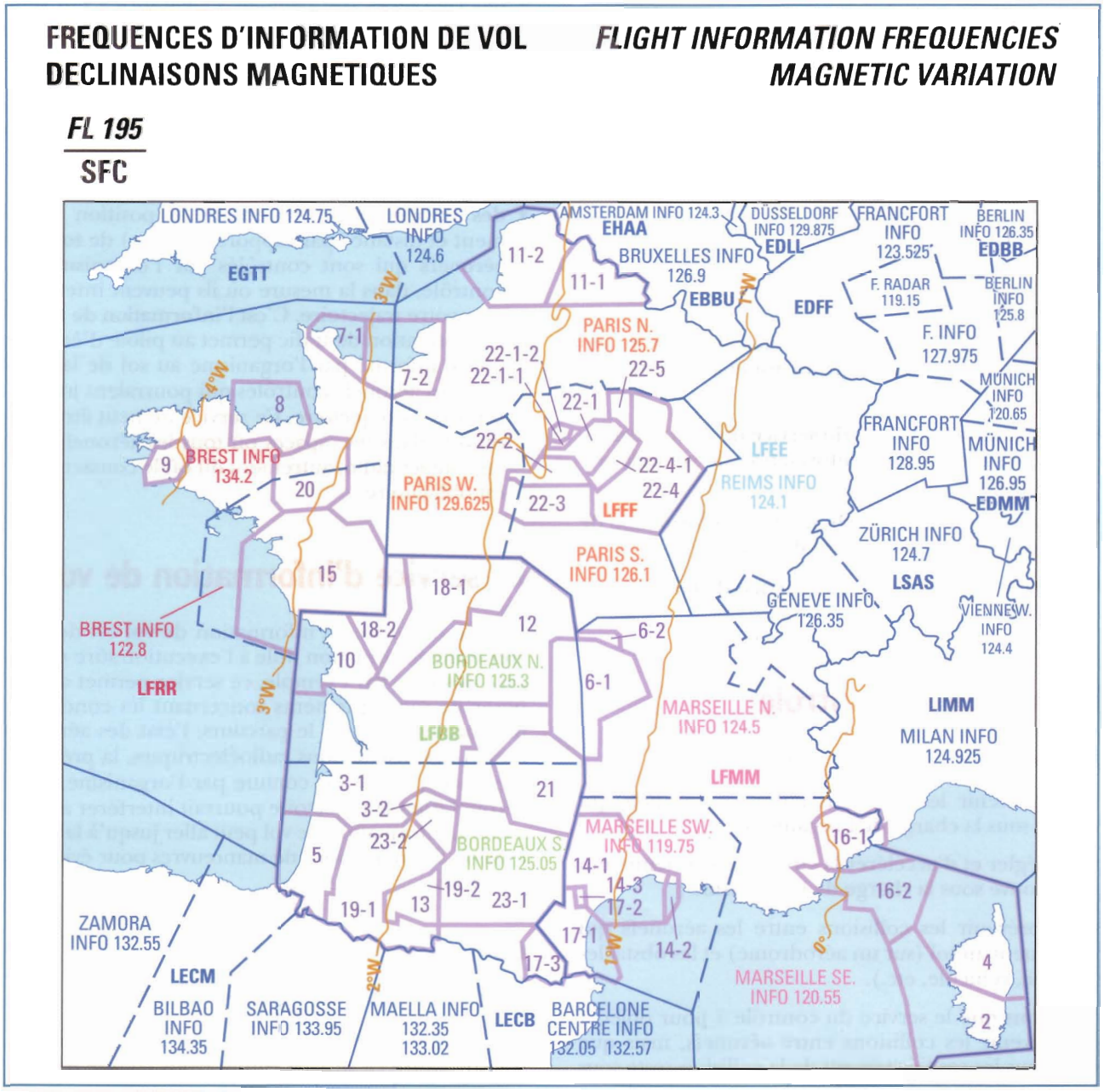


Fig. 361 – *Les noms et fréquences des organismes d'information de vol figurent sur la carte 1/1 000 000.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E11/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

une démarche de sécurité que d'établir la liaison radio avec un **SIV/APP**.

Enfin sur les aérodromes importants, un service d'information automatique permet de connaître les éléments nécessaires au départ et à l'arrivée. C'est un message enregistré répété en permanence, contenant le dernier bulletin météorologique, la piste en service et l'état des installations de l'aérodrome lorsqu'il y a lieu.

Ce service s'appelle ATIS, pour « Automatic Terminal Information Service ».

Certains ATIS ont des portées opérationnelles réduites ; ils sont désignés :

- ATIS/V sur les aérodromes n'ayant pas de trafic IFR, ou
- ATIS/S si l'ATIS n'a pas de protection ; il n'est normalement utilisable que pour transmettre les paramètres au départ (aéronefs au sol) ; en vol, il n'y a pas de garantie de ne pas être perturbé par d'autres utilisateurs de la fréquence.

Note

Le terme anglais « terminal » désigne en aéronautique la phase terminale du vol, c'est-à-dire l'arrivée.

Le service d'alerte

La vocation de ce service est de déclencher l'alerte auprès des organismes de recherche et de sauvetage auprès des Centres de Coordination de Sauvetage CCS (RCC, c'est-à-dire « Rescue Coordination Center », pour le sigle anglais). Ces derniers déterminent les moyens à mettre en œuvre et organisent les opérations de recherche et de sauvetage dites opérations SAR (pour « Search And Rescue »).

Le service d'alerte est fourni par tous les organismes de la circulation aérienne (organismes de contrôle ou d'information), à tous les aéronefs qui se déclarent en état de détresse ou pour lesquels un doute subsiste quant à leur sécurité.

Mais il faut que l'organisme qui déclenche l'alerte dispose d'assez d'informations pour penser qu'un aéronef est en difficulté. C'est pourquoi il est très important de renseigner les organismes de la circulation aérienne et de leur donner toute information utile sur le vol dès lors que ce dernier est assez long (un voyage par exemple). Le contact radio en vol ou l'établissement d'un plan de vol au départ sont des atouts majeurs de sécurité.

En cas d'accident localisé aux abords d'un aérodrome, les organismes de la circulation aérienne déclenchent le « plan de secours d'aérodrome ». Ce plan consiste en la mise en œuvre des moyens d'intervention locaux.

DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN

Au voisinage des aérodromes importants, la densité et la diversité du trafic imposent que les avions soient soumis à des procédures strictes. A l'inverse, certaines portions d'espaces sont peu fréquentées et la circulation aérienne y est très peu dense. Dans ces espaces, les exigences réglementaires sont moins strictes.

Pour séparer les différents types de trafic (aviation légère, avions de ligne, avions de chasse, etc.) qui coexistent, l'espace aérien est divisé en plusieurs parties, chacune étant adaptée à la densité et au type de trafic auxquels elle est soumise.

Partition de l'espace aérien

L'espace aérien comporte deux étages bien distincts :

- un étage qui part du sol et qui s'élève jusqu'au FL 195 inclus. C'est l'espace aérien inférieur ;
- un étage dont le plancher est le FL 195 et qui est illimité au-dessus. C'est l'espace aérien supérieur.

La particularité de l'espace aérien supérieur est qu'il est classé en « C » du FL 195 au FL 660 et G au-dessus de FL 660 mais qu'au-dessus de FL 195, les vols VFR ne sont autorisés que dans des espaces aériens réservés (TSA, TRA ou CBA) et exceptionnellement, selon les dispositions particulières convenues avec l'autorité ATS compétente.

Partition de l'espace aérien inférieur

Les régions d'information de vol (FIR pour « Flight Information Region »)

L'espace aérien inférieur de très nombreux pays, dont la France, a été divisé en plusieurs régions pour faciliter le travail des organismes du contrôle aérien. Ces régions sont appelées régions d'information de vol (ou **FIR** pour « **F**light **I**nformation **R**egion »).

L'espace aérien français est divisé en cinq FIR : Bordeaux, Brest, Marseille, Paris, Reims. Le service d'information de vol est rendu, dans une FIR, par un centre d'information de vol (**FIC** : **F**light **I**nformation **C**enter) ou par des **S**ecteurs d'**I**nformation de **V**ol (**SIV/APP**) confiés à des centres de contrôle d'approche de certains terrains.

Au-dessus du territoire national à l'exception de l'espace au-dessus des Alpes et des Pyrénées classé E, l'espace est de classe D à et au-dessus du plus élevé des deux niveaux suivants : le FL 115 ou 3 000 ft ASFC (900 m) jusqu'au FL 195 inclus. En dessous du FL 115, l'espace aérien est, en France, de classe G sauf pour les espaces suivants :

Les voies aériennes (AWY pour « AIRWAY »)

Ce sont des couloirs empruntés par les vols IFR. Ils ont généralement une largeur de 10 NM (≅ 18.5 km). L'axe des AWYs est défini par des balises de radionavigation. Leur plafond est le FL 195 en espace inférieur, leur plancher est variable.

Ce sont des espaces aériens de classe D à et au-dessus du plus élevé des deux niveaux FL 115 ou 3 000 ft ASFC, et de classe E en dessous. Vous devrez rester très vigilant vis-à-vis du trafic.

Vous trouverez les routes suivies par les voies aériennes ainsi que la valeur de leur plancher sur la carte aéronautique au 1/1 000 000.

Les régions de contrôle (CTA pour « Control Traffic Area ») et les régions de contrôle terminales (TMA pour « TerMinal control Area »)

Ce sont des volumes d'espace contrôlé surplombant les aérodromes importants et les aérodromes de taille

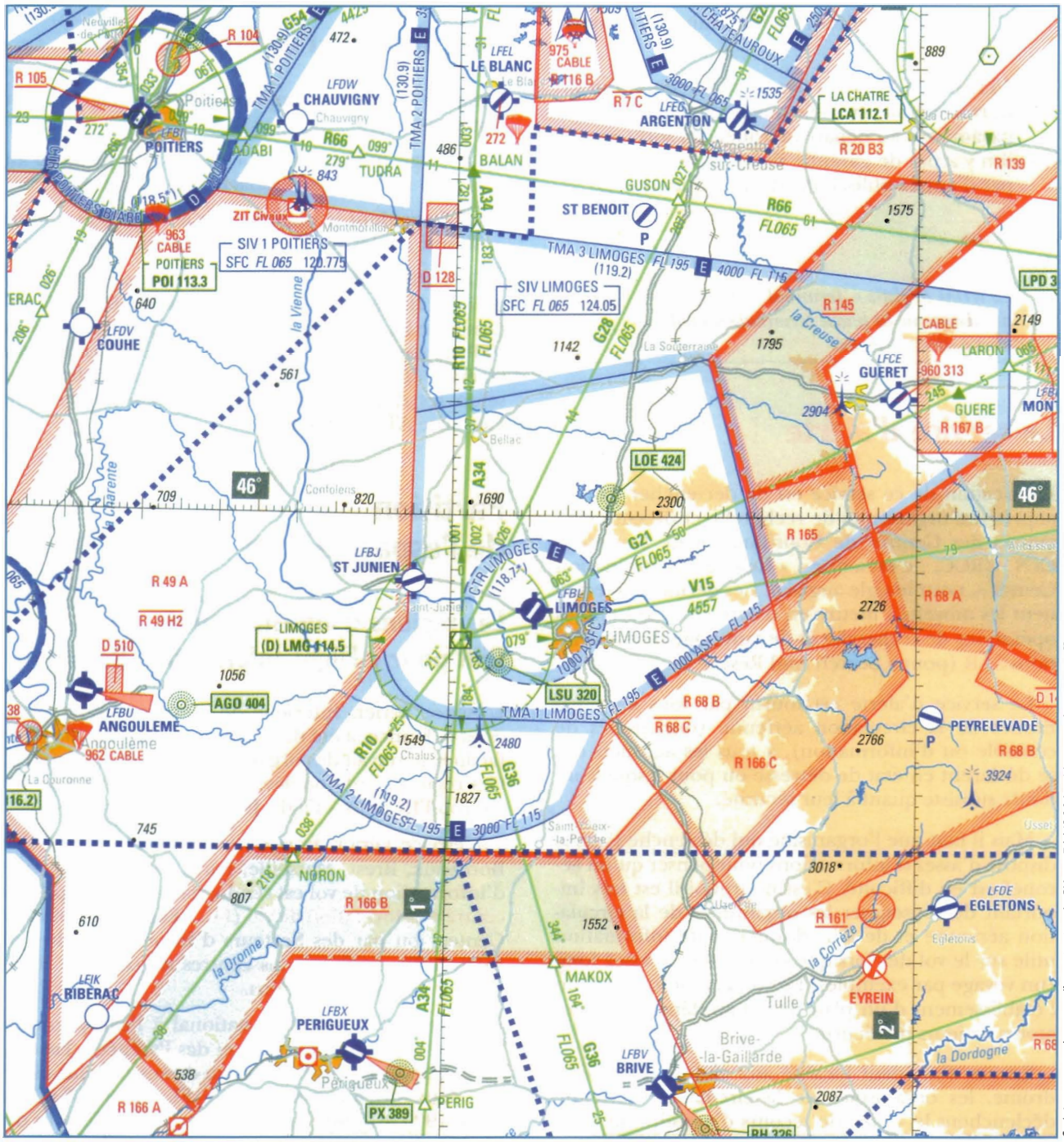


Fig. 362

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no E I I/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

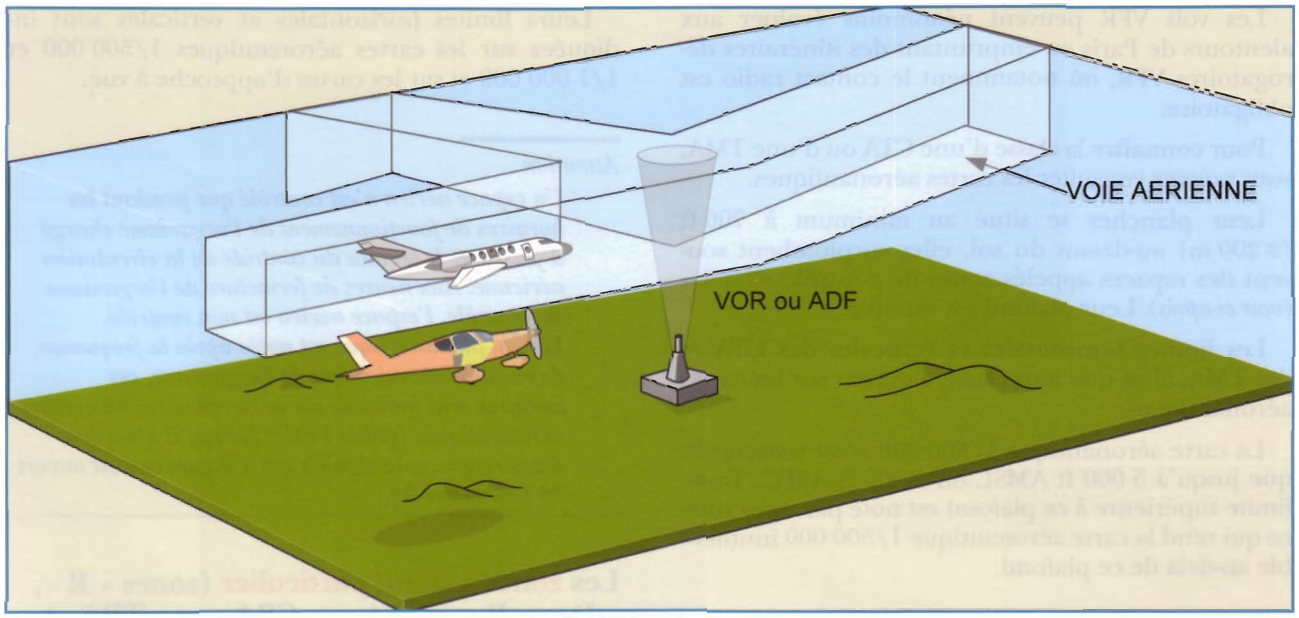


Fig. 363

moyenne. Elles englobent les trajectoires IFR de départ, de transit, d'arrivée et d'attente.

Les CTA et TMA sont des espaces de classes A, B, C, D ou E. En France, la majorité des CTA et TMA sont de classes D ou E. Quelques TMA à très fort trafic IFR sont de classe C et la TMA de Paris est classée A ; cette dernière est interdite aux vols VFR.

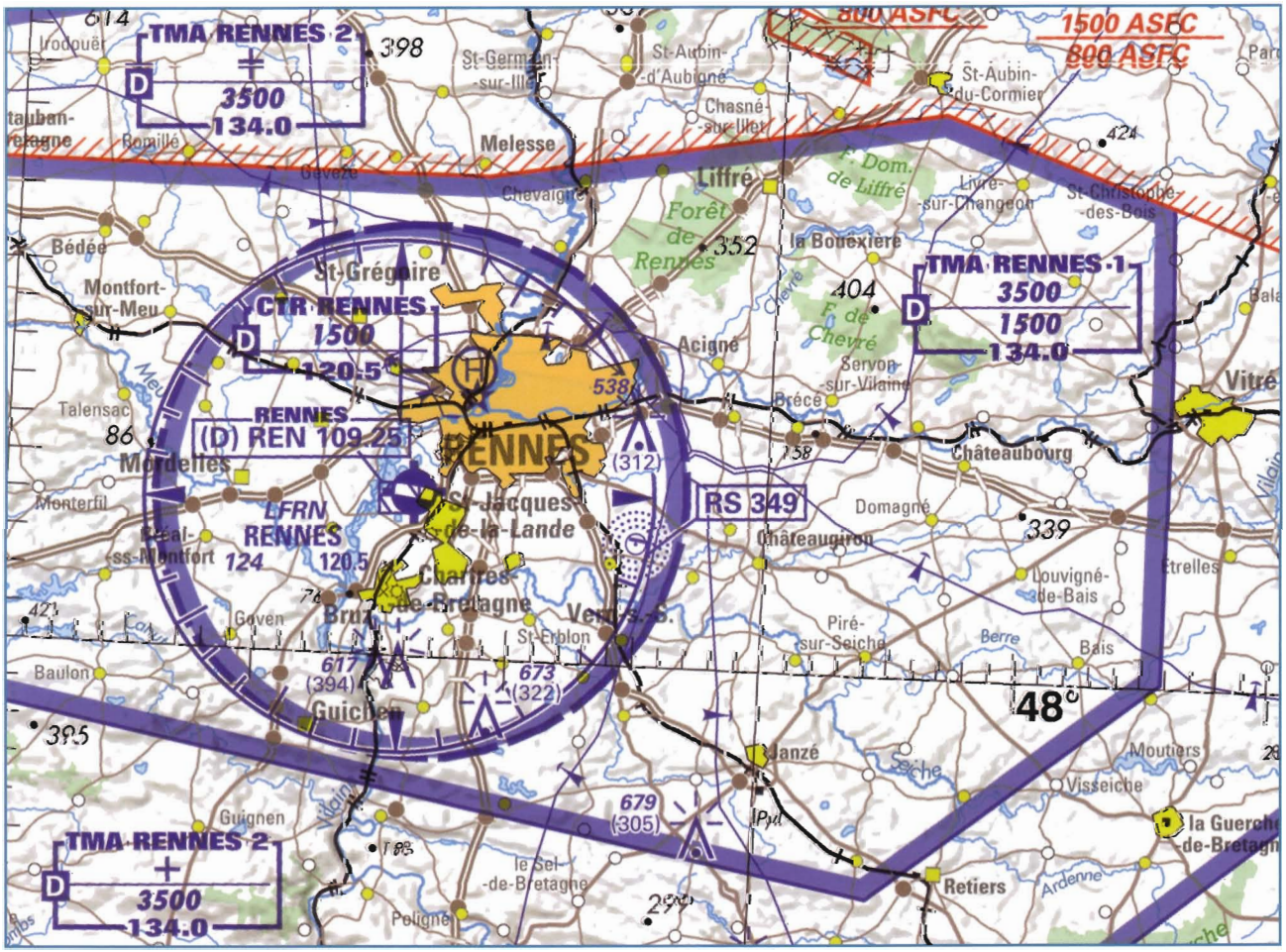


Fig. 364

Carte IGN 1:500 000 OACI © IGN - Paris - 2007 – Autorisation n° 21070455 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Les vols VFR peuvent néanmoins évoluer aux alentours de Paris en empruntant des itinéraires dérogatoires VFR, où notamment le contact radio est obligatoire.

Pour connaître la classe d'une CTA ou d'une TMA, vous pouvez consulter les cartes aéronautiques.

Leur plancher se situe au minimum à 700 ft (≅ 200 m) au-dessus du sol, elles surplombent souvent des espaces appelés zones de contrôle « CTR » *(voir ci-après)*. Leur plafond est variable.

Les limites horizontales et verticales des CTA et des TMA, ainsi que leur classe, figurent sur les cartes aéronautiques.

La carte aéronautique 1/500 000 n'est renseignée que jusqu'à 5 000 ft AMSL ou 2 000 ft ASFC. Toute limite supérieure à ce plafond est noté par une croix, ce qui rend la carte aéronautique 1/500 000 inutilisable au-delà de ce plafond.

Les zones de contrôle d'aérodrome (CTR pour « Control Traffic Région »)

Ce sont les espaces aériens directement en contact avec les aérodromes. Ils se situent souvent sous une TMA (fig. 366). Les CTR sont destinées à englober les trajectoires de décollage et d'atterrissage et la circulation aérienne d'aérodrome.

En France, les CTR sont de classe « D » au moins ; certaines CTR pour des aérodromes à trafic commercial important sont de classe « A ».

Les CTR s'élèvent de la surface du sol jusqu'à un plafond qui ne dépasse pas, en général, 3 000 ft (900 m) au-dessus du niveau de la mer ou 1 000 ft (300 m) au-dessus du sol.

Leurs limites horizontales et verticales sont indiquées sur les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000 et sur les cartes d'approche à vue.

Attention

Un espace aérien n'est contrôlé que pendant les horaires de fonctionnement de l'organisme chargé d'y assurer le service du contrôle de la circulation aérienne. Aux heures de fermeture de l'organisme du contrôle, l'espace aérien est non contrôlé. Lorsqu'une astérisque est notée après la fréquence de radiocommunication de l'organisme, ces horaires sont indiqués sur le complément aux cartes aéronautiques (guide VFR). Lorsqu'il n'y a pas d'astérisque, cela signifie que l'organisme est ouvert 24 heures sur 24.

Les zones à statut particulier (zones « R », « D », « P », « TSA », « CBA » et « TRA »)

Ces zones ont souvent été créées pour des besoins spécifiques propres à la zone considérée :

- Les zones réglementées, appelées « zones R ». Ce sont des zones dont la pénétration est soumise à certaines conditions (contact radio, clairance) spécifiées dans le « Complément d'aide à la navigation ». Leur pénétration peut être interdite pendant les heures d'activité (si l'activité est par exemple des vols militaires à basse hauteur et à grande vitesse) ;
- Les zones dangereuses, appelées « zones D ». Leur pénétration ne nécessite aucune clairance préalable mais présente un danger pour les aéronefs : ça peut être des zones de tir par exemple. La

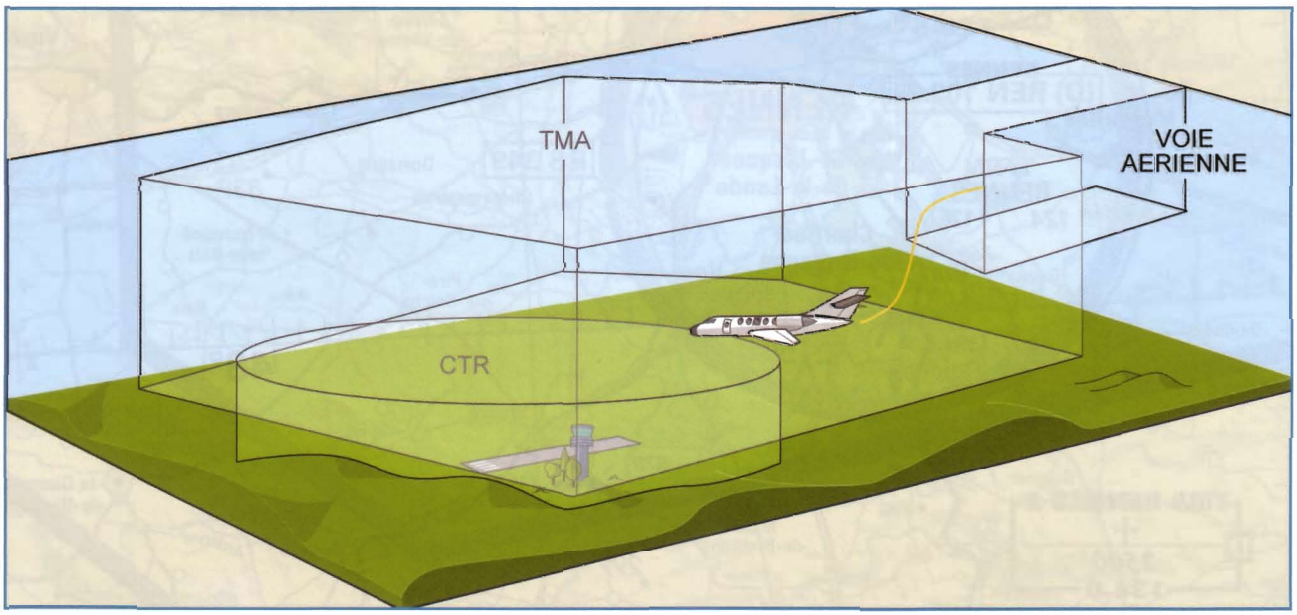


Fig. 366 – *CTR surmontée d'une TMA sur aérodrome avec trafic IFR important*

nature du danger et les heures d'activité figurent dans le complément aux cartes aéronautiques, que vous trouverez dans les librairies aéronautiques ;

- Les zones interdites, appelées « zones P » (P pour « Prohibited » qui veut dire interdit). Ce sont des espaces fermés à la circulation aérienne générale ;
- Les zones de ségrégation temporaires (TSA) et zones transfrontalières (CBA) qui sont des zones réglementées à gestion particulière et qui sont imperméables aux vols VFR pendant leur activité ;
- Les zone réservées temporairement (TRA) : espaces aériens réservés à l'usage d'usagers spécifiques pendant une durée déterminée, et au travers desquels d'autres aéronefs peuvent être autorisés à transiter avec une clairance ATC.

Vous trouverez les limites horizontales et verticales de ces zones ainsi que leur nom (D 155, R 46, P 63 par exemple) sur les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000. Les organismes qui les gèrent, les fréquences à contacter ainsi que les heures d'activité figurent dans le complément aux cartes aéronautiques.

Dans ce recueil, l'identification des zones R, D et P est précédée de l'identification de la région OACI et du pays concernés (« L » pour la région OACI Europe Atlantique Nord et « F » pour la France) conformément aux dispositions de l'Annexe 15 OACI. Seul un numéro est affecté aux autres types de zones créées uniquement au niveau européen.

Le nom « codé » des aérodromes est construit sur le même principe : il comporte quatre lettres, les deux premières désignent la région et le pays (« LF ») et les deux dernières désignent l'aérodrome. L'aéroport de Paris-Orly est ainsi codé « LFPO ».

Les horaires d'activité des zones sont données en heures UTC (pour « Universal Time Coordinates »). Les conditions météorologiques de vol à vue applicables dans ces zones sont celles prévues pour la classe d'espace dans lesquelles sont créées ces zones.

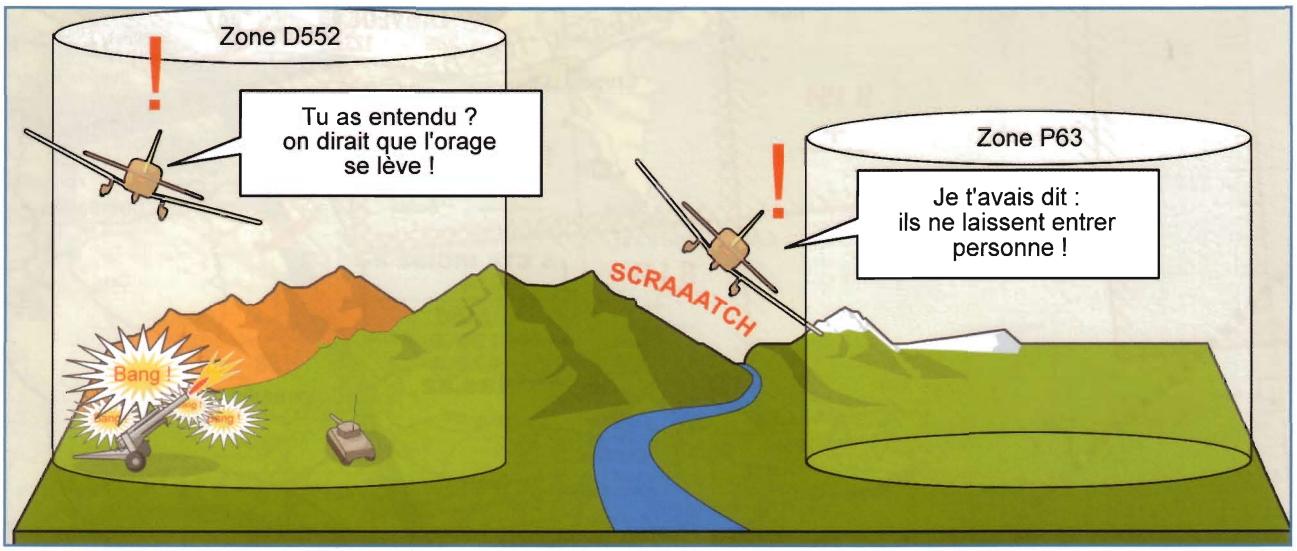


Fig. 367 – *Les zones dangereuses « D » et interdites « P ».*

LES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE VOL À VUE

Comme nous l'avons vu, le pilotage d'un avion suivant les règles de vol à vue (VFR) impose des conditions météorologiques suffisantes (conditions VMC, pour « Visual Meteorological Conditions ») portant sur des critères minimaux de :

- **visibilité en vol** (on entend par « visibilité en vol » la visibilité vers l'avant de l'appareil) ;
- **distance par rapport aux nuages**.

Les valeurs de visibilité minimale et de distances minimales par rapport aux nuages dépendent de votre **position dans le plan vertical** mais aussi du **type d'espace** et de la **classe d'espace** dans lequel vous vous trouvez. Reportez-vous au tableau récapitulatif page suivante donnant les conditions météorologiques de vol à vue en fonction de ces différents critères.

On remarque dans ce tableau que les conditions météorologiques diffèrent selon que l'on se trouve au-dessus ou en dessous **de la plus élevée des deux surfaces** suivantes (fig. 370) :

- 3 000 ft au-dessus du niveau moyen de la mer (**3 000 ft AMSL**) ;
- 1 000 ft au-dessus de la surface (**1 000 ft ASFC**).

Fig. 368

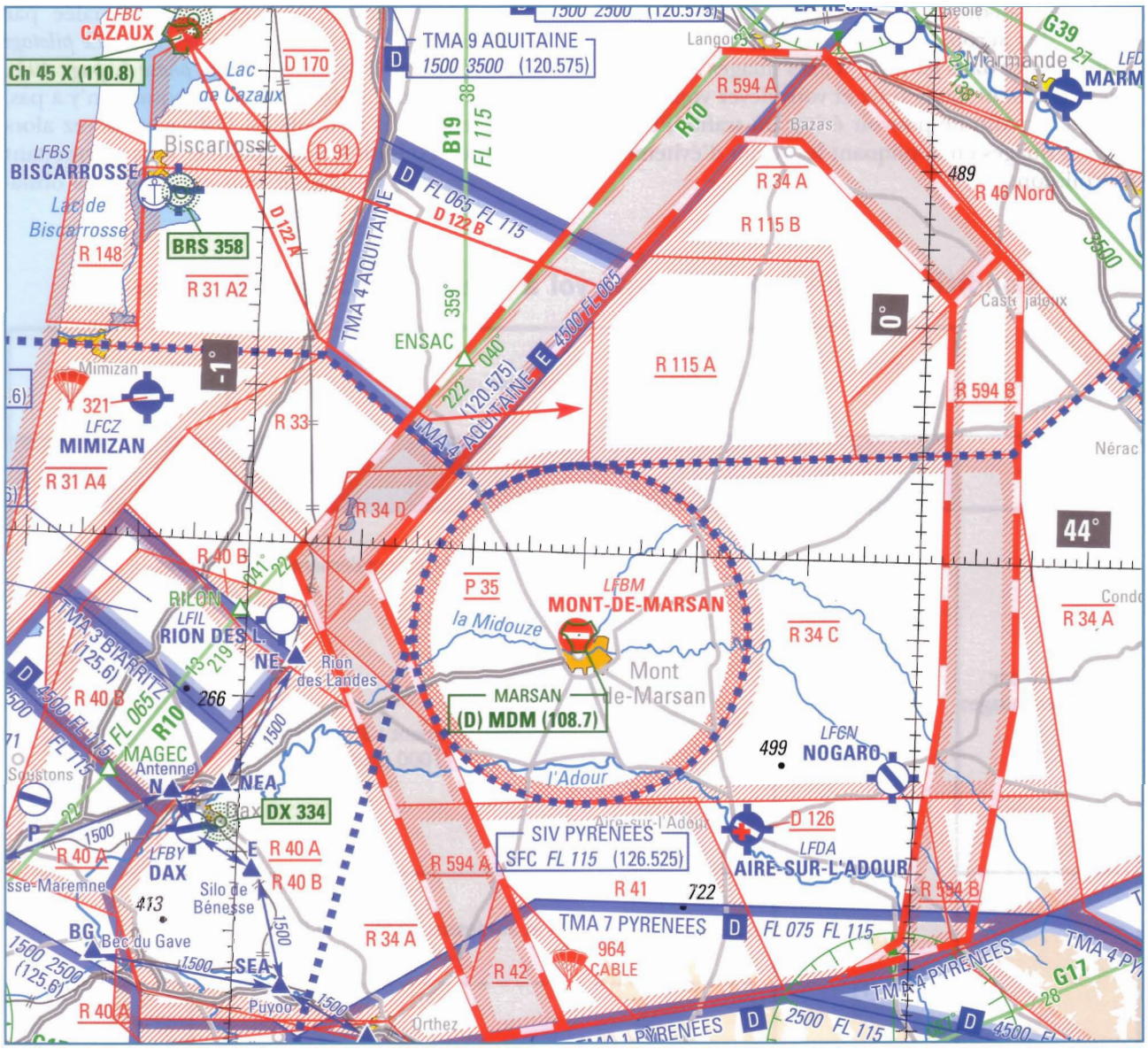


Fig. 369

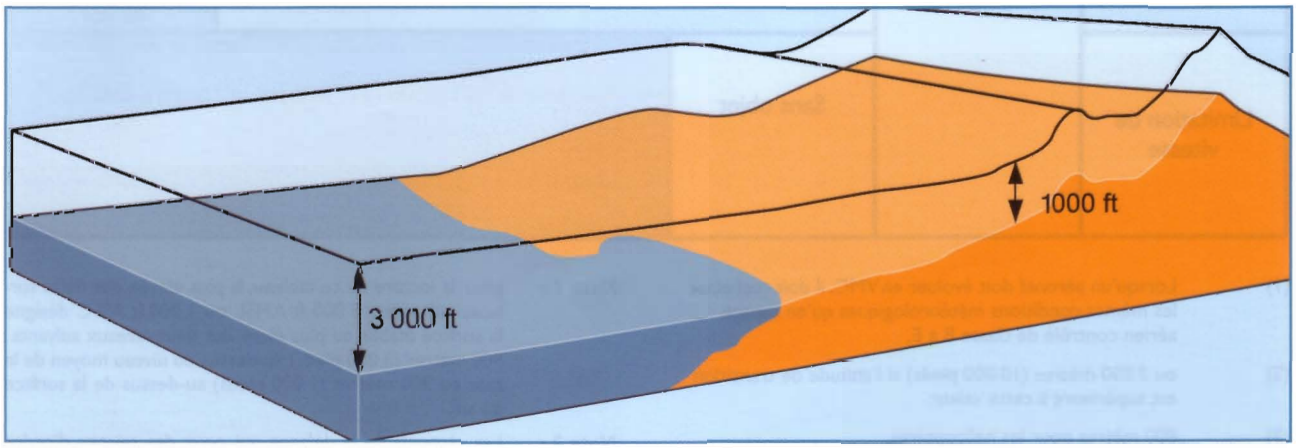


Fig. 370 – *Représentation de la surface 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft ASFC utilisée pour les conditions météorologiques de vol à vue.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA no EI 1/2006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

En effet, au-dessus, vous êtes susceptibles de rencontrer des aéronefs volant aux instruments donc pouvant voler dans les nuages ; ces nuages sont donc potentiellement dangereux et vous devez vous en tenir à l'écart afin de pouvoir éviter un trafic IFR sortant des nuages en appliquant les règles d'évitement des collisions.

Sous cette surface, sauf exception signalée par ailleurs sur les cartes aéronautiques *(cf. « Le pilotage sans référence visuelle extérieure » en phase 5, page 403)*, vous volez dans un domaine dans lequel il n'y a pas, normalement, d'aéronefs en IFR ; vous devez alors avoir des conditions de visibilité vous permettant d'assurer votre navigation tout en évitant les obsta-

Conditions météorologiques de vol à vue et limitations de vitesse

<table>
<tr><td></td><td colspan="4">Espace aérien contrôlé</td><td>Espace aérien non contrôlé</td></tr>
<tr><td>Classe</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D, E</td><td>F, G</td></tr>
<tr><td>Distance par rapport aux nuages</td><td rowspan="3">(1)</td><td colspan="3">Horizontalement : 1500 mètres
Verticalement : 300 mètres (1000 pieds)</td><td>A et au-dessous de la plus élevée des deux surfaces suivantes : 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft ASFC hors des nuages et en vue de la surface au sol</td></tr>
<tr><td>Visibilité en vol</td><td colspan="3">A et au-dessus du FL 100 (2) : 8 km
Au-dessous du FL 100 (2) : 5 km</td><td>A et au-dessous de la plus élevée des deux surfaces suivantes : 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft ASFC 1 500 mètres (3) ou distance parcourue en 30 secondes de vol</td></tr>
<tr><td>Limitation de vitesse</td><td>Sans objet</td><td colspan="3">Au-dessous du FL 100 (2) : vitesse indiquée £ 250 kt
Sauf IFR</td></tr>
</table>

(1) Lorsqu'un aéronef doit évoluer en VMC, il doit respecter les mêmes conditions météorologiques qu'en espace aérien contrôlé de classe B à E.

(2) ou 3 050 mètres (10 000 pieds) si l'altitude de transition est supérieure à cette valeur.

(3) 800 mètres pour les hélicoptères.

Note 1 : pour la lecture de ce tableau, la plus élevée des deux surfaces suivantes : 3 000 ft AMSL ou 1 000 ft ASFC désigne la surface établie au plus élevé des deus niveaux suivants : 900 mètres (3 000 pieds) au-dessus du niveau moyen de la mer ou 300 mètres (1 000 pieds) au-dessus de la surface du sol.

Note 2 : Les aéronefs de la défense qui, pour des raisons d'ordre technique ou opérationnel, ne peuvent pas respecter la limitation de vitesse à 250 nœuds, appliquent la règle liant visibilité et distance parcourue en 30 secondes de vol.

cles ; la visibilité minimale dépend donc de la vitesse : **distance parcourue en 30 secondes de vol** avec toutefois, pour les avions, un minimum de **1 500 mètres**.

Enfin, une limitation de vitesse est imposée à **250 kt** en dessous d'un certain niveau ; cette limitation est imposée lorsque la visibilité minimale est fixée à 5 km et que la prévention des collisions est assurée par le pilote en appliquant la règle « **VOIR ET ÉVITER** ». Au-delà de 250 kt, cette règle ne peut plus être appliquée en toute sécurité.

EXPRESSION DE LA POSITION VERTICALE-HAUTEUR, ALTITUDE, NIVEAU DE VOL

La position d'un avion dans le plan vertical est exprimée à l'aide d'un **niveau** : terme générique qui désigne une hauteur, une altitude ou un niveau de vol (**FL** pour **F**light **L**evel) selon le calage altimétrique utilisé *(cf. le § sur « Les calages altimétriques » en phase 2 page 100)*.

Quels niveaux utiliser en VFR ?

Dans la circulation d'aérodrome

La position verticale d'un avion peut être exprimée par une hauteur ou l'altitude selon la méthode de travail à laquelle le pilote est formé (utilisation du calage altimétrique QFE ou QNH) ; toute indication de hauteur est alors automatiquement suivie des lettres Q, F, E sans utiliser l'alphabet OACI correspondant à ces lettres.

Exemple

« 2 000 QFE » pour une hauteur de 2 000 ft au-dessus de l'aérodrome.

En croisière (fig. 371)

En croisière, la position verticale d'un avion est exprimée par une **altitude** ou en **niveau de vol (FL)** selon sa position verticale (fig. 371) :

- Au-dessous de **3 000 ft ASFC**, la position verticale s'exprime en **altitude**. L'altimètre est calé au **QNH**. L'altitude est libre tout en respectant la hauteur minimale en VFR et dépendra de la hauteur des obstacles, des hauteurs minimales au-dessus des zones urbanisées, des contraintes dues aux espaces (zone réglementée, etc.), dues aux conditions météorologiques (plafond, visibilité).
  Le sigle « **ASFC** » pour « **A**bove **SurFaCe** » peut être utilisé pour remplacer l'expression « **AGL ou AMSL** » pour « **A**bove **G**round **L**evel » (au-dessus du sol) ou « **A**bove **M**ean **S**ea **L**evel »), (au-dessus

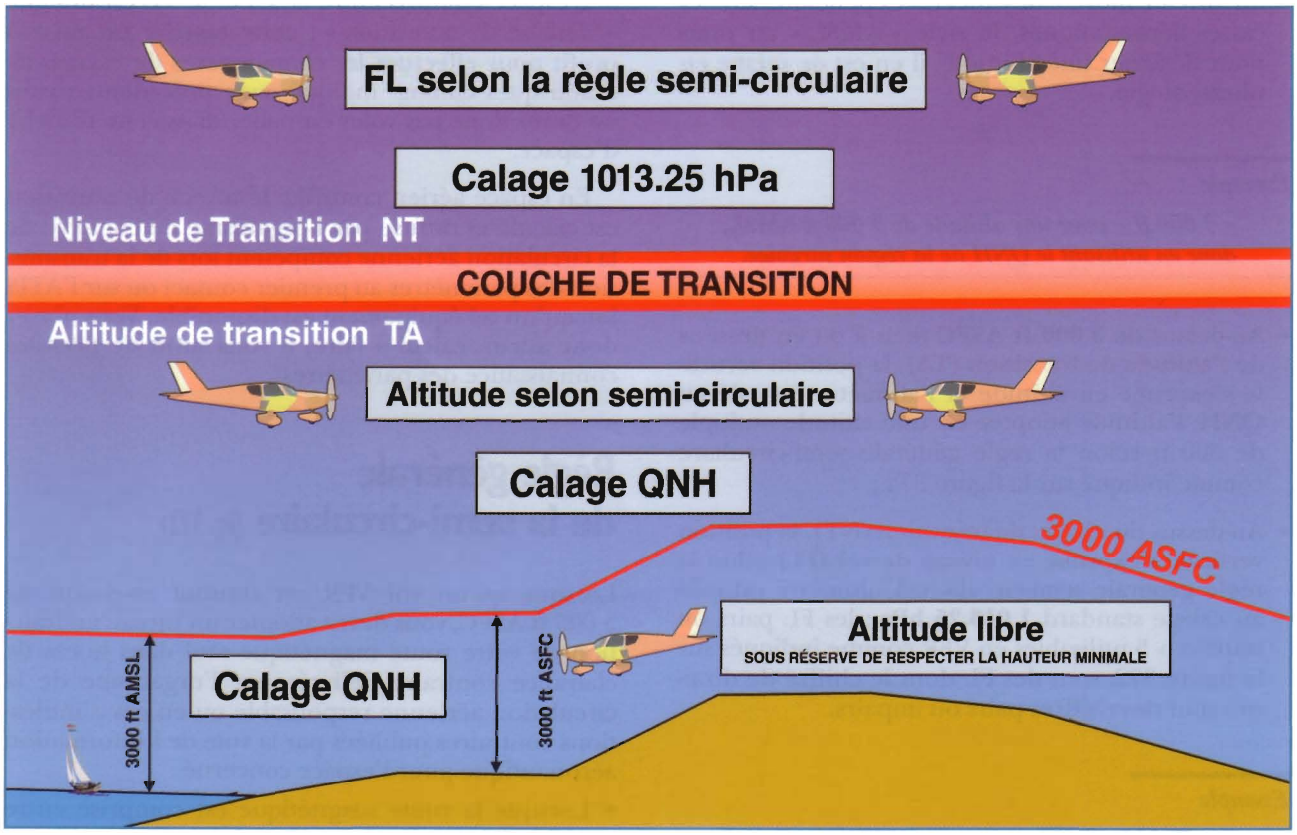


Fig. 371 – *Niveaux de croisière en VFR.*

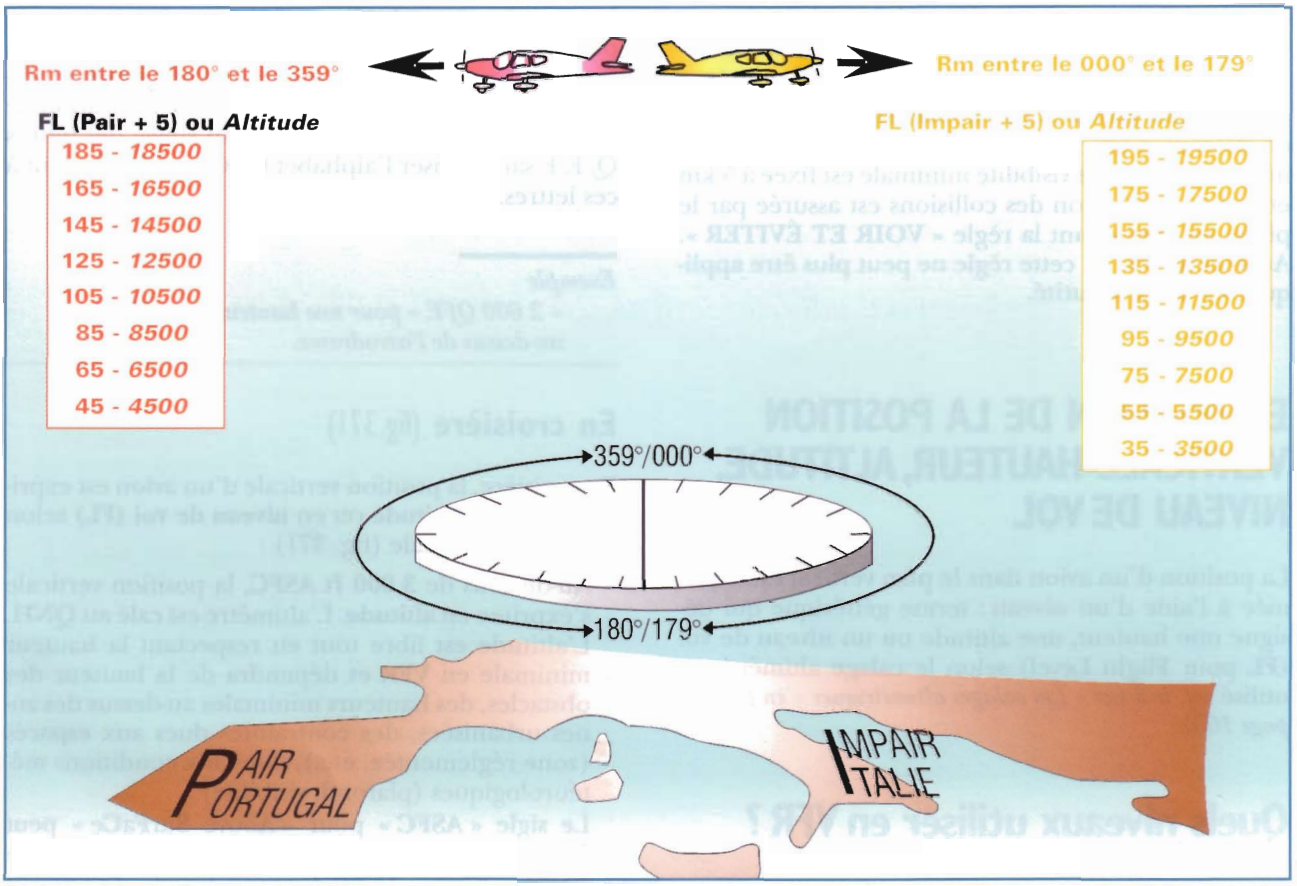


Fig. 372 – *La règle générale la semi-circulaire en VFR.*

du niveau moyen des mers). Cependant, sur les cartes aéronautiques, le sigle « AMSL » est omis pour désigner une altitude ; il en est de même en phraséologie.

Exemple

« 3 000 ft » pour une altitude de 3 000 ft AMSL, donc en utilisant le QNH de la région survolée.

- Au-dessus de **3 000 ft ASFC** mais à ou en dessous de **l'altitude de transition (TA)**, la position verticale s'exprime en altitude et l'altimètre est calé au **QNH**. l'altitude adoptée est une altitude multiple de 500 ft selon la règle générale semi-circulaire comme indiqué sur la figure 372 ;
- Au-dessus du **niveau de transition (NT)**, la position verticale s'exprime en **niveau de vol (FL)** selon la règle générale semi-circulaire L'altimètre est calé au calage standard **1 013,25 hPa** ; les FL pairs ou impairs + 5 utilisables en VFR comme indiqués sur la figure 372, sont des FL dont le chiffre de dizaines sont des chiffres pairs ou impairs.

Exemple

Les FL055, FL075, etc., sont des FL impairs + 5 et les FL045, FL065, etc., sont des FL pairs + 5.

L'espace compris entre la TA et le TL est désigné « **Couche de transition** » ; cette couche est mise à profit pour effectuer les changements de calages altimétriques comme indiqué page précédente ; vous ne devez donc pas voler en palier dans cette tranche d'espace.

En espace aérien contrôlé, le niveau de transition est calculé et diffusé par l'organisme de contrôle de la circulation aérienne compétent lors de la transmission des paramètres au premier contact ou sur l'ATIS lorsqu'un tel équipement est disponible. Vous n'avez donc aucun calcul à faire, il vous suffit de prendre connaissance des paramètres.

Règle générale de la semi-circulaire (fig. 372)

Lorsque qu'un vol VFR est conduit au-dessus de 3 000 ft ASFC, vous devez adopter un niveau en fonction de votre route magnétique sauf dans le cas de clairance contraire délivrée par l'organisme de la circulation aérienne responsable ou en cas d'indications contraires publiées par la voie de l'information aéronautique pour l'espace concerné :

- Lorsque la route magnétique est comprise entre **000 °** et **179 °**, le niveau de vol doit être un **FL impair** (FL dont le chiffre des dizaines est impair) **+ 5**

ou à une altitude , multiple de 500, dont le chiffre des milliers est un chiffre impair ;

- Lorsque la route magnétique est comprise entre **180 °** et **359 °**, le niveau de vol utilisé doit être un **FL pair** (FL dont le chiffre des dizaines est pair) **+ 5** ou à une altitude, multiple de 500, dont le chiffre des milliers est un chiffre impair..

Un moyen pratique pour vous rappeler cette notion de pair ou impair :

– si vous volez vers l'Est, soit vers l'**I**talie par rapport à la France métropolitaine, vous volez à des niveaux **I**mpairs + 5 (**I** comme Italie) ;

– si vous volez vers l'Ouest, soit vers le **P**ortugal par rapport à la France métropolitaine, vous volez à des niveaux **P**airs + 5 (**P** comme Portugal).

Cas particulier des AWY

Une sectorisation différente est adoptée dans les AWY (secteurs Nord et Sud au lieu de secteurs Est et Ouest) pour tenir de la direction des flux de trafic IFR dans notre région mais cette sectorisation particulière ainsi que les sens uniques en vigueur sur certains axes, ne sont pas applicables aux VFR dans les AWY de classe E. Vous continuez donc à appliquer la règle générale semi-circulaire rappelée ci-dessus ; il faut juste s'attendre :

– en AWY de classe E, à croiser des aéronefs IFR (à des niveaux pairs ou impairs) qui suivent une autre règle ;

– en AWY de classe autre que la classe E, comme d'ailleurs dans tous les espaces contrôlés où les vols VFR sont soumis à clairance, à recevoir des clairances fixant des niveaux de vol contraires à la règle semi-circulaire générale.

Changement de calage altimétrique

Le changement de calage altimétrique (du QNH vers le 1 013,25 et vice-versa) se fait à l'altitude transition en montée, au niveau de transition en descente (fig. 373).

Délivrance de clairances relatives aux niveaux

Tout vol contrôlé peut recevoir une clairance fixant un niveau contraire à la règle semi-circulaire ; une nouvelle clairance doit être demandée avant toute modification des éléments de vols, donc tout changement de niveau notamment.

Par ailleurs, lorsque vous recevez une clairance vous imposant un changement de niveau, vous restez responsable du respect des conditions VMC ; par conséquent, si la clairance reçue risque de vous amener à ne plus respecter ces conditions, il vous appartient de le signaler à l'organisme de la circulation aérienne en temps utile pour qu'il puisse vous délivrer une nouvelle clairance qui vous convienne.

Si vous avez été autorisé à voler dans un espace contrôlé à un niveau contraire à la règle semi-circulaire, pensez à reprendre votre niveau initial en sortant de cet espace.

Enfin, lors d'une délivrance d'une première clairance vers une altitude, le QNH à utiliser est systématiquement fourni.

Exemple

« Descendez à 2 500 QNH 1 010 ».

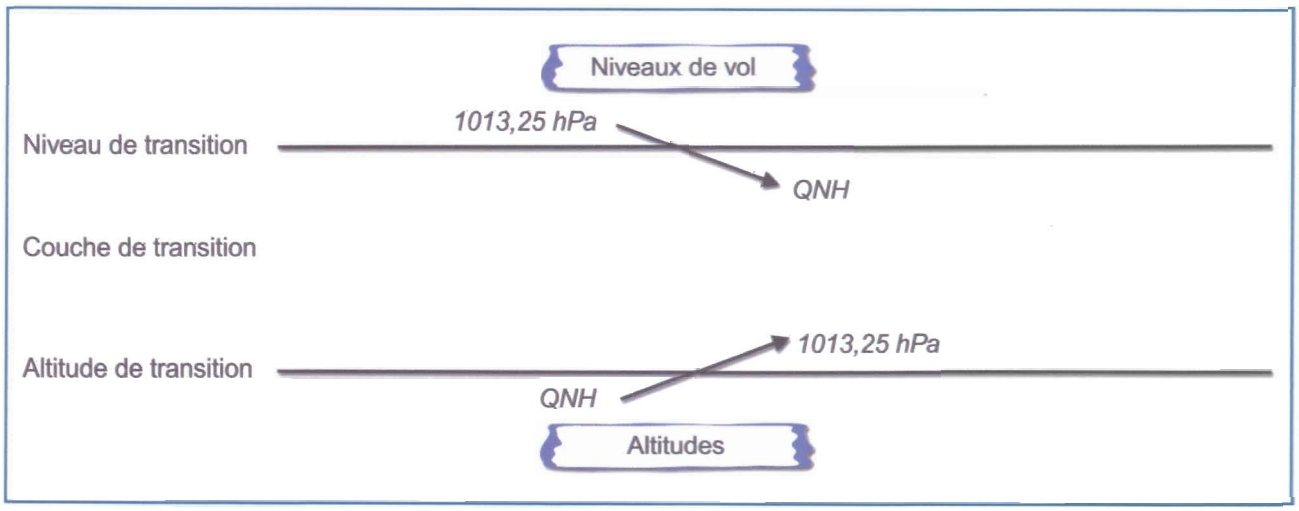


Fig. 373 – *La règle générale la semi-circulaire en VFR.*

Les classes d'espace aérien

Tout ce que vous venez de voir montre que, dans l'espace aérien, il peut y avoir interférence entres les trajectoires IFR et VFR. Même en conditions VMC, la règle voir et éviter ne suffit pas toujours à assurer un niveau de sécurité satisfaisant aux aéronefs. En effet, les pilotes ont parfois une charge de travail importante, notamment en TMA ou CTR. Il faut donc protéger les vols IFR ou permettre aux organismes de contrôle de rendre aux trafics connus d'eux les services adaptés, espacement ou information de trafic (principe ou voir ou éviter).

Pour ce faire, les différents volumes de l'espace aérien sont affectés d'une sorte d'indice qualitatif qu'on appelle « classe d'espace » A, B, C, D, E, F ou G. Les services rendus et les exigences sont rappelés dans le tableau ci-contre et les conditions VMC requises sont publiées en page 286.

Note

Vous volez sur la limite entre un espace de classe D, contrôlé, et un espace de classe G, non contrôlé. Vous respectez les exigences de l'espace de classe G, et votre vol est non contrôlé (voir tableau).

Classes d'espace : services rendus et exigences

CLASSES D'ESPACES	VOLS ADMIS	SERVICES FOURNIS PAR LES ORGANISMES DE LA CIRCULATION AERIENNE			OBLIGATION RADIO	SOUMIS A CLAIRANCE	LIMITATION DE VITESSE (1)
		CONTRÔLE	INFORMATION	ALERTE			
A	IFR	Séparation IFR/IFR	oui	oui	oui	oui	250kt
B	IFR	Séparation IFR/IFR IFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
	Tous VFR	Séparation VFR/IFR VFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
C	IFR	Séparation IFR/IFR IFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
	VFR Jour	Séparation VFR/IFR Information de trafic (2) VFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
	VFR Nuit	Séparation VFR Nuit / IFR Information de trafic VFR Nuit / VFR Nuit	oui	oui	oui	oui	250 kt
	VFR Spécial (en CTR)	Séparation VFR Spécial / IFR Information de trafic VFR spécial /VFR spécial	oui	oui	oui	oui	250 kt
D	IFR	Séparation IFR/IFR Information de trafic (2) IFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
	VFR Jour	Information de trafic (2) VFR/IFR VFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250kt
	VFR Nuit	Séparation VFR nuit / IFR Information de trafic VFR Nuit / VFR Nuit	oui	oui	oui	oui	250 kt
	VFR Spécial (en CTR)	Séparation VFR Spécial/IFR Information de trafic VFR spécial /VFR spécial	oui	oui	oui	oui	250 kt
E	IFR	Séparation IFR/IFR IFR/VFR Nuit Information de trafic IFR/VFR	oui	oui	oui	oui	250 kt
	VFR Jour	Non mais Information de trafic (3) VFR/IFR	oui	oui	non	non	250 kt
	VFR Nuit	Séparation VFR nuit / IFR Information de trafic VFR Nuit / VFR Nuit	oui	oui	oui	oui	250 kt
F	IFR	Non mais séparation (3) IFR/IFR	oui	oui	oui	non	250 kt
	VFR	non	oui	oui	non	non	250 kt
G	IFR	non	oui	oui	oui	non	250 kt
	VFR	non	oui	oui	non	non	250 kt

(1) sous FL100 (ou 10000 ft si TA>10000 ft AMSL
(2) et suggestion de manœuvre d'évitement à la demande du pilote
(3) autant que possible

Classification des espaces aériens à l'intérieur desquels les organismes français de la circulation aérienne assurent les services de la circulation aérienne à l'exception des zones P ainsi que des zones R, D,TSA et CBA lorsqu'elles sont actives :

1 Espace inférieur

1.1 Les régions de contrôle (TMA) peuvent être classées en A, B, C D ou E, suivant les activités qui y sont prévues ; les zones de contrôle (CTR) sont au moins de classe D.

1.2 En dessous du plus élevé des deux niveaux suivants: FL 115 ou 900 m (3 000 ft) ASFC :

- les voies aériennes (AWY) sont classées E;
- en dehors des AWY et des autres espaces aériens contrôlés de classe A, C, D ou E, l'espace aérien est classé G.

1.3 Au-dessus du plus élevé des deux niveaux suivants: FL 115 ou 900 m (3 000 ft) ASFC :

- les AWY sont classées D;
- en dehors des AWY et des autres espaces aériens contrôlés de classe A, C ou D, l'espace aérien est classé D à l'exclusion des portions d'espace situées au-dessus de certaines régions montagneuses et de l'espace de situé au-dessus de la haute mer (au-delà de 12 NM des côtes) qui sont classées E.

2 Espace supérieur

La région supérieure d'information de vol (UIR) est de classe G à l'exclusion de la région supérieure de contrôle (UTA) du FL 195 au FL 660 qui est classée en C.

INFORMATION AÉRONAUTIQUE TEMPORAIRE

L'information aéronautique temporaire (normalement inférieure à une durée de trois mois) est publiée sous forme de :

- NOTAM (Notice to airman)
- Supplément aux AIP (SUP AIP).

Les avis aux navigateurs aériens (NOTAM)

Les NOTAM, sigle voulant dire « Notice To Air Men » (messages aux navigants), sont des messages publiés par le Service de l'Information Aéronautique. Ils concernent l'état ou la modification d'une installation au sol (infrastructure aéroportuaire, balises de radionavigation, etc.), la présence d'obstacles (grues...) dans les trajectoires de départ et d'arrivée ou d'autres dangers pour la navigation aérienne. Il peut s'agir aussi d'une modification d'un organisme de la circulation aérienne (changement de fréquence par exemple) ou d'une modification de procédure.

L'état de contamination des pistes (neige, verglas) est indiqué par un NOTAM particulier désigné « SNOWTAM » ; les SNOWTAM sont diffusés comme un NOTAM normal. L'état de contamination des pistes peut également être diffusé par le message d'observation météorologique METAR.

Enfin, un NOTAM appelé «NOTAM Trigger» est un NOTAM particulier diffusé afin d'appeler l'attention de l'usager sur la présence d'un SUP AIP modifiant l'information aéronautique permanente.

Les SUP AIP

Les informations temporaires contenant des textes longs ou des supports cartographiques sont diffusées sous forme de suppléments à l'AIP (SUP AIP) ; les SUP AIP concernent essentiellement les modifications de procédures, les modifications ou créations d'espaces à statut particulier notamment pour les exercices militaires ; ils sont l'objet de la diffusion d'un NOTAM Trigger comme rappelé ci-dessus.

Comment consulter l'information aéronautique temporaire ?

L'information aéronautique temporaire peut être consultée sur les bornes télématiques (Minitel ou OLIVIA) se trouvant sur certains aérodromes, sur le serveur Minitel 3614 code NOTAM, dans les Bureaux d'Information Aéronautique (**BIA**), les Bureaux Régionaux d'Information et d'Assistance au vol (BRIA), le Bureau National d'Information Aéronautique (BNIA). Les coordonnées du BRIA sont indiquées dans le guide VFR et l'Atlas VAC.

La consultation des messages NOTAM constitue une des étapes primordiales de la préparation du vol, au même titre que la consultation de la météo ou le calcul des performances. C'est un acte de **sécurité**.

Les bornes télématiques installées sur certains aérodromes fonctionnaient jusqu'à présent avec le Minitel, elles sont en cours de remplacement par des bornes donnant accès au site **OLIVIA** (Outil en Ligne d'Intégration et de Visualisation d'Informations Aéronautiques) conçu pour faciliter la préparation du vol (NOTAM, dossier météo, dépôt de PLN).

Toutes les informations aéronautiques temporaires ainsi que les circulaires d'informations aéronautiques destinées à expliciter certaines règles particulières sont disponibles sur le site du SIA. Les fonctions disponibles sur les bornes OLIVIA sont reprises intégralement dans la rubrique « Préparation du vol » du site.

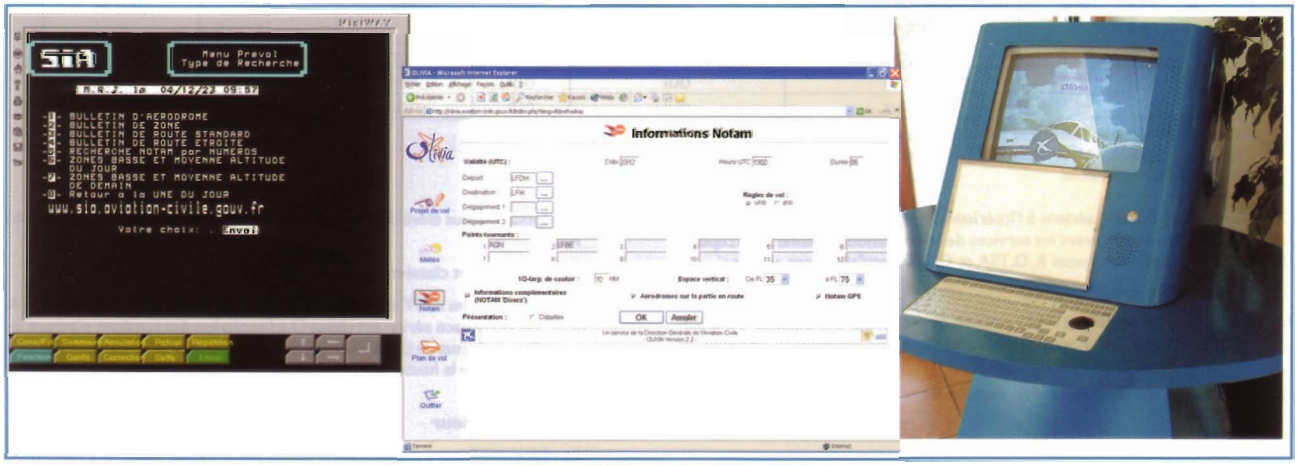


Fig. 374 – *Borne OLIVIA et 3614 NOTAM.*

LES MONTÉES PARTICULIÈRES ASSOCIÉES AU DÉCOLLAGE

Le décollage est une phase du vol où la charge de travail est souvent importante. Votre pilotage doit être précis, pour obtenir les performances de montée attendues, sans pour autant accaparer toute votre attention.

Dans la pratique votre instructeur vous expliquera que la vitesse de montée (indication de l'anémomètre) doit être maintenue constante par un contrôle rigoureux de l'assiette. La vitesse verticale de montée (indication du variomètre) est subie en fonction des paramètres du jour, température, humidité, altitude pression et de la masse de l'avion.

Il existe différents types de montées.

La montée normale

Elle correspond au meilleur compromis vitesse propre/vitesse verticale. Elle permet d'avoir une bonne visibilité vers l'avant et un refroidissement moteur satisfaisant. Elle sera préférée chaque fois que les conditions opérationnelles le permettront.

La montée à Vz max

La meilleure vitesse ascensionnelle correspond à la vitesse qui permet d'atteindre une altitude donnée en un temps minimal. La montée à Vz max se caractérise par :

- une vitesse de montée légèrement plus faible que la vitesse de montée normale ;
- l'adoption de la puissance maximum autorisée ;
- la configuration lisse, sauf cas particulier précisé dans le manuel de vol.

Cette montée est généralement utilisée en croisière pour un changement rapide de niveau de vol, après instruction du contrôle par exemple.

La montée à pente max

La recherche du meilleur angle de montée permet de prendre le plus d'altitude possible sur une distance donnée. Associée au décollage, cette montée permet le franchissement d'obstacles (fig. 376 page suivante).

La montée à pente max se caractérise par :

- une vitesse indiquée nettement plus faible que la vitesse de montée normale ;
- l'adoption de la puissance maximale autorisée ;
- la configuration lisse sauf instructions contraires du manuel de vol.

En adoptant ce type de montée, vous diminuez la visibilité vers l'avant car une assiette importante est nécessaire, de plus le refroidissement moteur est moins efficace, car à une puissance élevée est associée une vitesse faible. Ainsi, dès que le franchissement des obstacles est effectué, il est conseillé de poursuivre en montée normale.

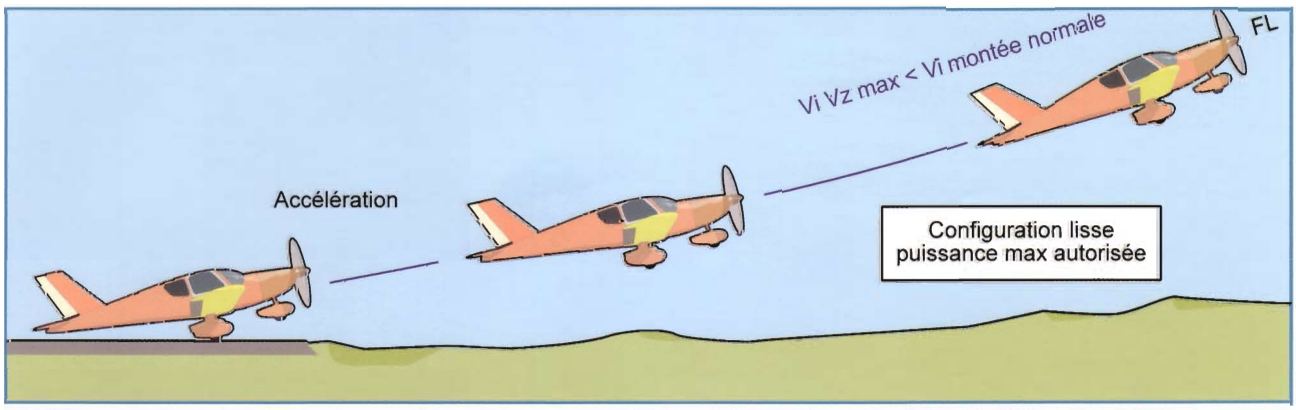


Fig. 375 – *Montée à V_z max.*

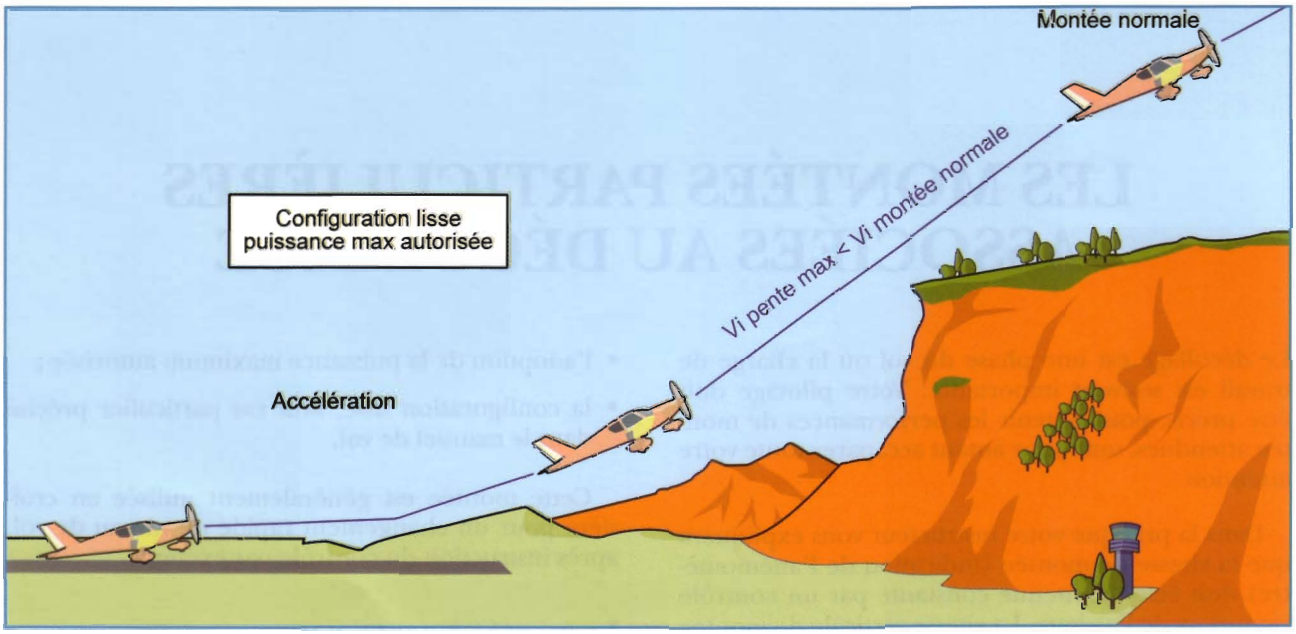


Fig. 376 – *Montée à pente max.*

LE DÉCOLLAGE ET L'ATTERRISSAGE PAR VENT DE TRAVERS

Vous devez connaître la limitation vent de travers de votre avion. Celle-ci est précisée dans le manuel de vol, comme étant la force du vent traversier, en nœud, au-delà de laquelle il n'a pas été vérifié que le pilote pouvait maintenir l'avion sur sa trajectoire pendant la phase de roulage au décollage ou à l'atterrissage.

AU DÉCOLLAGE

Pendant le roulage pour contrer l'effet de girouette, vous devez braquer les ailerons en inclinant le manche vers le vent. Avec l'augmentation de la vitesse, cette correction doit diminuer puisque l'efficacité aérodynamique des gouvernes croît.

Dès que l'avion quitte le sol, vous devez afficher une correction de dérive pour maintenir l'avion sur l'axe de décollage. L'utilisation de la piste comme repère visuel permet un bon dosage de la dérive dès les premiers instants de la montée (fig. 377).

APPROCHE ET ATTERRISSAGE

Corrections pendant le dernier virage

Suivant la provenance du vent traversier, vous allez être confronté à deux problèmes distincts :

Le vent vient de l'intérieur du virage

Au cours du virage, l'effet de dérive augmente et atteint son maximum lorsque l'avion est aligné. Si la sortie de virage se fait lorsque l'appareil arrive sur l'axe, l'avion se trouvera décalé par rapport à l'axe (fig. 378).

Vous devez donc débuter le dernier virage plus tôt, afin de ne pas dépasser l'axe, et poursuivre ce virage jusqu'à l'obtention de la correction de dérive (fig. 379).

Le vent vient de l'extérieur du virage

Dans cette situation, si vous effectuez le dernier virage sans correction, l'avion sortira de virage avant d'être aligné sur l'axe d'approche.

Vous devez donc débuter votre virage plus tard, et anticiper l'arrêt du virage pour appliquer la correction de dérive (fig. 380).

Correction pendant l'approche finale

Le vent traversier est corrigé pour maintenir une trajectoire rectiligne, matérialisée par l'axe de piste, en appliquant une correction de dérive.

Au cours de la descente, la force du vent diminue (effet de frottement avec le sol), aussi est-il nécessaire

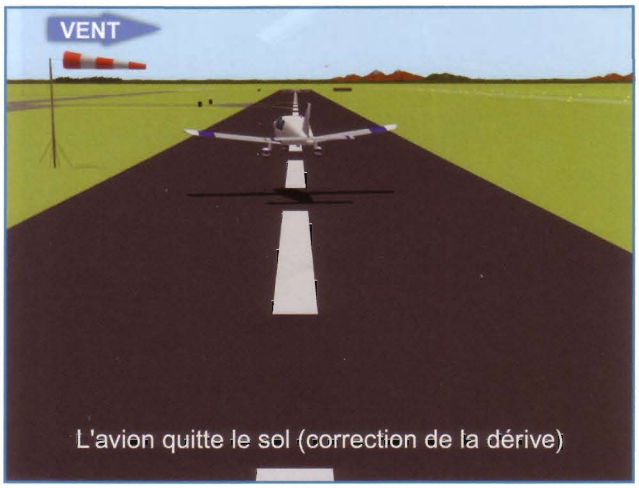


Fig. 377

d'ajuster progressivement la correction de dérive par une diminution de son amplitude.

Atterrissage

En finale l'avion maintient l'axe d'approche par une correction de dérive. Cela se traduit par un cap différent de la route suivie et pour le pilote par l'impression d'une progression « en crabe ». L'inclinaison et le dérapage sont nuls lors de la correction de dérive, seul le cap est différent de la route.

A l'approche du sol, la force du vent diminuant, la correction de dérive devra être de plus en plus faible pour que l'avion reste sur la trajectoire.

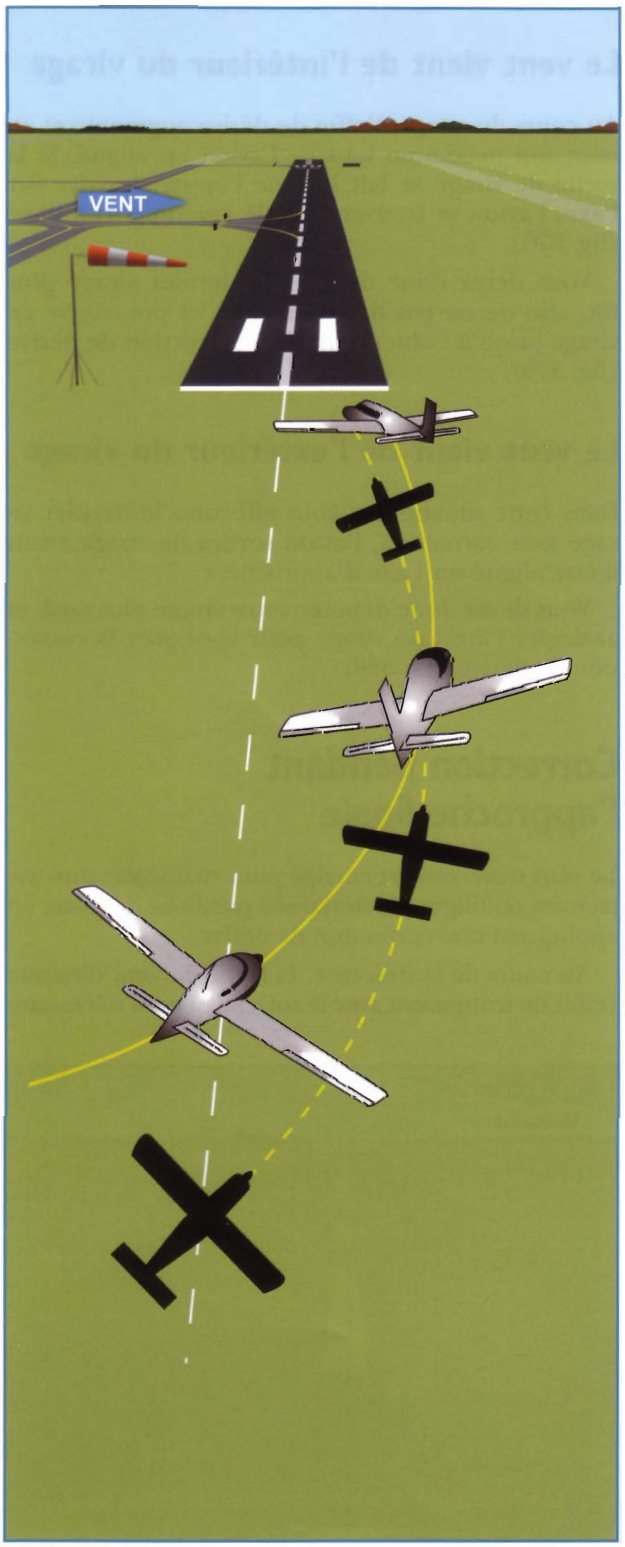


Fig. 378 – *Pas de correction entreprise.*

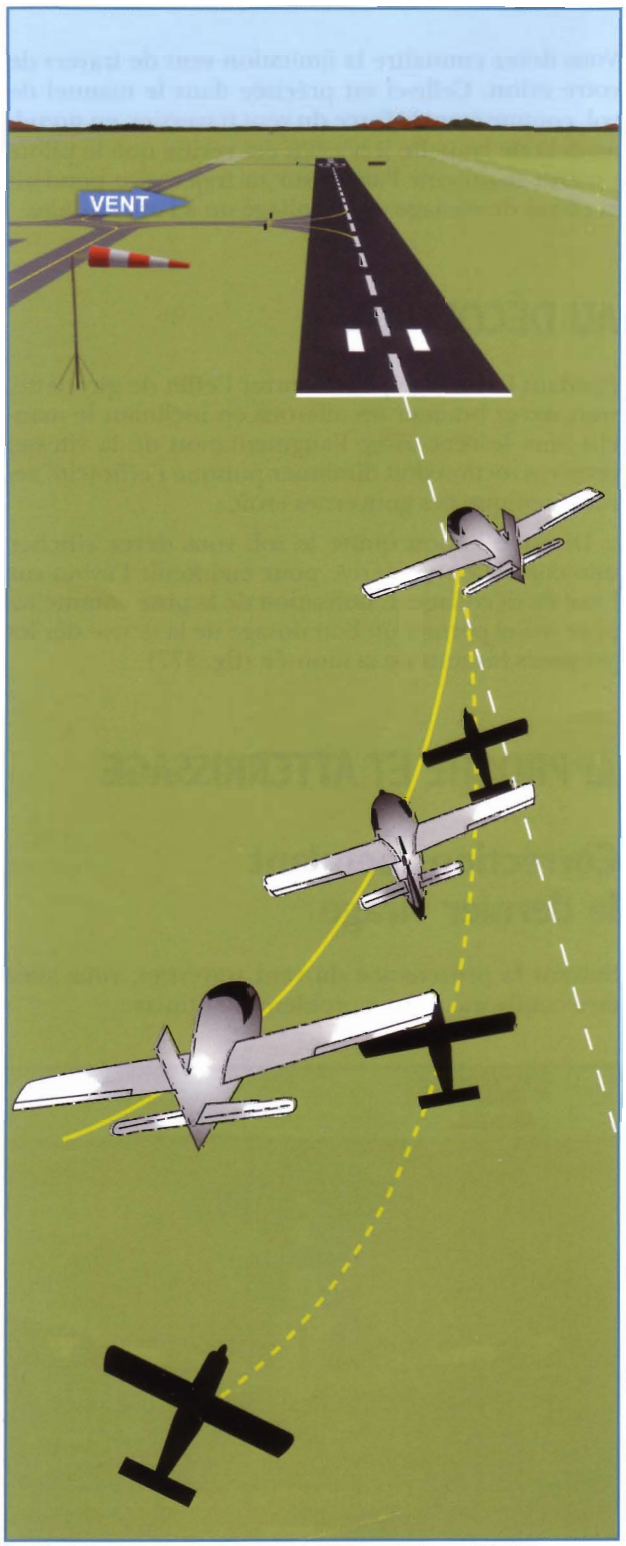


Fig. 379 – *Correction appliquée.*

La procédure de l'arrondi pour l'atterrissage vous a été décrite *Unité d'Instruction III.1.* La procédure de l'atterrissage par vent de travers vous sera enseigné par votre instructeur, trois procédures sont proposées :

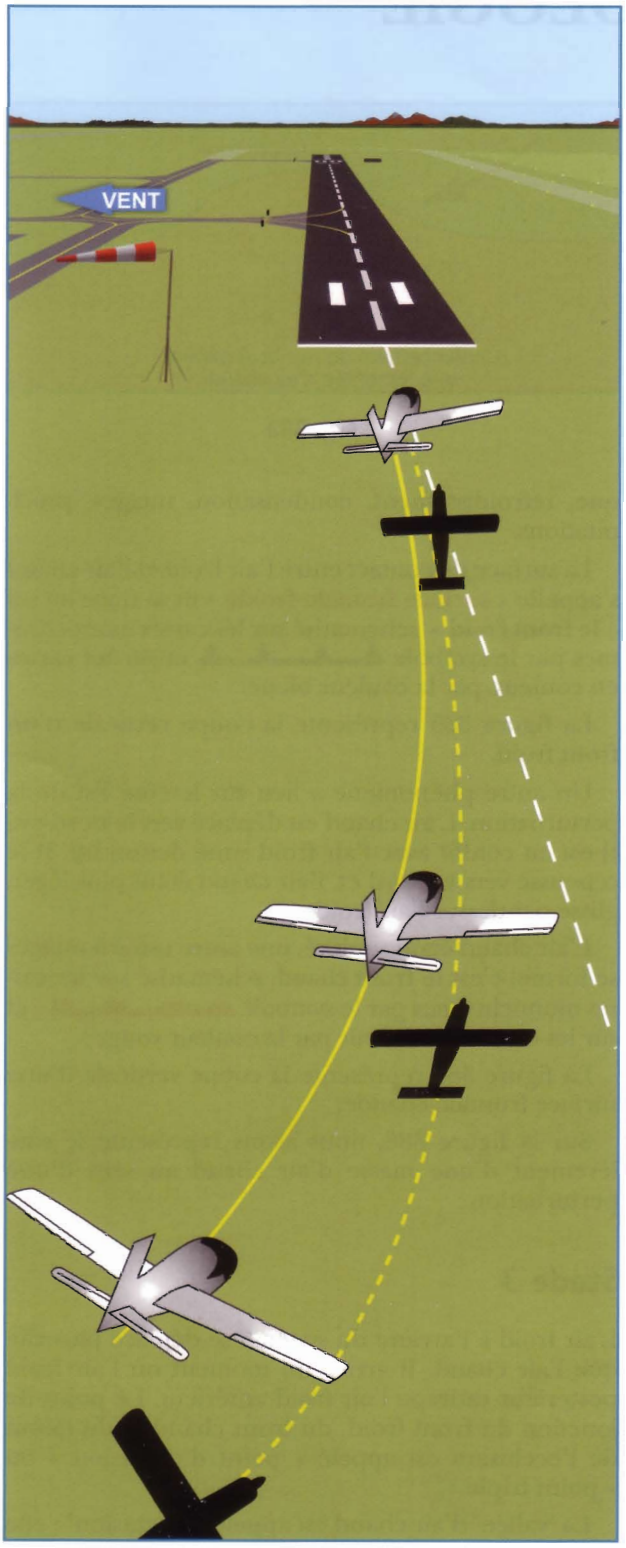


Fig. 380 – *Vent de l'extérieur du virage : correction appliquée.*

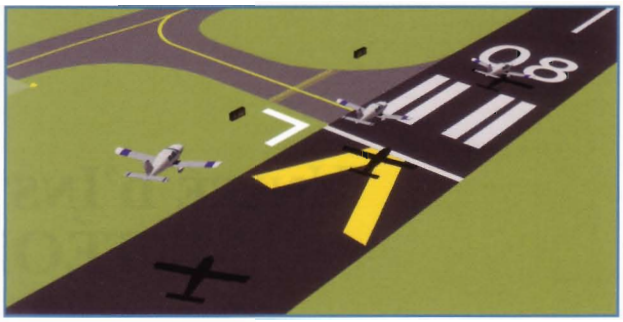


Fig. 381 – *Correction de dérive en finale.*

- au moment du toucher des roues, il faut « décraber » l'avion (aligner le nez de l'avion avec l'axe de la piste) ;
- au moment du toucher des roues, il faut laisser l'avion avec la dérive de l'instant prendre contact avec le sol ;
- incliner légèrement l'avion durant l'arrondi, côté vent.

Cette procédure n'engendrera pas d'efforts anormaux sur le train d'atterrissage. Au toucher l'avion possède encore de la portance et une faible partie du poids repose sur l'ensemble « jambes de train/jantes/pneumatiques ».

Au fur et à mesure de la décélération, l'effet du vent traversier augmente et l'avion roule avec une dérive. L'ensemble « jambes de train/jantes/pneumatiques » est conçu pour cette utilisation d'efforts minimaux.

ATTENTION

Dans tous les cas d'atterrissage par vent de travers il est important de tenir compte de l'effet dièdre : on braquera le manche du côté d'où vient le vent.

Fig. 382 – *Diminution de la correction de dérive en finale.*

UNITÉ D'INSTRUCTION IV.2
MÉTÉOROLOGIE

LES PERTURBATIONS
LES FRONTS

Aux latitudes moyennes (entre le 40e et le 50e parallèle nord), deux masses d'air coexistent, l'une sèche et froide d'origine polaire, l'autre humide et chaude d'origine tropicale.

La limite entre ces deux masses d'air est le siège de phénomènes météorologiques particuliers. Elle n'est pas rectiligne : elle subit des ondulations. Ce sont ces ondulations qui génèrent les perturbations qui affectent l'Europe de l'Ouest.

Naissance et évolution des perturbations

Stade 1

La masse d'air d'origine polaire s'enfonce vers le sud-est, entraînant par contrecoup une remontée d'air chaud tropical vers le nord-est. Cet air chaud, léger, surmonte l'air froid polaire, tout en engageant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre un mouvement de **rotation** des masses d'air (fig. 383).

Ce phénomène intéresse une étendue d'environ 300 à 600 NM et d'une épaisseur de 25 000 pieds.

Stade 2

L'ondulation s'amplifie, ainsi que la rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre des masses d'air et le mouvement vers le haut de l'air chaud.

Ce mouvement est générateur d'une baisse de la pression atmosphérique, ou d'une « **dépression** », par un phénomène similaire au tourbillon que l'on peut observer lorsque l'on vide une baignoire (fig. 384).

Voyons ce qu'il se passe dans le plan vertical.

Une descente polaire s'effectue vers le sud-est, en repoussant de l'air chaud devant elle (air chaud qui se déplace vers le nord-est). Dans le même temps, l'air froid, plus lourd que l'air chaud, se glisse sous l'air chaud et le soulève (fig. 385).

L'air chaud soulevé subit le processus que nous connaissons bien : soulèvement, détente adiabatique, refroidissement, condensation, nuages, précipitations.

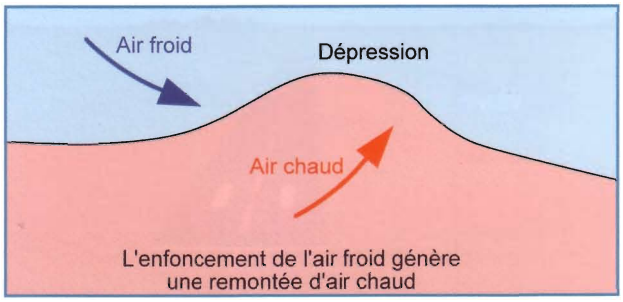


Fig. 383

La surface de contact entre l'air froid et l'air chaud s'appelle « **surface frontale froide** » et sa trace au sol « **le front froid** » schématisé sur les cartes monochromes par le symbole ▲▲▲▲ et sur les cartes en couleur, par la couleur bleue.

La figure 385 représente la coupe verticale d'un front froid.

Un autre phénomène a lieu sur le côté Est de la perturbation. L'air chaud est déplacé vers le nord-est. Il est en conflit avec l'air froid situé devant lui. Il le repousse vers le Nord et, l'air chaud étant plus léger, glisse par-dessus l'air froid.

L'air chaud étant soulevé, une autre usine à nuages se forme, c'est le **front chaud**, schématisé sur les cartes monochromes par le symbole ●●●●, et sur les cartes en couleur par la couleur rouge.

La figure 386 représente la coupe verticale d'une surface frontale chaude.

Sur la figure 388, nous avons représenté le soulèvement d'une masse d'air chaud au sein d'une perturbation :

Stade 3

L'air froid à l'arrière du système se déplace plus vite que l'air chaud. Il arrive un moment où l'air froid postérieur rattrape l'air froid antérieur. Le point de jonction du front froid, du front chaud et du début de l'occlusion est appelé « point d'occlusion » ou « point triple ».

La 'vallée' d'air chaud est appelée 'occlusion' ; elle peut être active notamment au niveau du point triple . L' **occlusion** » est schématisée sur les cartes monochromes par le symbole ▲●▲●, et sur les

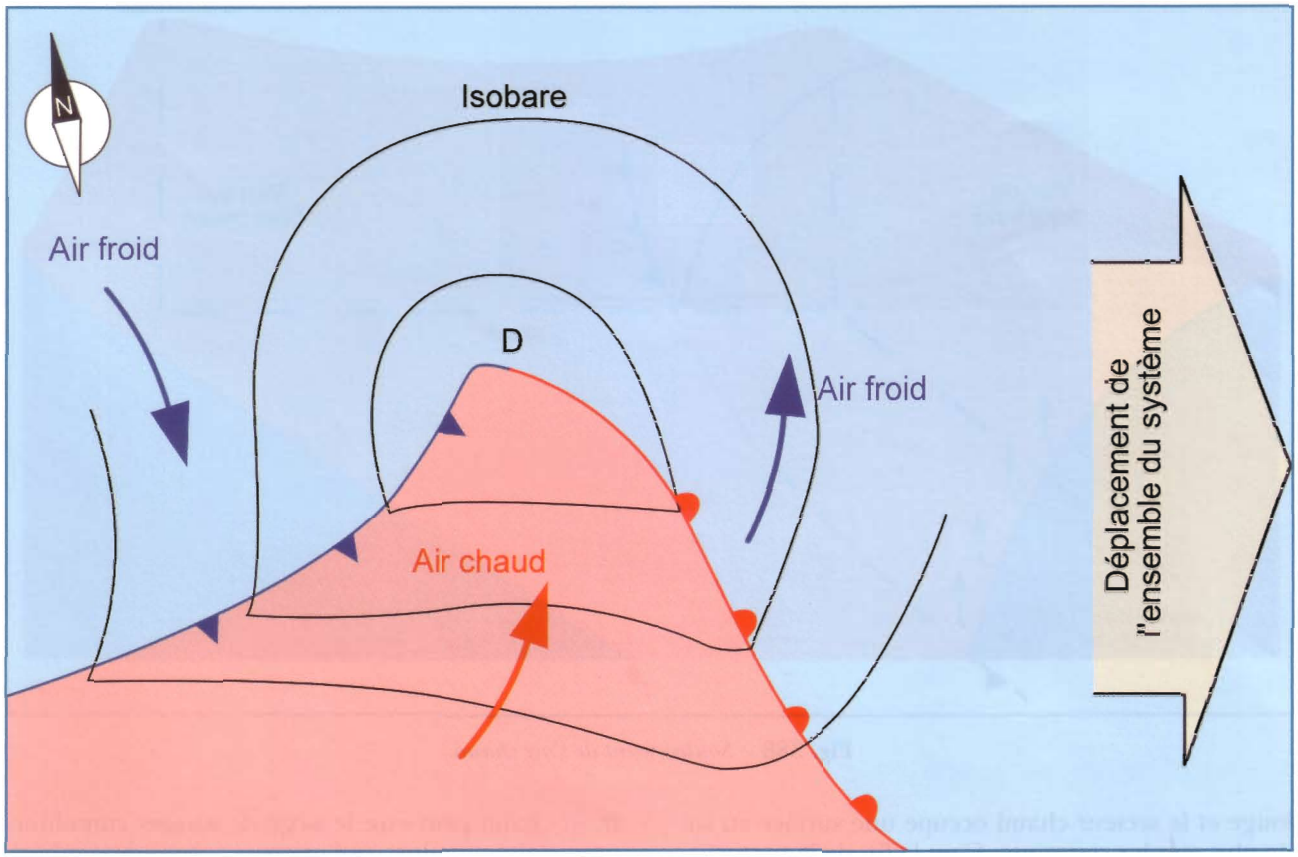


Fig. 384 – *Schéma horizontal d'une perturbation.*

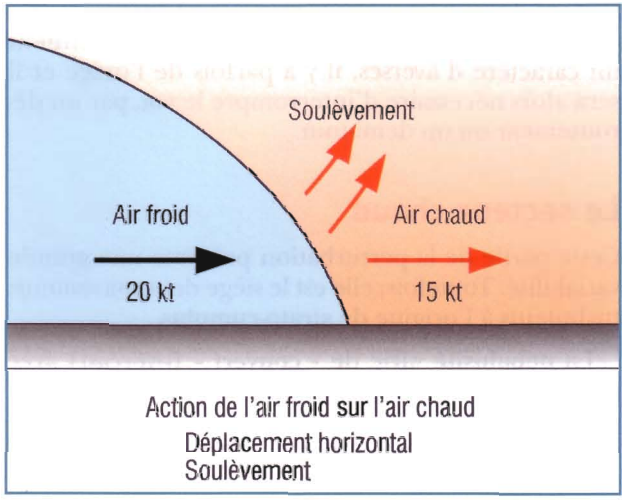


Fig. 385 – *Le front froid.*

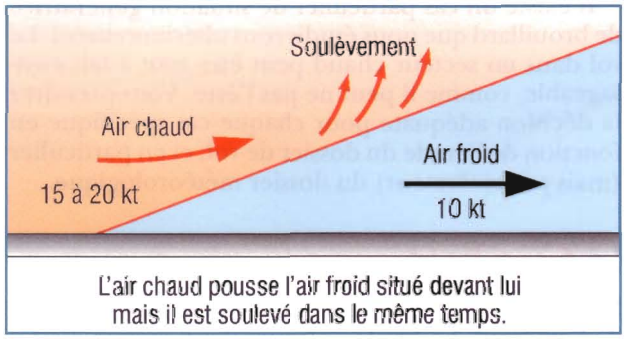


Fig. 386 – *Le front chaud.*

cartes en couleur par la couleur violette" (Fig. 387 et 389). L'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire en formant alors un **vortex** (ou spirale).

Stade 4

La zone où l'air chaud est en contact avec le sol s'appelle le secteur chaud ; au fur et à mesure que le front froid rattrape le front chaud, le point triple s'éloigne du centre dépressionnaire, l'occlusion s'al-

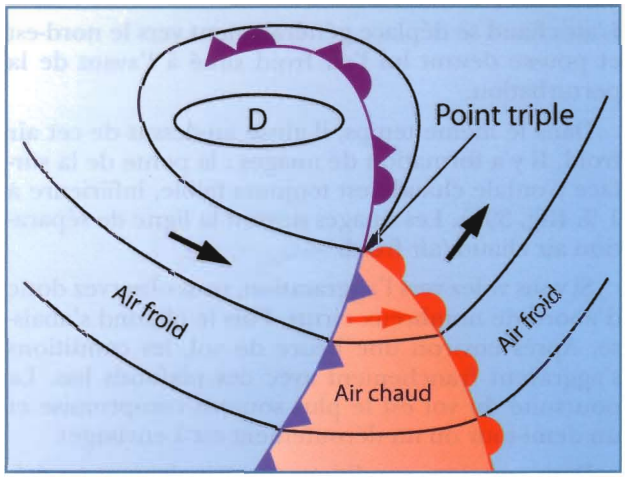


Fig. 387 – *Formation de l'occlusion.*

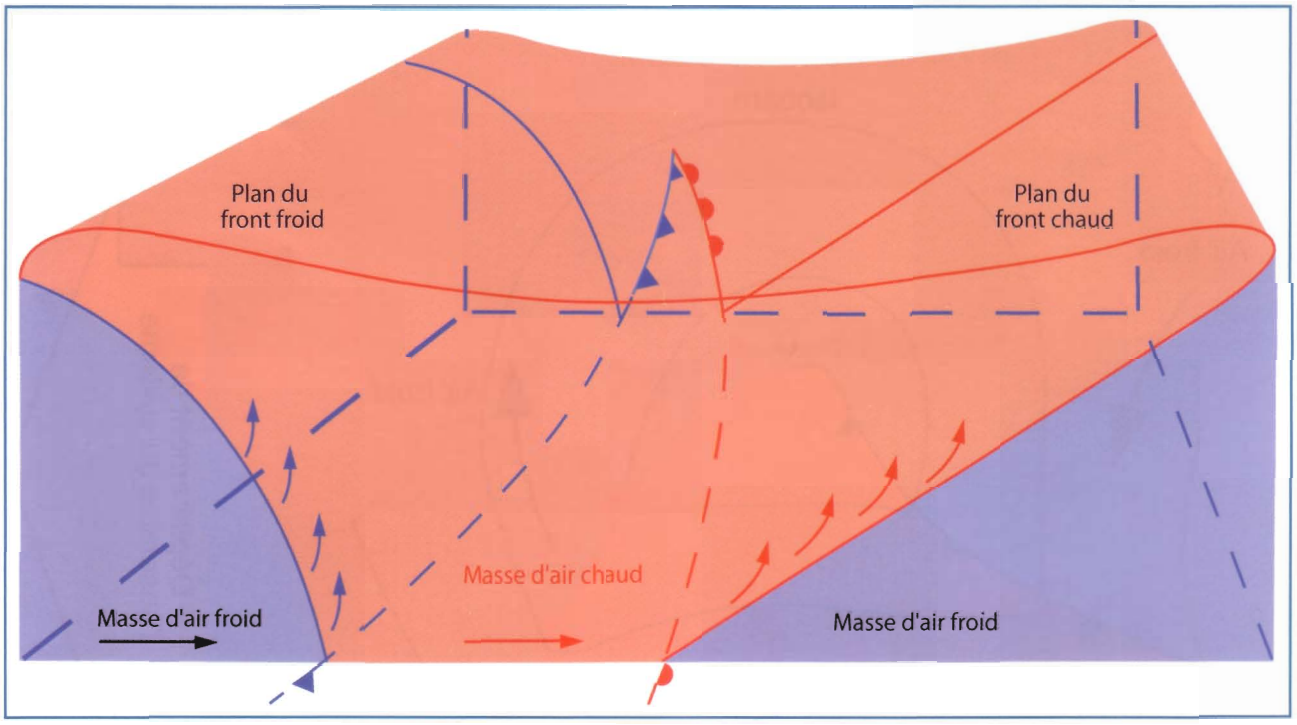


Fig. 388 – *Soulèvement de l'air chaud.*

longe et le secteur chaud occupe une surface au sol de plus en plus restreinte. C'est la fin de la perturbation. (Fig. 390).

Le système est alors souvent peu actif : peu ou pas de précipitations et de plafond bas. La durée de vie de la perturbation est de 3 à 6 jours, durant lesquels elle parcourt plusieurs milliers de kilomètres.

Les fronts
Les systèmes nuageux associés

Nous venons de décrire en détails le mode d'apparition des fronts. Voyons plus en détails les caractéristiques des différents fronts.

Le front chaud

L'air chaud se déplace généralement vers le nord-est et pousse devant lui l'air froid situé à l'avant de la perturbation.

Dans le même temps, il glisse au-dessus de cet air froid. Il y a formation de nuages : la pente de la surface frontale chaude est toujours faible, inférieure à 1 % (fig. 391). Les nuages suivent la ligne de séparation air chaud/air froid.

Si vous volez vers l'aggravation, vous observez donc d'abord de nombreux cirrus. Puis le plafond s'abaisse. Après environ une heure de vol, les conditions s'aggravent franchement avec des plafonds bas. La poursuite du vol est le plus souvent compromise et un demi-tour ou un déroutement est à envisager.

Dans certaines conditions, principalement en été, la masse d'air est instable, le secteur nuageux lié au front chaud peut être le siège de nuages cumuliformes (altocumulus pré-orageux, cumulo-nimbus) noyés dans les nuages d'autres genres et, par conséquent, difficiles à déceler (fig. 392).

Ce phénomène se caractérise en vol par des abaissements locaux importants du plafond (qui peut être de quelques centaines de pieds), les pluies prennent un caractère d'averses, il y a parfois de l'orage et il sera alors nécessaire d'interrompre le vol, par un déroutement ou un demi-tour.

Le secteur chaud

Cette partie de la perturbation présente une grande variabilité. Toutefois, elle est le siège des mouvements turbulents à l'origine de **strato-cumulus**.

La **nébulosité** varie de « **couvert** » (overcast) avec parfois de la bruine (près du centre dépressionnaire par exemple) à « **fragmenté** » (broken) ou « **épars** » (scattered) dans les zones peu actives. La **visibilité** est souvent **médiocre** (3 à 6 km), parfois **mauvaise** (inférieure à 3 km).

Il existe un cas particulier de situation génératrice de brouillard que nous étudierons ultérieurement. Le vol dans un secteur chaud peut être tout à fait envisageable, comme il peut ne pas l'être. Vous prendrez la décision adéquate pour chaque cas spécifique en fonction de l'étude du dossier de vol, et en particulier (mais pas seulement) du dossier météorologique.

Le front froid

Il est lié à un soulèvement important d'air chaud par de l'air froid. La limite entre les deux masses d'air a une pente assez accentuée (fig. 393).

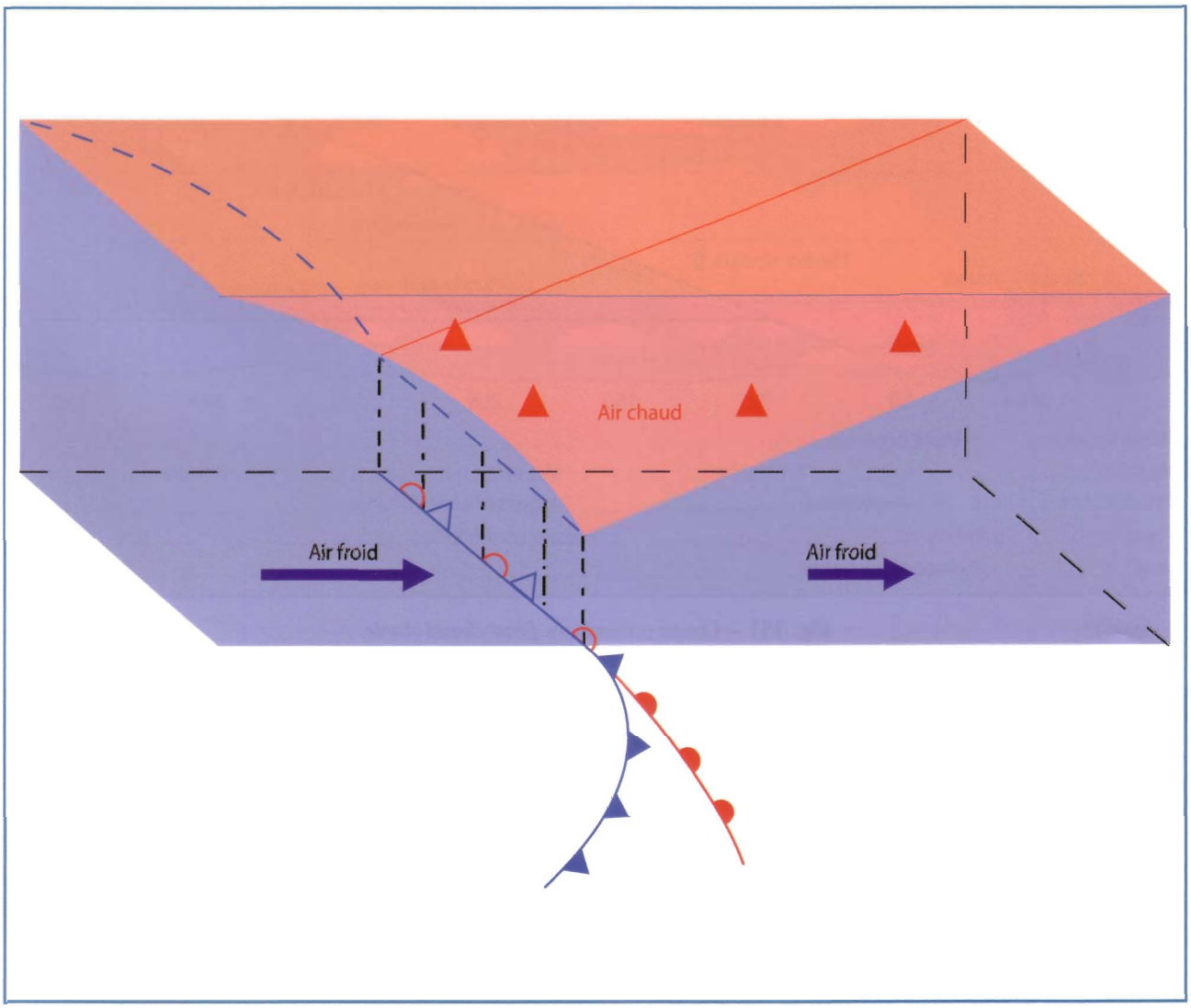


Fig. 389 – *Occlusion : vallée d'air chaud en altitude.*

Si vous volez vers le front froid, de Strasbourg vers Paris par exemple, vous débuterez le vol dans le secteur chaud puis un **abaissement rapide du plafond**, des **précipitations**, un net **refroidissement** et une **rotation des vents** marquent le passage du front froid.

Toutefois, il y a une forte probabilité pour que vous ne puissiez pas franchir le front froid à cause principalement des plafonds bas.

Ensuite, deux scénarios sont possibles :

- des stratus tardent à s'évacuer, ou
- la nébulosité et la visibilité s'améliorent très rapidement.

Le soulèvement de l'air chaud, en saturant l'air, peut faire apparaître des couches instables. Des nuages cumuliformes seront alors noyés dans la masse nuageuse. Dans ce cas, les précipitations continues se transformeront en averses temporaires. C'est un front froid **instable** (fig. 394).

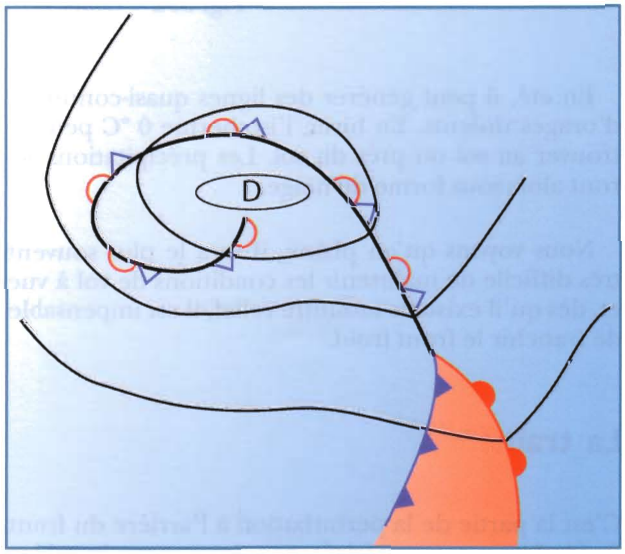


Fig. 390 – *Fin de la perturbation.*

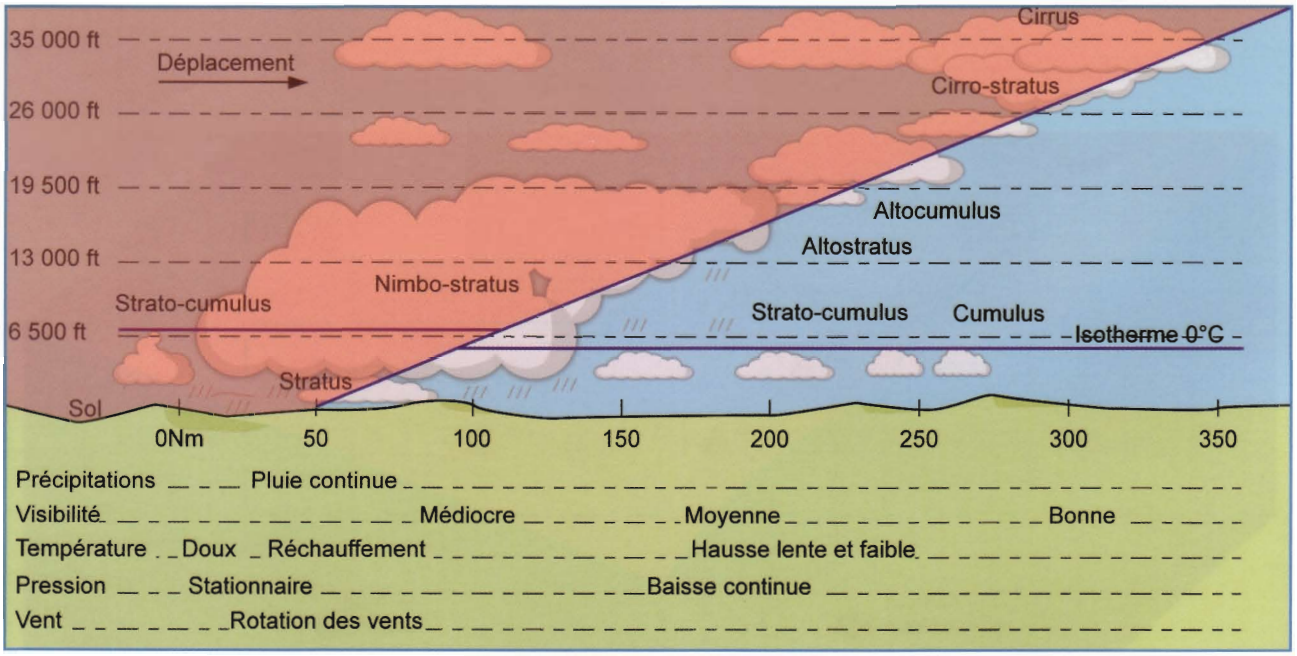


Fig. 391 – *Coupe verticale du front chaud stable.*

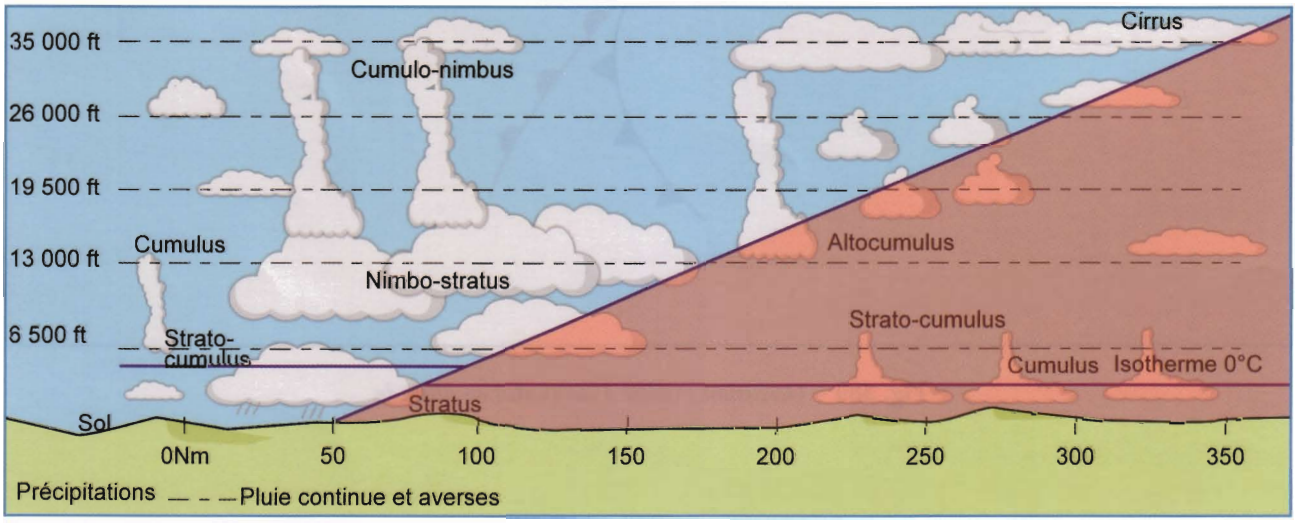


Fig. 392 – *Coupe verticale du front chaud instable.*

En été, il peut générer des lignes quasi-continues d'orages violents. En hiver, l'isotherme 0 °C peut se trouver au sol ou près du sol. Les précipitations seront alors sous forme de neige.

Nous voyons qu'en plaine, il sera le plus souvent très difficile de maintenir les conditions de vol à vue et, dès qu'il existe le moindre relief, il est impensable de franchir le front froid.

La traîne

C'est la partie de la perturbation à l'arrière du front froid. Elle est caractérisée par des **nuages instables cumuliformes**, bien séparés les uns des autres.

Une traîne peu active se limitera par exemple à un peu moins de la moitié du ciel occupé par des cumulus d'une épaisseur de 1 500 pieds, mais une traîne active pourra être le siège de nombreux cumulo-nimbus (par exemple 5 individus visibles à l'œil autour de soi).

Ils donneront des averses (de pluie ou de neige, en fonction de l'altitude de l'isotherme 0 °C) et même des orages parfois accompagnés de grêle.

Si, dans le premier cas, voler est un réel plaisir, dans le second cas, il faut contourner les cumulo-nimbus, ce qui allonge le temps de vol (prendre alors garde à la jauge de carburant et à la tombée de la nuit), et rend plus difficile le suivi de la route. Dans une **traîne active**, le VFR est donc sujet à **d'importantes difficultés**.

Le front froid secondaire

Au sein de la traîne, une « goutte » (c'est-à-dire une masse d'air de petite taille) plus froide que l'air, déjà froid, qui l'entoure, peut soulever l'air froid qui se trouve devant elle. Cet air froid de traîne est souvent le siège d'instabilité (fig. 395).

Or nous avons vu qu'un soulèvement avait pour conséquence d'augmenter les phénomènes d'instabilité. Sur la ligne de soulèvement, il y aura par conséquent formation d'une **ligne continue de cumulonimbus** : c'est une **barrière infranchissable**.

Il convient alors d'attendre au sol son passage (il faudra donc vous poser si vous êtes en vol) plutôt que

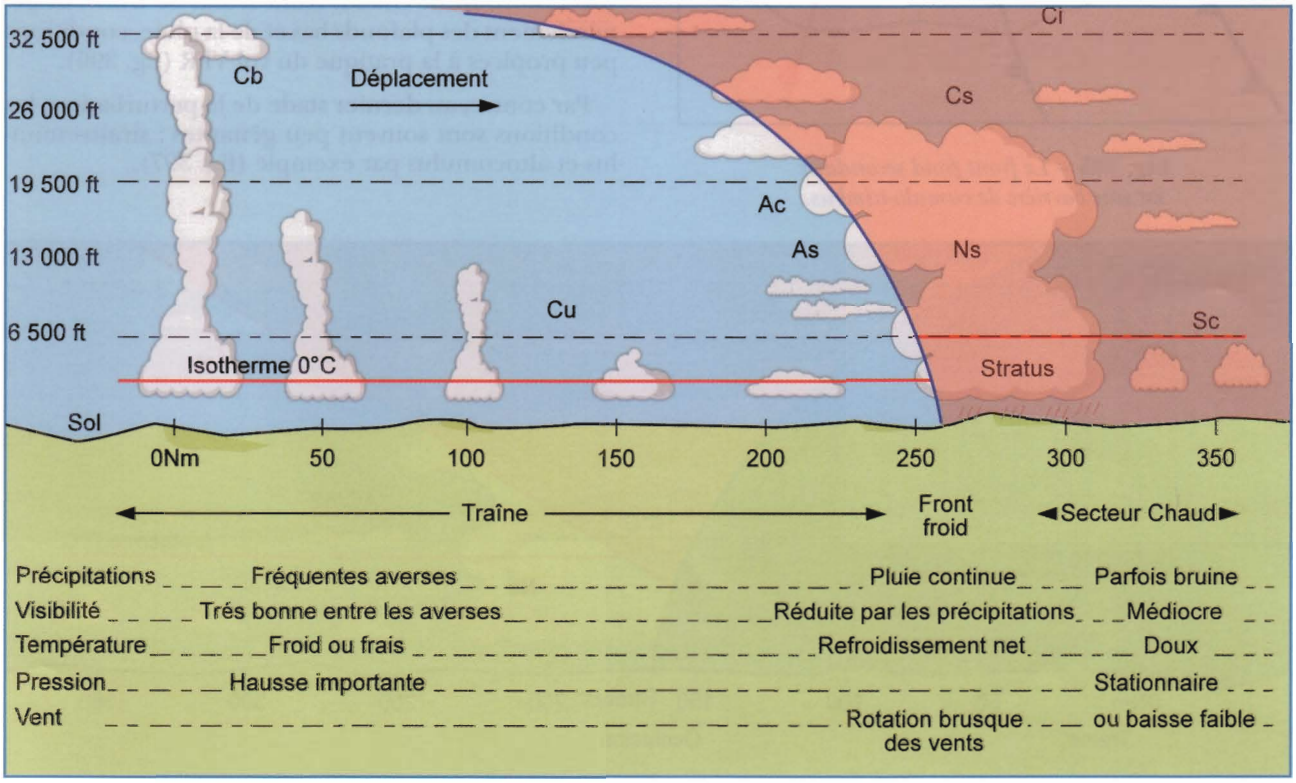


Fig. 393 – *Coupe verticale du front froid stable.*

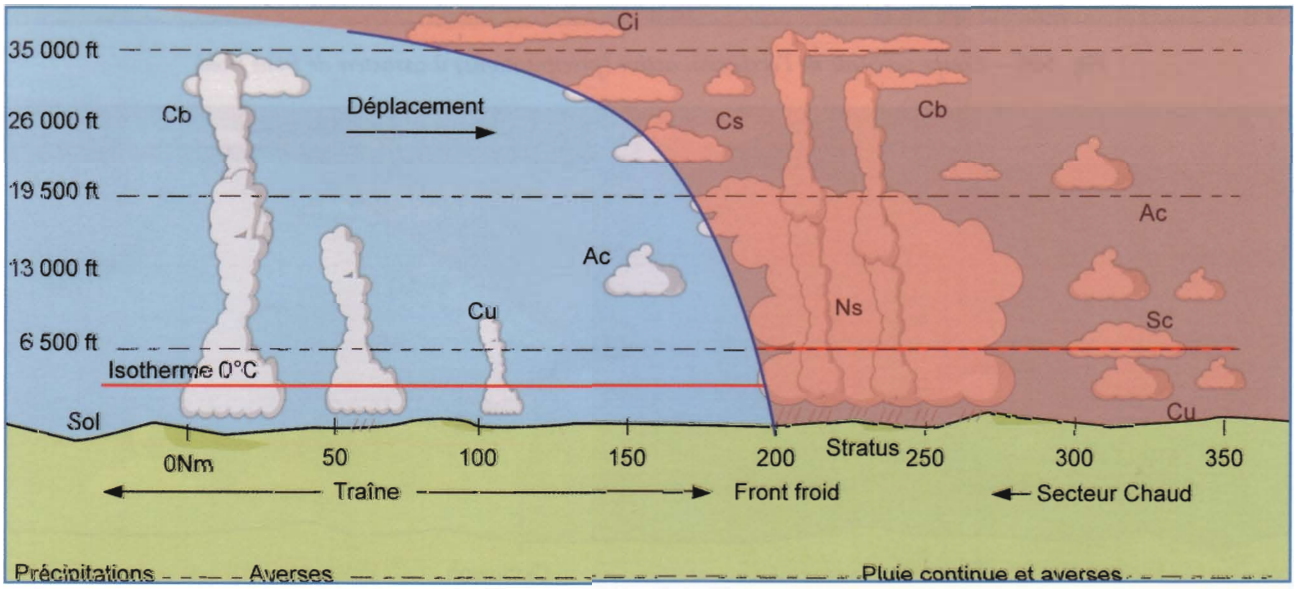


Fig. 394 – *Coupe verticale du front froid instable.*

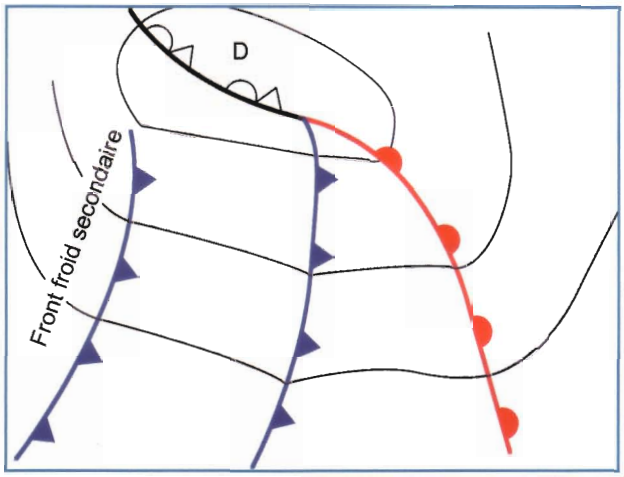


Fig. 395 – *Le front froid secondaire est une barrière de cumulo-nimbus.*

d'essayer de contourner cette ligne en cherchant un improbable passage dans le front froid secondaire.

L'occlusion

Lorsque le front froid rattrape le front chaud on parle d'occlusion.

La surface frontale matérialise une vallée d'air chaud en altitude, marquée par une masse d'air nuageuse souvent pluvieuse. A proximité du point triple (occlusion, front chaud, front froid) se trouvent généralement des plafonds bas et de la pluie, conditions peu propices à la pratique du vol VFR (fig. 396).

Par contre, au dernier stade de la perturbation, les conditions sont souvent peu gênantes : strato-cumulus et altocumulus par exemple (fig. 397).

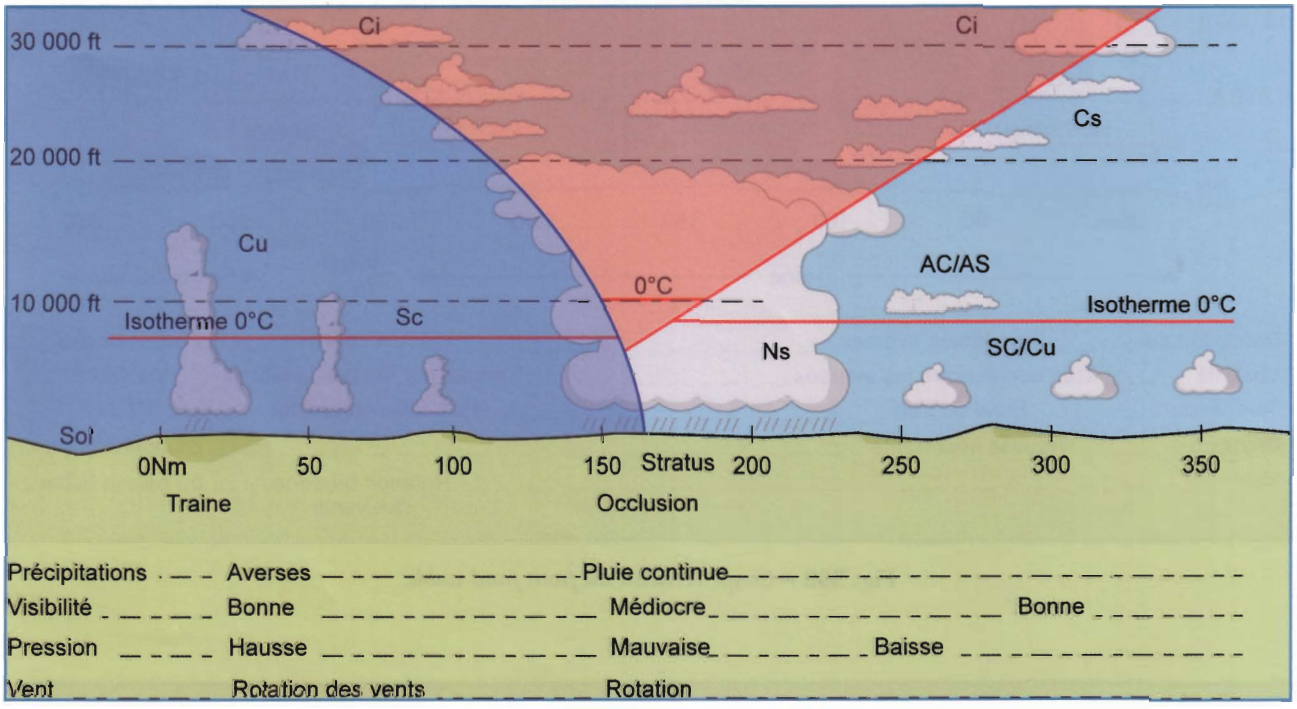


Fig. 396 – *Coupe verticale de l'occlusion active (précipitations) à caractère de front froid.*

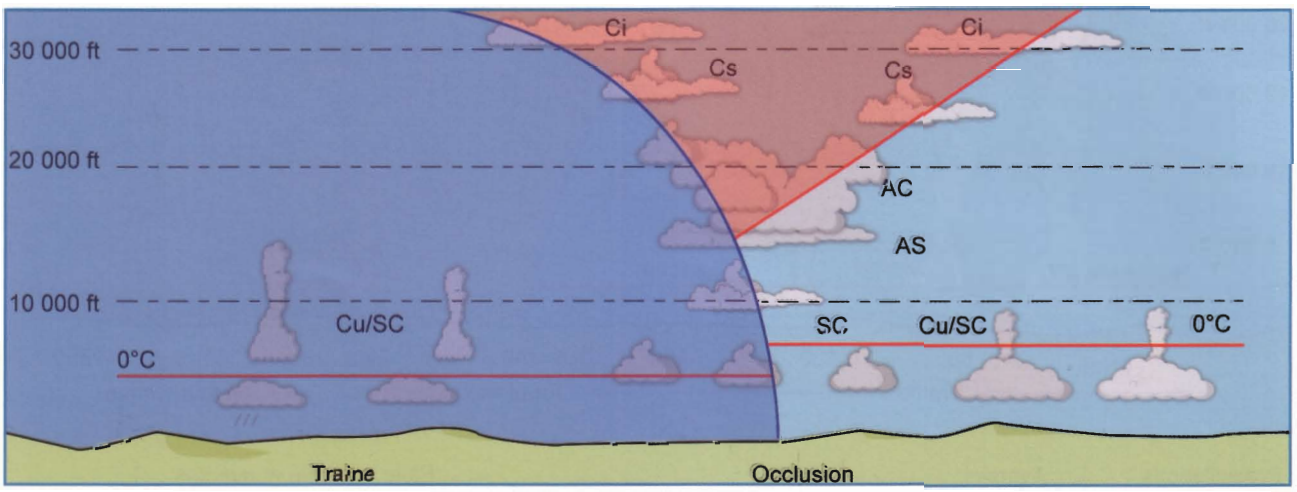


Fig. 397 – *Coupe verticale de l'occlusion peu active à caractère de front froid.*

Il arrive que l'occlusion s'enroule autour du centre de la dépression et donne lieu à des retours d'est caractérisés par un retour des nuages en sens inverse du déplacement de la perturbation.

La marge

C'est la partie **sud** de la perturbation. Elle se caractérise par une couverture nuageuse à l'étage moyen (Ac, As) et haut (Ci, Cc, Cs). Elle ne présente aucune gêne pour le VFR.

Variabilité de l'activité d'une perturbation

D'un point à un autre de la même perturbation, il y a parfois des différences importantes. En général, près du centre dépressionnaire, la perturbation est très active et la situation s'améliore en s'éloignant.

Certains phénomènes peuvent toutefois créer une aggravation locale :

- le creusement d'une dépression, le long d'un front, entraîne l'apparition d'une ondulation aggravant énormément les conditions de vol ;
- le relief soulève la masse d'air, favorisant ainsi l'importance de la masse nuageuse. On rencontre alors des plafonds bas et des précipitations plus importantes. **Quelques collines** suffisent donc parfois à rendre **le vol VFR impossible**.

Ces conditions sont fréquentes sur le Morvan, le Perche, le Barrois, le Jura, le Plateau de Langres, le seuil de Naurouze, le Limousin.

Enfin, une perturbation est dite active lorsqu'on constate des nettes rotations du vent, des rafales, des variations de température et des précipitations marquées ; il n'y a pas nécessairement présence de Cb.

PERTURBATIONS TEMPÉTUEUSES SUR L'EUROPE OCCIDENTALE

Nous allons étudier l'image satellitaire d'une perturbation abordant l'Europe occidentale et déterminer les zones caractéristiques que nous avons évoquées.

Zone 1 : masse nuageuse du front froid, cause de tempêtes sur les côtes françaises.

Zone 2 : front chaud. Il donne une quantité de précipitations importante.

Zone 3 : occlusion s'enroulant en vortex autour de la dépression.

Zone 4 : secteur chaud nuageux.

Zone 5 : ciel de traîne. Les taches blanches sont caractéristiques d'amas nuageux cumuliformes. Notons la traînée de ciel clair entre le front froid et la traîne. Cette trouée apparaît, vue du sol, comme une amélioration temporaire d'une ou deux heures. Des averses se produiront par la suite, si la traîne est active il s'agit alors de ne pas se laisser abuser par ces améliorations temporaires.

Zone 6 : il s'agit d'une occlusion, dernière phase d'une autre perturbation qui, après avoir intéressé le pays la veille, s'évacue vers l'Est : elle n'est plus marquée que par quelques nuages.

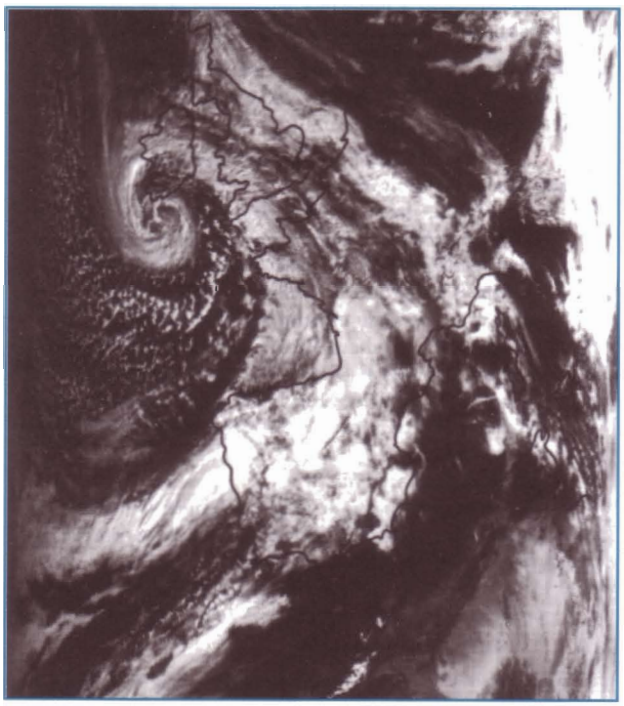


Fig. 398 – *Observation satellite d'une perturbation.*

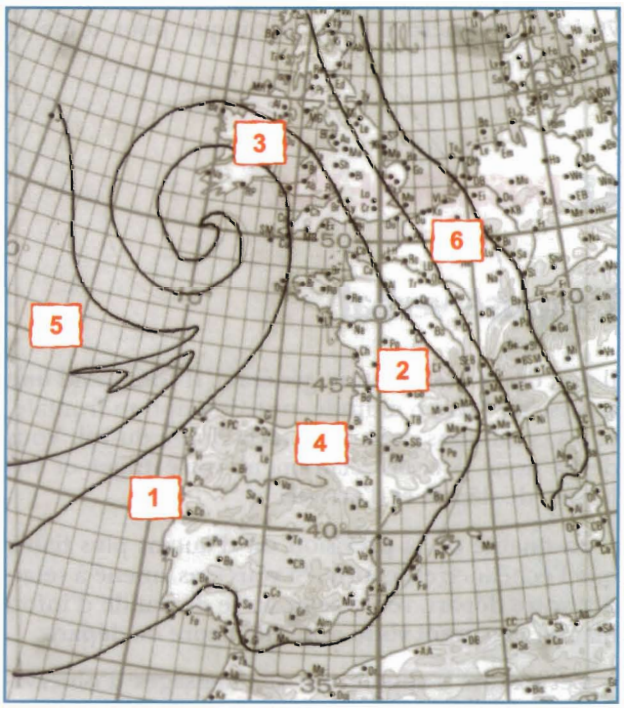


Fig. 399

L'INFORMATION MÉTÉOROLOGIQUE

L'ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE

L'information météo est élaborée à partir de Stations Météorologiques Aéronautiques (SMA) qui effectuent des observations sur le temps. Elles sont à l'origine des messages METAR, SPECI, etc.

Ces observations sont utilisées par les Centres Météorologiques Aéronautiques (CMA) pour établir des prévisions, diffusées par les messages TAF, GAFOR, SIGMET, les cartes TEMSI, les cartes en altitudes, etc.

En France, les SMA et les CMA sont généralement co-implantés et constituent, regroupés avec d'autres services, un Centre Départemental de la Météorologie (CDM).

Météo-France a mis en place un système automatisé de répondeurs destinés à fournir les prévisions météorologiques pour un voyage aérien. Le pilote doit en priorité faire appel à l'un des systèmes mis à sa disposition. Toutefois, si un doute subsiste ou s'il veut obtenir des précisions, il peut avoir des compléments verbaux d'information en recueillant son dossier de vol au CDM, ou bien en téléphonant au 08 36 70 12 15 (numéro d'appel identique pour toute la France).

LE DOSSIER DE VOL

L'exposé verbal

Il doit décrire la situation générale. Il comprend une analyse de flux en altitude, une description frontale, et les conditions prévues pour la durée du vol. Vous devez donc préciser clairement votre trajet et vos heures de départ et d'arrivée.

La qualité de la prévision est d'autant plus fiable que l'échéance est courte. Si vous êtes amené à retarder votre départ, renouvelez votre demande d'information peu avant votre nouvelle heure de départ.

Cet exposé s'appuie sur des messages d'observations et de prévisions, ainsi que de cartes décrivant le temps prévu en surface et en altitude.

Le METAR

C'est un message d'observation, il est donc très fiable. Il se compose de paramètres estimés (visibilité, nébulosité...) ou mesurés (pression, vent...). Les METAR sont rédigés systématiquement toutes les heures ou demi-heures.

D'autres messages peuvent être rédigés occasionnellement en cas d'aggravation ou d'amélioration des conditions météorologiques. Ce sont les messages SPECI.

Il est nécessaire de connaître parfaitement le vocabulaire de ces messages pour une bonne exploitation des renseignements.

Exemple 1

LFOP	03 0800Z	32004KT	CAVOK	10/10	Q1015
Rouen	date + heure de l'observation en UTC	vent en surface	ceiling and visibility OK	températures	pression

***LFOP** : indicateur d'emplacement OACI*

***03 0800Z** : jour + heure de l'observation en heures et minutes UTC, suivi de la lettre Z (pour Zoulou)*

***32004KT** : signifie un vent en surface du 320 ° (direction d'où vient le vent), de vitesse 04 nœuds (moyenne sur 10 minutes).*

***CAVOK** : signifie que toutes les conditions ci-dessous sont simultanément réunies :*

- *visibilité minimale supérieure ou égale à 10 km. C'est la visibilité dominante qui est prise en compte pour l'établissement de CAVOK mais la visibilité minimale ne doit pas être codée.*
- *absence de nuage significatif du point de vue opérationnel c'est-à-dire nuage dont la base se trouve au-dessous de 1 500 m (5 000 ft) ou de l'altitude minimale de secteur la plus élevée, si celle-ci est plus grande, ou de cumulo-nimbus ou cumulus bourgeonnant, quelque soit la hauteur.*
- *pas de cumulo-nimbus*
- *pas de précipitations, ni orages, ni tempêtes de sable ou de poussière, ni brouillards minces, ni chasse-poussière, chasse-sable ou chasse-neige basse.*

S'il n'y a pas de nuages mais que CAVOK n'est pas utilisable, (visibilité inférieure à 10 km par exemple), on utilisera l'abréviation NSC.

***10/10** : température et point de rosée, en degrés Celsius, précédés d'un « M » si négatifs,*

***Q1015** : pression QNH en hPa, précédé de la lettre Q.*

Exemple 2

Si l'une des conditions CAVOK n'est pas remplie, chaque élément est développé :

LFBA	03 1000Z	18010G20KT	3500	RA	OVC023	03/M01	Q1015
Agen	Date/heure	vent	visibilité	temps présent	nuages	températures	QNH

Successivement on trouve les groupes suivants :

18010G20KT : *le vent vient du 180 °, sa vitesse est de 10 nœuds avec des rafales (G pour Gusting = rafale) à 20 nœuds.*
Lorsque la différence entre la vitesse moyenne et la vitesse maximale est supérieure à 10 kt pendant l'observation, les deux valeurs sont indiquées.

3500 : *c'est la visibilité dominante c'est à dire la visibilité qui est atteinte ou dépassée dans au moins la moitié du cercle d'horizon ou au moins la moitié de la surface de l'aérodrome ; elle peut être mesurée en prenant en compte des secteurs contigus ou non contigus. Si elle est supérieure à 10 km, elle est notée 9999.*

RA : *pluie ; les abréviations pour les phénomènes caractéristiques du temps significatif sont regroupés dans le tableau, Fig. 400.*

OVC023 : *les nuages, ce groupe donne les indications sur :*

- *la nébulosité :*
  FEW = peu 1 à 2/8,
  SCT = épars 3 à 4/8, c'est-à-dire peu nuageux,
  BKN = fragmenté 5 à 7/8, c'est-à-dire nuageux,
  OVC = couvert 8/8, c'est-à-dire très nuageux.
  NSC = pas de nuages en dessous de 1500 mètres ni de CB.
- *la hauteur de la base des nuages : exprimée en centaines de pieds par rapport à l'aérodrome (dans notre exemple 2 300 ft).*
- *le genre des nuages dans deux cas particuliers : présence de CB (cumulo-nimbus) ou de TCU (Tower Cumulus ou cumulus congestus).*

METEO FRANCE — **OBSERVATION** — **METAR SPECI**

TEMPS SIGNIFICATIFS

QUALIFICATIF		PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES		
Intensité ou proximité	Descripteur	Précipitations	Obscurcissement	Autres phénomènes
1	2	3	4	5
- Faible	MI Mince	DZ Bruine	BR Brume	PO Tourbillons de poussière/ sable caractérisés
	PR Partiel			
Modéré (pas de symbole)	BC Bancs	RA Pluie	FG Brouillard	SQ Grains
	DR Chasse-poussière/ sable/neige basse	SN Neige	FU Fumée	FC Trombe(s) (trombe terrestre ou trombe marine)
+ Forte		SG Neige en grains	VA Cendres volcaniques	
VC Au voisinage	BL Chasse-poussière/ sable/neige élevée	IC Poudrin de glace	DU Poussière généralisée	SS Tempête de sable
	SH Averse(s)	PE Granules de glace GR Grêle	SA Sable	DS Tempête de poussière
	TS Orage	GS Grésil et/ou neige roulée	HZ Brume sèche	
	FZ Surfondu			

En cas de précipitations mêlées, les deux symboles sont accolés, dans un même groupe.
Les groupes w'w' sont codés en respectant l'ordre des colonnes 1, 2, 3, 4 et 5

Extrait de l'Aide-mémoire pour une meilleure compréhension de l'information météorologique codée à destination de l'aéronautique, de Météo France.

Fig. 400 – *Tableau récapitulatif des codes du temps significatif.*

Exemple 3

LFLL	03 0800Z	VRB03KT	6000 0700S	R18/0800U R36/1000N	BCFG	BKN030	OVC060	05/05	Q1017
Lyon Satolas	Date/heure	vent	visibilité	portée visuelle de piste	temps présent	nuages	nuages	températures	pression

VRB03KT : *vent de direction variable de vitesse 3 kt.*

VRB est utilisé pour un vent inférieur à 3 kt et une variation supérieure ou égale à 60° ou pour un vent supérieur ou égale à 3 kt et une variation de 180° ou plus.

6000 0700S : *la visibilité dominante est de 6 000 m mais elle est réduite à 700 m dans le sud ; la visibilité minimale est donnée lorsqu'elle est inférieure à 1 500 m mais aussi lorsqu'elle est inférieure à 5 000 m et inférieure à 50 % de la visibilité dominante.*

R18/0800U R36/1000N : *mesure de la visibilité horizontale sur la piste (portée visuelle de piste ou RVR), à l'aide d'un transmissomètre (appareil optique), lorsque celle-ci est inférieure à 1 500 m.*
Dans cet exemple la RVR est de 800 m pour la piste 18 et a augmenté d'au moins 100 m (U : up) en 10 minutes. Pour une dégradation d'au moins 100 m on emploiera la lettre D (pour down). La RVR de la piste 36 est de 1 000 m, sans variation significative (N).
Dans ces cas, le vol en condition VFR est impossible.

Exemple 4

LFMK	03 0600Z	30005KT 270V340	8000 0800NE BCFG	R10/800V1000U R28/P1500	-DZ	VV///	10/10	Q1021
Carcassonne	Date/heure	vent	visibilité	portée visuelle de piste	temps présent	nuages	nuages	températures

30005KT 270V340 : *vent de direction variant du 270 ° au 340 °, de vitesse moyenne 05 kt.*
Pour un vent de vitesse supérieure à 3 kt les directions extrêmes sont indiquées lorsque la variation est supérieure à 60 ° mais inférieure à 180 °.

8000 0800NE BCFG : *la visibilité dominante est de 8 km mais un banc de brouillard est détecté à 800 m dans le NE ; notez que si l'observateur a la possibilité de déterminer la visibilité dans le banc de brouillard (par exemple 500 m), cette situation peut être codée 8000 0500NE BCFG ;*

de même si l'observateur est dans le banc de brouillard et qu'il n'est pas en mesure de déterminer la visibilité en dehors du brouillard, la situation peut être codée « 0500 » tout simplement.

***R10/800V1000U** : variation significative de la portée visuelle pour la piste 10, entre 800 et 1000 m.*

***R28/P1500** : RVR d'au moins 1500 m, la valeur maximale du transmissomètre est atteinte. Lorsque la valeur minimale de mesure est atteinte, la RVR est précédée de la lettre M (exemple R28/M100). Ce sont des limites instrumentales.*

***VV///**: données non disponibles sur la visibilité verticale Dans la majorité des cas les messages METAR sont constitués des groupes décrits ci-dessus, cependant on peut trouver des renseignements supplémentaires sur (dans leur ordre d'apparition) :*

- *les cisaillements de vent, ce groupe débute toujours par le code WS (WindShear),*
- *les phénomènes importants récents, RE (abréviation temps récent),*
- *l'état des pistes (inondées ou enneigées), c'est un groupe composé de 8 chiffres ou du terme SNOCLO. Dans ce cas demander une information complémentaire au bureau de piste. Pour déchiffrer le groupe « État des piste » reportez-vous au « Guide aviation » publié par Météo France.*

Exemple 5

LFPO	0930Z	20025G40KT	2000	TSGRSN	SCT015CB	01/M03	Q1000	RETS	WS LDG RWY07	07695091
Orly	heure UTC	vent	visibilité	temps présent	nuages	températures	pression		cisaillement de vent	état des pistes

***RETS** : orage récent.*

***WS LDG RWY07** : le cisaillement de vent concerne dans cet exemple la trajectoire d'atterrissage (LDG, LanDinG) sur la piste 07 (RWY, RunWaY). Pour une trajectoire de décollage LDG est remplacé par TKOF (TaKeOF).*

***07695091** : nous renseigne sur l'état des pistes :*
07, piste 07
6, neige fondante
9, piste couverte à plus de 51 %
50, épaisseur du dépôt 50 mm
91, efficacité de freinage faible

Metar automatique

Sur les plates formes aéroportuaires à faible trafic où la permanence d'un observateur météo devient une contrainte trop importante, celui-ci peut être remplacé par une observation automatique dont le codage a été déterminé par l'Organisation Mondiale de la Météorologie. Les Metar automatiques peuvent être émis et établis toutes les demi-heures, 24 heures sur 24. Cela nécessite une instrumentation adéquate permettant de produire une observation régulière.

Exemple

0600	LFJL	100600	AUTO	11005KT	1800	BR	OVC003///	M02/M02	Q1024=

Nous retrouvons les informations identiques à celles qui figurent dans un Metar classique excepté le terme AUTO qui est rajouté dans le message signifiant que c'est bien une observation émise automatiquement et le codage de certains cas propres au METAR AUTO :

- Groupe des nuages (NNNhhh) suivi de ///, par exemple « BKN010/// » dans le cas où le type de nuage n'est pas observable par le système automatique.
- **NDV** après la valeur de la visibilité si aucune variation de direction ne peut être indiquée par le ou les capteurs ;
- **UP** lorsqu'une précipitation n'a pu être identifiée par le capteur ;
- **NCD :** aucun nuage détecté par le système ou lorsque le système n'est pas capable de détecter l'absence de CB ou TCU ;
- **NSC :** aucun nuage détecté par le système lorsque le système est capable de détecter l'absence de CB ou TCU ;
- **////// CB ou ///// TCU :** le CB ou TCU est détecté par le système automatique mais la nébulosité (ou la hauteur) n'a pas été observée ;
- **VC, VCTS :** l'attribut VC (à proximité) n'est normalement pas utilisé par les systèmes automatiques , toutefois certains sites sont en mesure de coder VCTS (orages à proximité de l'aérodrome , c'est à dire entre 8 et 16 km de l'aérodrome ;
- **REUP** pour les précipitations récentes ne pouvant être détectées par le capteur.

Les paramètres mesurés dans cet exemple :

***Direction et vitesse du vent** : 11005KT correspondant à 110 ° pour 5 kt.*

***Visibilité** : 1 800 mètres. cette visibilité est calculée par un ou plusieurs capteurs ; elle représente la visibilité dominante lorsque qu'elle est mesurée par au moins la moitié des capteurs installés sur le site. En cas d'un capteur unique, elle donne une idée de l'état de transparence de l'air en condition homogène dans le secteur où il est installé ; il est évident que s'il y a alors une disparité de cet état homogène, l'instrument ne peut en tenir compte.*

***Le temps présent** : BR signifiant présence de brume sur l'aérodrome. Tous les temps présents ne sont pas pris en compte. Actuellement les capteurs ne peuvent identifier que quelques types de temps présent comme ceux désignés ci-dessous : DZ ou FG ou BR ou RA ou SN ou SHRA ou SHSN ou FZFG. Il est bien évident aussi que tous les phénomènes météorologiques se manifestant aux alentours de l'aérodrome ne peuvent être diagnostiqués par les capteurs.*

***Couches nuageuses** : OVC003/// : signifiant couvert à 300 ft. Le capteur détecte la quantité de nuage au-dessus de l'aérodrome en fonction des mouvements des nuages et de la nébulosité. C'est une représentation moyenne assez juste dès que la nébulosité devient importante. Par contre, les /// indiquent que l'équipement n'est pas capable de détecter des CB ou TCU.*

Si l'équipement avait été capable de les détecter, ce groupe aurait été codé : OVC003 en l'absence de CB ou TCU ou OVC003CB ou OVC003TCU en cas de présence de CB ou TCU.

Température : M02/M02

Pression : Q1024.

Dans un METAR AUTO la tendance n'est pas renseignée.

Précautions d'usage

Comme toute observation météorologique, des erreurs inhérentes aux méthodes de mesure ou à des pannes instrumentales restent toujours possibles ; vous devez donc corréler les observations fournies par les METAR AUTO avec les autres informations météorologiques réglementaires disponibles (TAF, METAR AUTO voisins, cartes de temps significatif).

Message SPECI (observation)

Pour des variations importantes dans certains groupes constituant le message METAR, vent, visibilité, RVR, plafond, nébulosité des nuages bas et phénomènes significatifs, un message SPECI est établi. Il reprend les règles de rédaction du METAR et se termine par un groupe M✗ (aggravation) ou B✗ (amélioration).

Dans le tableau ci-dessous est indiquée la correspondance chiffre / phénomène concerné :

✗ est l'indicateur du phénomène (chiffre de 0 à 9) dont la variation fait l'objet du SPECI.

Mw_2, Bw_2	Utilisé uniquement en France et dans le SPECI M (aggravation), B (amélioration) W_2 indicateur du phénomène faisant l'objet principal du SPECI.

W_2	Phénomène	W_2	Phénomène
0	Vitesse maximale du vent	5, 6	Non utilisé
1	Direction et/ou vitesse moyenne du vent	7	Tempête de poussière chasse-neige
2	Visibilité	8	Orage
3	Nuages bas	9	Grains ou trombe
4	Précipitations		

Exemple de SPECI

LFML	03 0930Z	33040KT	9999	BKN050	OVC100	12/08	Q1023	M1
Marseille	Date/heure UTC	vent	visibilité	nuages	nuages	T	pression	dégradation

***M1** : dégradation (M) concernant la direction ou la vitesse moyenne du vent (voir tableau ci-dessus).*
Ce message SPECI a été émis à la suite d'une augmentation (supérieure à 10 kt) de la vitesse moyenne du vent.

Tendance de la prévision d'atterrissage (TEND)

C'est un message de prévision toujours précédé d'un METAR ou d'un SPECI, valable pour les deux heures qui suivent l'observation. Il décrit des changements significatifs concernant le vent, la visibilité, tout phénomène important (orage, pluie verglaçante, grêle...), le plafond ou la nébulosité (voir tableau ci-dessous).

La tendance est annoncée par l'un des codes suivant :

NOSIG	Pas de changement significatif prévu dans les deux heures à venir.
BECMG	Les changements prévus se produiront à une allure régulière.
BECMG AT	Les changements auront lieu au cours d'une période inférieure à une demi-heure (le début de la période est précisé par l'heure UTC notée à la suite de « AT »).
TEMPO	Les changements (temporaires) s'étendront sur une période inférieure à 1 heure et couvrant moins de la moitié de la période considérée.
FM...TL	A partir de... jusqu'à. Ces codes sont précédés soit de TEMPO soit de BECMG.
TEND	Est utilisé quand les termes précédents ne sont pas applicables à l'évolution.

Exemples de tendances que l'on peut trouver à la suite d'un METAR ou d'un SPECI

TEMPO 3000	=	*la visibilité sera de 3 000 m selon la tendance TEMPO.*
BECMG OVC012	=	*couvert à 1 200 ft pendant toute la période de la tendance.*
BECMG 2000 BKN010	=	*la tendance s'applique au plafond et à la visibilité.*
BECMG AT1130 BKN010	=	*le plafond sera à 1 000 ft à 11 heures 30 et le restera au moins jusqu'à la fin de la période de la tendance*
BECMG FM 0630 35030KT	=	*à partir de 14 heures 30 UTC, le vent s'établira progressivement au 350 pour une vitesse de 30 kt et la validité va au-delà de la période de la tendance.*

Voici quatre exemples de METAR, dont les trois derniers sont suivis d'un groupement « tendance »

LFBS 03 0900Z 02010KT CAVOK 03/M00 Q1020
Pas de message tendance.
LFLN 03 0600Z 32008KT 1200 R33/0300D BCFG OVC006 06/06 Q1017 TEMPO 0600
Temporairement la visibilité descendra à 600 m.
LFTW 03 0730Z 08008KT 2500 BR BKN008 07/06 Q1020 NOSIG
Pas d'évolution significative prévue dans les deux heures qui suivent l'heure d'observation.
LFRN 03 1000Z 22002KT 8000 SCT013 SCT030 BKN045 06/04 Q1017 RERA BECMG AT 1100 22015KT CAVOK
À 11 heures UTC, le vent s'établira au 220 pour 15 kt et les conditions du CAVOK seront réunies au moins jusqu'à la fin de la période de la tendance.

Le SIGMET (Prévision)

Le SIGMET est un avis de phénomène dangereux. Il est rédigé par les services météorologiques spécialisés, sur le plan régional ou national. Il peut intéresser le vol en condition VFR quand il informe de la présence de cumulo-nimbus, d'orages ou de lignes d'orages forts, de givrage fort, de forte grêle, d'ondes orographiques marquées ou de turbulences fortes.

Exemple

LFBB	SIGMET	I	VALABLE 121500/121900	LFBD	FRQTS
région	message	N°	date et heures de validité	centre rédacteur	indication et description

OBS	FIR BORDEAUX	BLW320	MOV NE 10 kt	INTSF
observation	région concernée	localisation	déplacement	évolution

SIGMET I VALABLE 121500/121900 :
premier message SIGMET de la journée valable le 12 du mois de 15 h 00 à 19 h 00 UTC.
FRQTS OBS FIR BORDEAUX BLW320 :
orages fréquents observés dans la FIR Bordeaux en dessous du niveau FL320.
MOV NE 10 kt :
se déplaçant vers le nord-est à une vitesse moyenne de 10 kt.
INTSF :
phénomène dont l'intensité augmente.

Le SIGMET est un message qui comporte *(cf. exemple)* quatre parties majeures :

① la présentation du message avec la date et les heures de validité, l'identification du centre rédacteur du message,

② la description du phénomène observé (OBS) ou seulement prévu (FCST) ; voir le tableau page suivante récapitulatif des phénomènes pouvant faire l'objet d'un message SIGMET :

La localisation se fait à l'aide de repères géographiques importants (villes, fleuves, montagnes, ...), après avoir précisé la région d'information concernée par le phénomène (UIR ou FIR) :

③ le déplacement du phénomène (MOV) ou son caractère stationnaire (STNR) ;

④ l'évolution du phénomène, si son intensité augmente (INTSF) ou diminue (WKN) ou reste inchangée (NC).

Le TAF

C'est un message de prévisions des conditions météorologiques sur un aérodrome.

Pour un aérodrome donné, un seul type de TAF est diffusé ; vous pouvez donc avoir l'un des TAF suivants :

- Un **TAF court** d'une durée de validité de 9 heures renouvelé toutes les trois heures, la première période étant de 00 h 00 à 09 h 00 ; ce type de TAF est disponible 1 heure avant le début de validité.

Description des phénomènes météorologiques significatifs

OBSC TS (TS : thunderstorm) ..... Orages obscurcis

EMBD TS (embedded thunderstorms) ..... Orages noyés dans des couches nuageuses

FRQ TS (frequent thunderstorms) ..... Orages fréquents

SQL TS (squall line thunderstorms) ..... Orages lignes de grains

HVY GR (HVY : heavy) ..... Forte grêle

TC + nom (Tropical cyclone) ..... Cyclone tropical

SEV TURB (severe turbulence) ..... Turbulence forte

SEV ICE (severe icing) ..... Givrage fort

FZRA (freezing rain) ..... Pluie se congelant

SEV MTW (severe mountain wave) ..... Onde orographique forte

HVY DS (heavy dust storm) ..... Tempête de poussière forte

HVY SS (heavy sandstorm) ..... Tempête de sable forte

- Un **TAF long** d'une durée de validité de 24 heures ou de 30 heures, renouvelé toutes les 6 H et disponible également 1 heure avant le début de validité.

Si le temps doit subir des variations significatives au cours de la période de validité, elles sont décrites dans les groupes d'évolution et de probabilité.

Dans tous les TAF, leur période de validité ainsi que celle des indications d'évolution (BECMG, PROB, TEMPO, FM et le groupe de température, sont indiquées en précisant la date, comme par exemple : BECMG 082130/090200.

Les codes employés dans les TAF et les METAR sont presque identiques, seule la mise en forme change.

Exemple 1

LFBL	140500Z	1206/1215	34006KT	CAVOK
Limoges	Date/heure	Validité	Vent de rédaction	

140500Z :
message rédigé le 14, à 5 heures UTC.
1206/1215 :
valable le 12 de 0600 à 1500 heures UTC. Ce message est un TAF court (validité de 9 heures).

Exemple 2

LFQQ	180800Z	1203/1212	26010KT 6000 OVC030	BECMG 1208/1210	9999 BKN026
Lille	Rédaction	Validité	Conditions entre 03 et 08 h UTC	Variations et heures	Nouvelles conditions météo

26010KT 6000 OVC030 :
la succession des groupes, vent, visibilité (ou visibilités multiples), temps présent, nuages est identique au message METAR.

A noter l'utilisation de deux abréviations supplémentaires utilisées pour le temps présent et les nuages :

- **NSW :** *pas de temps significatif prévu,*
- **NSC :** *pas de nuages en dessous de 1500 m ni de CB/TCU, s'utilise, par exemple, lorsque la visibilité est inférieure à 10 km (CAVOK non applicable).*

BECMG 1208/1210 :
évolution progressive le 12 de 0800 heures à 1000 heures UTC ; les conditions deviendront 9999 BKN026 au cours de cette période.

On ne précise que les conditions qui varient : par exemple, le vent restera du 26010KT de 03 à 12 heures UTC, puisqu'il n'est pas inclus dans le changement.

Exemple 3

LFMN	242300Z	2500/2606	32010 kt 9999 SCT023CB BKN030TCU
Nice	Rédaction	Validité	Conditions météo dominantes

TEMPO	SHRA BKN026TCU	PROB30	TEMPO 261400/261800
Variation	Conditions intermittentes	Risque	Variation et heures

26025G40KT 3000 TSGRRA BKN016CB
Conditions possibles

TEMPO *(sans groupe horaire)* **:** *il faut se reporter au groupe horaire de validité du TAF. Il s'agit d'un TAF long de 30 heures allant du 25 à 0000 heures au 26 à 0600 heures UTC.*

PROB 30 : *ce terme est utilisé dans les TAF pour indiquer les risques de voir les conditions décrites plus loin se réaliser. PROB 30 est un risque fort, PROB 40 un risque très fort. On trouve aussi le groupe PROB TEMPO.*

TEMPO 2514/2518 : *entre 14 et 18 heures UTC le 25, il y aura temporairement les conditions suivantes : vent du 260 ° à 25 kt et rafales à 40 kt, visibilité 3 000 mètres, orages avec grêle et pluie, cumulo-nimbus.*

Exemple 4

LFRB	260800Z 2609/2709 00000KT 2800 BR OVC100	BECMG 2610/2612 8000
Brest	conditions avant le changement	changement

NSC	FM261430 00/15Z CAVOK
(suite)	changement à 14 h 30

OVC006 OVC100 : *contrairement au message METAR (uniquement message d'observation), même si la couche nuageuse la plus basse est soudée (OVC) on indique, dans les TAF, les couches supérieures lorsqu'elles existent.*

BECMG 2610/2612 : *entre 10 heures et 12 heures UTC le 26, l'évolution concernera le plafond et la visibilité.*

NSC : *pas de nuage significatif.*

FM 261430 00000KT 00/2615Z CAVOK : *le 26 à partir de 14 h 30 UTC, il est prévu des conditions CAVOK et une température de 0 ° est prévue à 15 heures UTC et le vent est inchangé (ce groupe donnant la température est facultatif et est situé immédiatement après le groupe d'évolution (FM, BECMG, TEMPO ou PROB) ; les conditions CAVOK sont prévues jusqu'à la fin de validité du TAF soit jusqu'à 0900 heures le lendemain : il s'agit ici d'un TAF long de 24 heures ; tous les éléments donnés avant "FM" sont inclus après "FM" c'est-à-dire qu'ils sont tous remplacés par les éléments indiqués après l'abréviation.*

Dans les messages TAF on n'utilise pas le groupe NOSIG, seul FM, BECMG, TEMPO, PROB ou PROB TEMPO sont employés.

Exemples de TAF à transcrire :

LFLY 080800Z 0809/0818 VRB03KT 6000 BKN020 OVC100 BECMG 0810/081300 BKN033 BKN100 BECMG 0813/0817 18010KT 9999 SCT040 BKN100

LFRK 311400Z 3115/3124 24008KT 9999 OVC025 TEMPO 6000 DZ BKN005 BKN020

LFOT 010500Z 0106/0115 210V30005KT 4000NW OVC006 BKN050 PROB30 TEMPO 0106/0108 BR OVC003 BECMG 0109/0112 30012KT 6000 OVC020 OVC050 TEMPO 0112/0115 +RA OVC005 OV050

Origine de certains codes pour vous aider à les mémoriser

NCD ..... No Cloud Detected

NDV ..... No Directional Variation

NSC ..... No Significant Cloud

NSW ..... No Significant Weather

REUP ..... REcent Unidentified Precipitation

UP ..... Unidentified Precipitation

VC ..... in ViCinity (à proximité)

GÉNÉRALITÉS SUR LES CARTES DU TEMPS SIGNIFICATIF (TEMSI)

Prévision de phénomènes du temps significatif en représentation symbolique et abréviations normalisées :

- pour un domaine géographique défini ;
- pour un espace vertical spécifié ;
- pour une heure fixe donnée.

Le cartouche de la carte **(à consulter en tout premier)** fournit les informations précédentes et précise les unités utilisées.

NB : les informations qui suivent dont la signification est notée en rouge concernent le vol VFR

Représentation des centres de pression, des fronts en surface (avec déplacement) et des lignes et zones de convergence

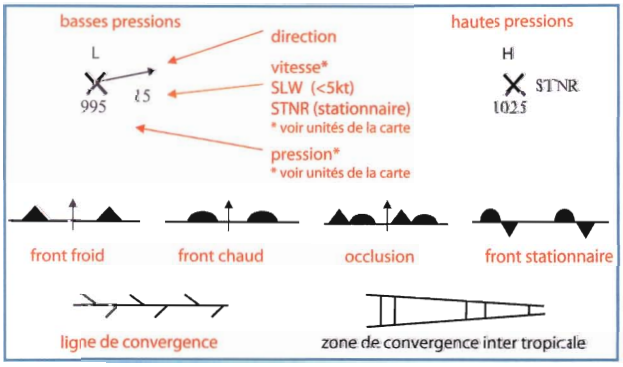


Fig. 401

Représentation des zones de temps significatif, des zones de turbulence en air clair (CAT ou TAC) et des axes de jet

(débutent et se terminent à 80 kt)

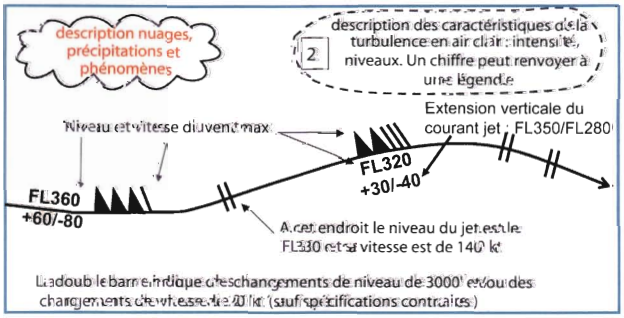


Fig. 402

* pour les unités consulter le cartouche de la carte

Représentation de la tropopause et des isothermes et autres caractéristiques

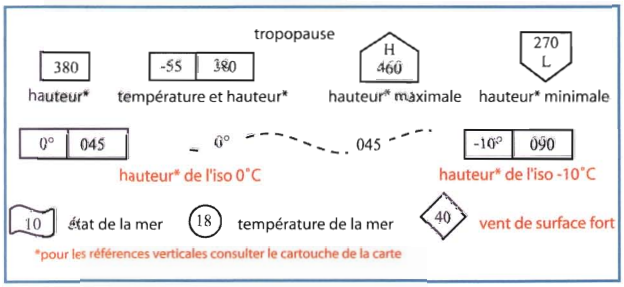


Fig. 403

Symboles du temps significatif

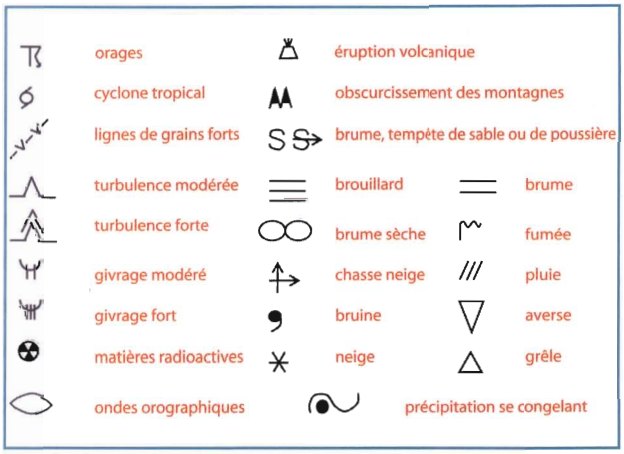


Fig. 404

LES CARTES TEMSI PRODUITES PAR MÉTÉO-FRANCE

Centre rédacteur :
la Direction de la Prévision à Toulouse

La carte TEMSI EUROC

Domaine géographique : Europe Occidentale
Domaine vertical : FL100 - FL450
Validité : 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, et 21 UTC
Mises à disposition :
4 heures avant l'heure de validité

Description des nuages

Le genre

- CI : Cirrus — CS : Cirrostratus
- CC : Cirrocumulus — AS : Altostratus
- AC : Altocumulus — NS : Nimbostratus
- ST : Stratus — SC : Stratocumulus
- CU : Cumulus — CB : Cumulonimbus

(LYR : nuages en couches)

La nébulosité à l'exception des CB

- SKC : ciel clair
- FEW : peu de nuages
- SCT : nuages épars
- BKN : nuages fragmentés
- OVC : ciel couvert

CB seulement

- ISOL : CB isolés (biens séparés, avec couverture spatiale maximale inférieure à 50 % de la zone festonnée)
- OCNL : CB bien séparés (sporadiques, avec couverture spatiale maximale comprise entre 50 % et 75 % de la zone festonnée)
- FRQ : CB peu ou pas séparés (peu ou pas séparés, avec couverture spatiale maximale supérieure à 75 % de la zone festonnée)
- EMBD : CB noyés dans des couches de nuages ou cachés par la brume

Hauteurs

[voir références verticales de la carte]

- hauteurs base et sommet exprimées en centaines de pieds
- XXX : hauteur base ou sommet en dehors du domaine vertical représenté sur la carte

Descriptions supplémentaires

Abréviations

- SFC : en surface
- LOC : localement
- MON : en montagne
- VAL : dans les vallées
- COT : sur les côtes
- MAR : en mer
- CAT : turbulence en air clair
- LAN : à l'intérieur des terres

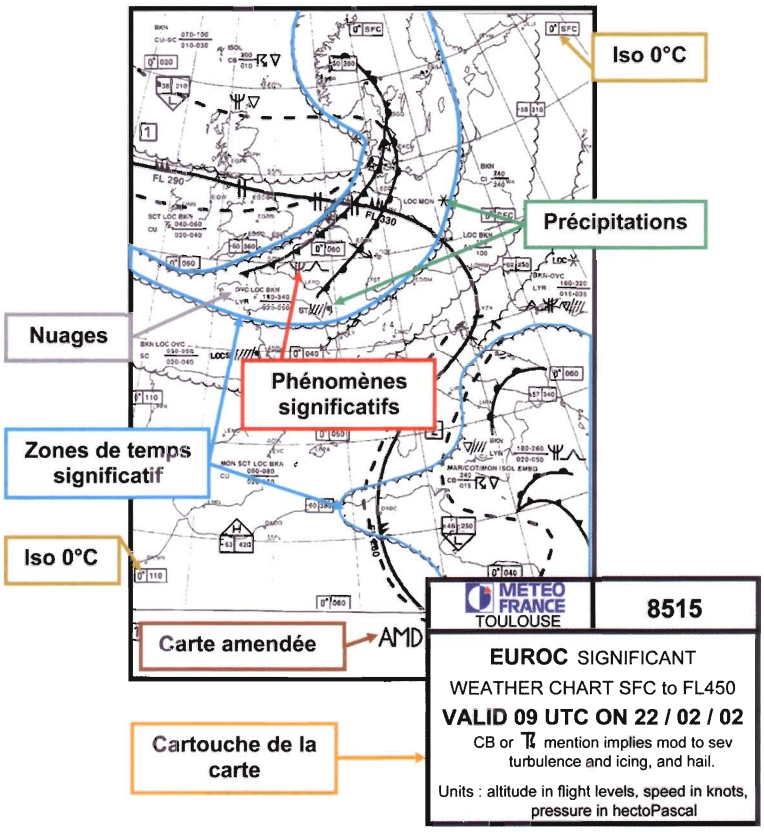


Fig. 405 – *Exemple de carte TEMSI EUROC.*

La carte du temps significatif basses altitudes : TEMSI FRANCE

Domaine géographique : France métropolitaine

Domaine vertical : SFC – 12 500 ft (altitude)

Validité : 09, 12, 15, et 18 UTC

Mises à disposition : 2 heures avant l'heure de validité

Toutes les informations sont «codées» de la même manière que pour le TEMSI EUROC dans la limite du domaine vertical de la carte TEMSI France.

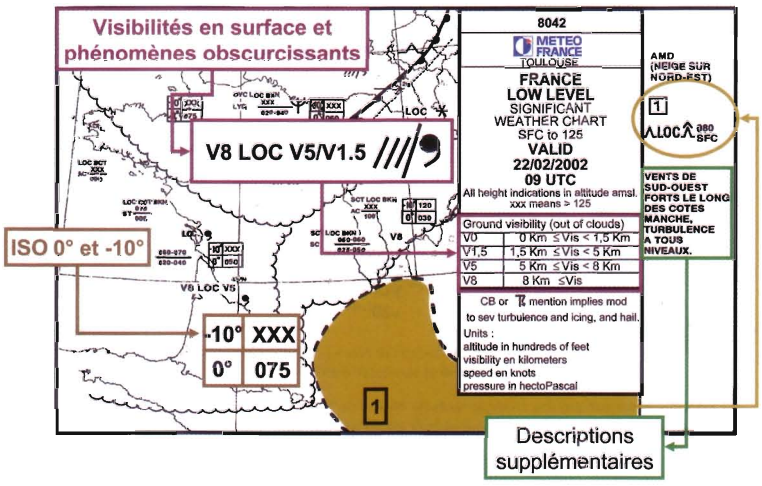


Fig. 406 – *Exemple de carte TEMSI FRANCE.*

Attention les références verticales sur cette carte sont des altitudes (et non des niveaux de vol) qui peuvent permettre la comparaison avec un altimètre calé au QNH.

Les informations supplémentaires concernent l'ISO-10 °, la visibilité en surface et l'utilisation des lignes avec des tirets marqués pour signaler la turbulence de basses couches.

Les cartes de vents et de températures

Représentation du vent et de la température sur des surfaces isobares

Les cartes produites par Météo-France

La carte de vents et de températures EUROC

Centre rédacteur :
Direction de la Prévision à Toulouse

Niveaux de vol (FL) : 050, 100, 180, 300, 340, 390

Mises à disposition :
3 heures après l'heure du modèle (00 et 12 UTC)

Validités : 00, 06, 12 et 18 UTC

Echéances : +12 h et +18 h après l'heure du modèle (00 et 12 UTC)

[validité 12 et 18 UTC ==> modèle de 00 UTC
validité 00 et 06UTC ==> modèle de 12 UTC]

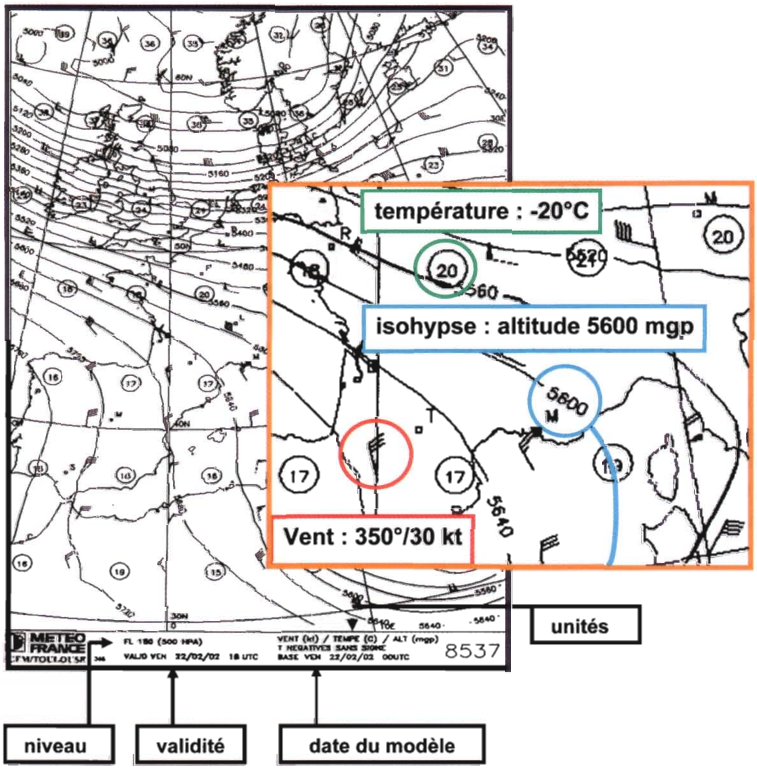


Fig. 407

Sur ce type de carte, l'altitude des isohypses est publiée en « mètre géopotentiel (mgp) » c'est-à-dire déterminée en prenant en compte notamment la variation de la pesanteur en fonction de l'altitude et de la latitude.

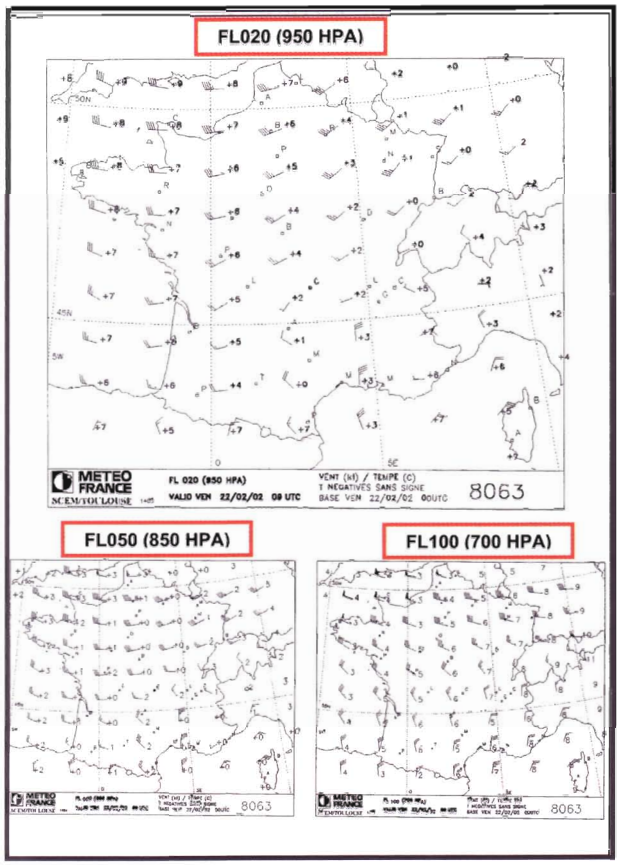


Fig. 408

La carte de vents et de températures FRANCE

Centre rédacteur : Direction de la Prévision à Toulouse

Niveaux de vol (FL) : 020, 050, 100

Mises à disposition :
3 heures après l'heure du modèle (00, 06, 12 et 18 UTC)

Validités :
00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 et 21 UTC

Échéances : + 6 h et + 9 h après l'heure du modèle (00, 06, 12 et 18 UTC)

[validité 00 et 03 UTC
==> modèle de 18 UTC

validité 06 et 09 UTC
==> modèle de 00 UTC

validité 12 et 15 UTC
==> modèle de 06 UTC

validité 18 et 21 UTC
==>modèle de 12 UTC]

Conclusion sur le dossier de vol

La délivrance d'un dossier de vol complet, comprenant une carte TEMSI, les cartes des vents à 950, 850 et 700 hPa ainsi que les METAR et TAF des stations se trouvant sur l'itinéraire prévu constitue une protection météorologique, service optimal qu'un pilote puisse obtenir d'une station météorologique. Ce dossier est remis dans une chemise bleue contenant les informations nécessaires à la compréhension des cartes et des messages (explication des symboles, des codes...).

Mais vous n'aurez pas toujours des informations personnalisées aussi complètes que le dossier météo. Ce sera notamment le cas sur des terrains ne disposant pas de station météo. Nous verrons donc dans les paragraphes suivants les moyens de s'informer.

Quelque soit le moyen utilisé pour obtenir les informations météorologiques, lors de tout vol pour lequel l'action préliminaire au vol comporte une obligation de consulter les dernières prévisions météorologiques disponibles, à défaut d'un support fourni par les services de la météorologie, vous devez noter les informations reçues et les garder dans votre dossier de vol.

ASSISTANCE MÉTÉOROLOGIQUE AUX VOLS VFR

Interrogation d'un prévisionniste

Nous nous ramenons dans ce cas à l'exposé verbal d'un prévisionniste déjà décrit dans le dossier de vol. Les mêmes recommandations s'imposent :

- indiquer le trajet, les escales prévues, l'heure de départ et d'arrivée avec précision ;
- connaître le vocabulaire météorologique (thalweg, dorsale...).

Pour une bonne compréhension vous devez aussi avoir une carte de France sur laquelle vous positionnerez les zones aéronautiquement gênantes (fronts, orages, stratus...). Vous devez aussi pouvoir prendre des notes. Ce service est accessible par un numéro de téléphone figurant dans la partie GEN 91 à 97 de l'atlas VAC.

Les répondeurs automatiques

Les renseignements utiles concernant les répondeurs automatiques sont disponibles dans l'atlas VAC (pages GEN 91 à 97) et dans le Guide Aviation publié par Météo France.

OLIVIA (cf. page 292)

Cet outil permet l'accès aux informations constituant le dossier de vol (TEMSI France et Euroc, vents, OPMET TAF/METAR, et à terme aux autres informations disponibles sur le service spécialisé aéronautique sur le site Internet de Météo France www.meteo.fr

Minitel

Par Minitel, vous pouvez aussi obtenir des prévisions et des messages METAR ou TAF. Les prévisions sont données par zone ou par trajet.

Les prévisions de visibilité et hauteur des nuages sur les zones VFR sont données selon le code O, D, M, X (code GAFOR) (cf. tableau ci-dessous). Le numéro d'appel du Minitel ainsi que son code, les zones VFR figurent dans les pages GEN 91 à 97 de l'Atlas VAC *(voir tableau ci-dessous qui reprend la numérotation des zones VFR).*

L'accès à ce service est également possible sur certains aérodromes grâce à des bornes télématiques utilisées pour la consultation de l'information aéronautique ou la transmission des plans de vol.

Les bulletins par téléphone ou Minitel ont une validité de 6 heures. Trois bulletins l'hiver, et quatre l'été, sont enregistrés à 06 h UTC (05 h UTC l'été), 09 h UTC, 12 h UTC et 15 h UTC en été.

h ≥ 600m (2000 ft)	X	M3	D2	O
300m (1000 ft) ≤ h < 600m	X	M4	D3	D1
150m ≤ h < 300m	X	M5	M2	M1
h < 150m (500ft)	X	X	X	X
Hauteur (h) / Visibilité (V)	V < 1,5 km	1,5km ≤ V < 5km	5 km ≤ V < 8km	V ≥ 8km

Code ODMX (Seuils de visibilité et hauteur des nuages de plus de 4 octas)

Télécopieur

Par télécopieur, le répondeur AÉROFAX permet d'obtenir un dossier comprenant une carte TEMSI, trois cartes de vent et températures aux niveaux de vol 020 050 et 100 et une sélection de METAR et de TAF sur la France entière.

Internet

Météo France propose sur son site Internet (www.meteo.fr) un service spécialisé aéronautique « aéroweb » dans la rubrique « nos prévisions par activités aéronautiques » ; les pilotes peuvent consulter des dossiers météorologiques de vols complets ou seulement certains éléments de ce dossier.

Quelle que soit la manière dont vous vous êtes procuré la prévision météorologique pour votre voyage, la documentation que vous avez constituée est la preuve, en cas de contrôle d'un service officiel, que

vous avez effectué l'action préliminaire au vol exigée par les Règles de l'Air. Vous devez en outre vérifier que la prévision couvre la durée et le trajet entier du vol.

Exemple de prévisions visibilité/hauteur des nuages transmis selon le code ODMX (GAFOR) :

85/94 D2 LOC D3 RA/SHRA MON X LOC SHSN ISOL TEMPO 0915 CB/TS

Interprétation :
85/94 : prévisions pour les zones 85 et 94 : hauteur des nuages supérieure ou égale à 600 mètres, visibilité supérieure ou égale à 5 km mais inférieure à 8 km, localement et temporairement la hauteur des nuages peut descendre à 300 mètres à cause de la pluie ; en montagne, les conditions ne permettent plus le vol VFR en raison des averses de neige ; temporairement de 09 h UTC à 15 h UTC vous pouvez rencontrer des cumulo-nimbus et orages.

LES INFORMATIONS ACCESSIBLES EN VOL

Pendant le vol, vous pouvez être amenés à actualiser les informations météorologiques dont vous disposez.

Vous avez plusieurs possibilités :

Le message VOLMET (meteorological information for aircraft in flight)

C'est un message en clair, donnant des informations sur la situation météorologique de la zone survolée en diffusant les METAR des principaux aérodromes.

Les fréquences des VOLMET sont données dans la partie GEN de l'atlas VAC.

Le message ATIS (Automatic Terminal Information Service)

C'est un message enregistré en clair, radiodiffusé (fréquence disponible sur les cartes VAC), contenant des informations météorologiques d'aérodrome (vent, plafond, visibilité, température, QNH et QFE, état des pistes, etc.).

La fréquence des ATIS ainsi que leur numéro d'appel téléphonique (lorsqu'un tel accès est possible) sont publiés sur les cartes VAC.

Le service d'information de vol

Ce service peut être rendu par tout organisme de la circulation aérienne, et à ce titre vous pouvez obtenir les derniers renseignements météorologiques notamment pour les aérodromes de destination ou de déroutement. Il est cependant préférable d'utiliser les fréquences ATIS ou VOLMET si cela s'avère possible.

CARTE DE ZONES POUR PREVISIONS VFR
VFR forecast areas

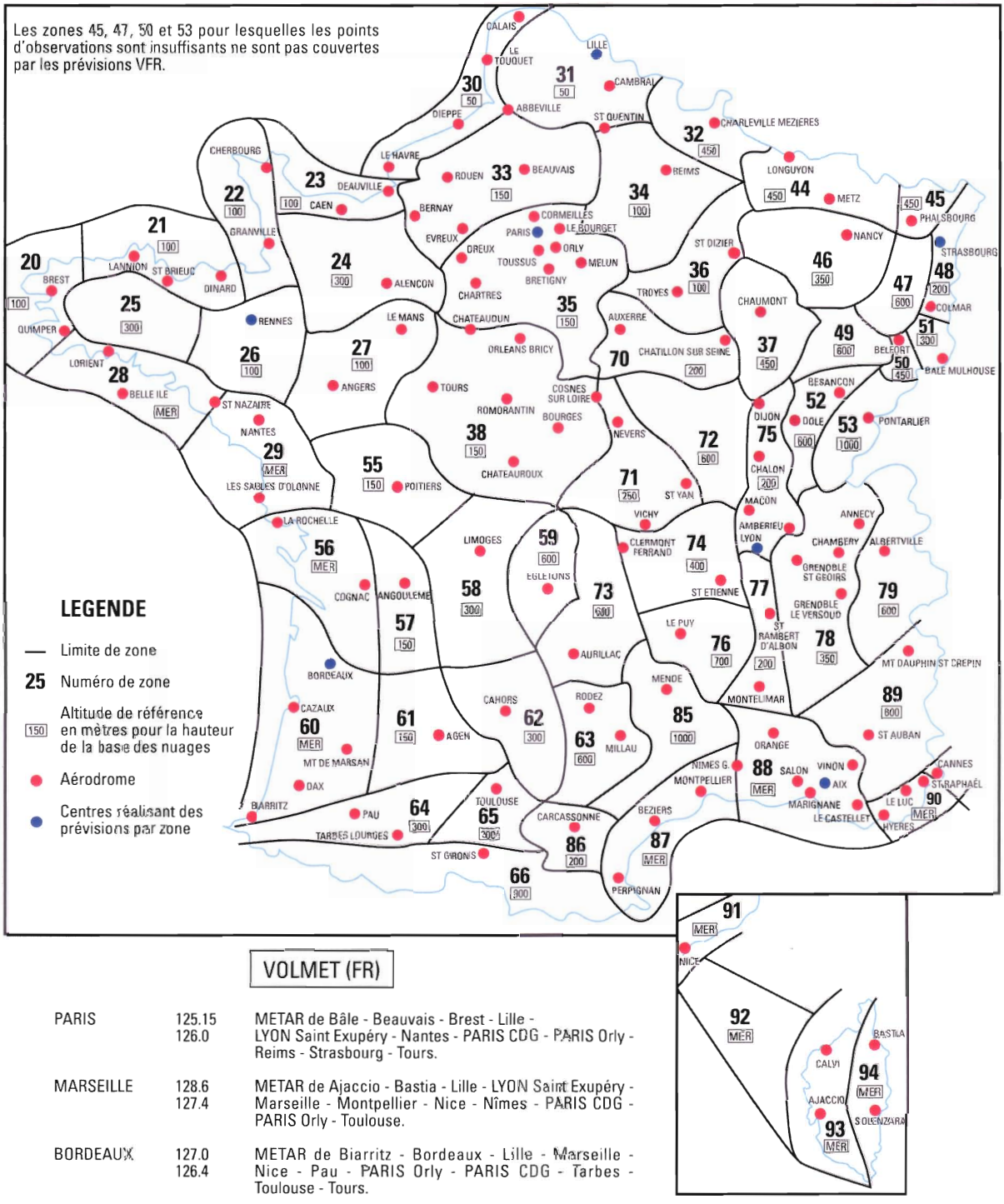


Fig. 409 – *Carte de zones pour prévisions VFR.*

Spécimen reproduit avec l'autorisation du SIA n° E1112006 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

UNITÉ D'INSTRUCTION IV.3
MÉTÉOROLOGIE : LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX POUR L'AÉRONAUTIQUE

LE GIVRAGE

Le givrage est la formation plus ou moins rapide d'un dépôt de glace sur certaines parties de l'avion (cellule, entrées d'air du moteur). Ce dépôt de glace :

- alourdit l'avion, parfois dans des proportions considérables ;
- altère l'écoulement aérodynamique par modification de la forme du profil, altère donc les performances ;
- peut bloquer les gouvernes ;
- peut étouffer le moteur (givrage du carburateur) ;

Suivant sa rapidité de formation et son apparence, on distingue trois sortes de givre :

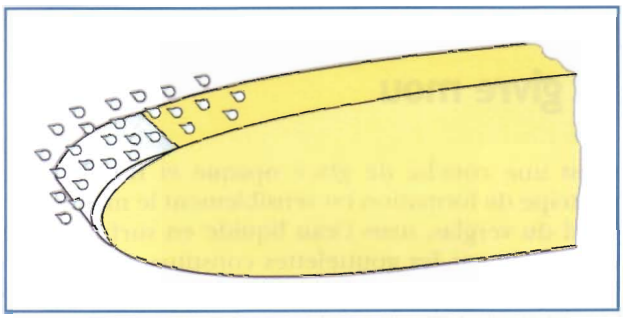


Fig. 411

Le verglas

Une masse d'air de température négative peut être observée au-dessous d'une masse d'air de température positive : c'est en effet le cas d'un côté et de l'autre d'un front (froid, par exemple).

En amont du front (froid), l'air est chaud, l'isotherme 0 °C est donc élevée. En aval, l'air est plus froid, l'isotherme 0 °C est donc plus basse (fig. 410).

Dans la zone où les deux isothermes 0 °C se chevauchent, les précipitations qui se produisent dans l'air chaud traversent la masse d'air de température inférieure à 0 °C. Les gouttes de pluie, en traversant cet air froid, peuvent rester à l'état liquide bien que leur température soit inférieure à 0 °C.

C'est le phénomène de **surfusion**. Cet état d'équilibre très précaire est rompu si on apporte à la goutte d'eau une très faible quantité d'énergie, sous la forme d'un choc par exemple. L'eau change d'état, et passe à l'état solide.

Ainsi, un avion qui traverse une zone de pluie surfondue apporte à toutes les gouttes d'eau qu'il touche assez d'énergie pour qu'elles passent à l'état solide : l'avion se couvre de glace en très peu de temps. C'est le **verglas**.

C'est le givrage **le plus dangereux** : il est très rapide et on ne s'y attend pas, si on n'est pas informé du passage d'un front, puisque l'on vole hors des nuages, dans une zone de pluie. Le risque de verglas est indiqué sur la carte TEMSI par le symbole noté (pluie se congelant figure 411), lorsqu'il se produit au sol seulement (FZRA dans les METAR). Il est rarement signalé en altitude, car considéré comme accompagnant systématiquement tout front actif.

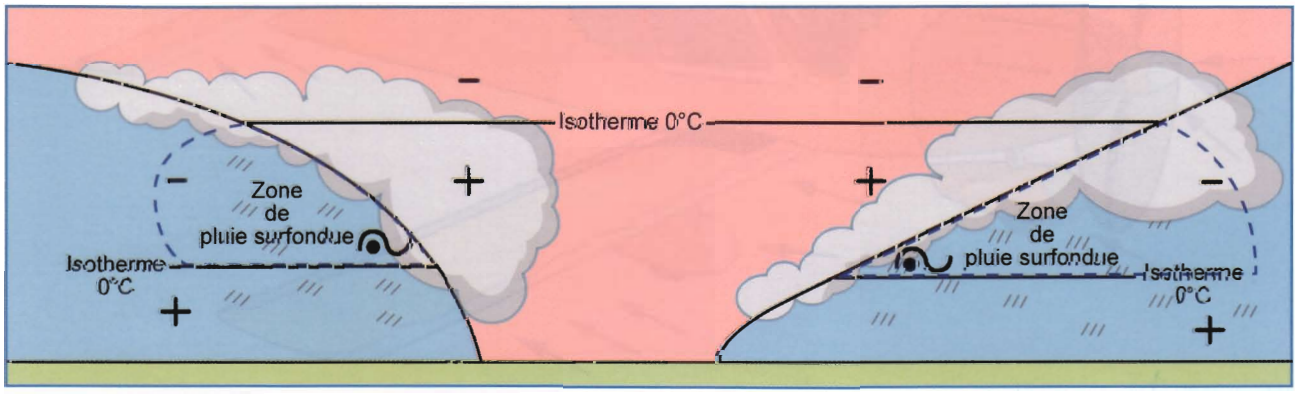


Fig. 410 – *Le verglas.*

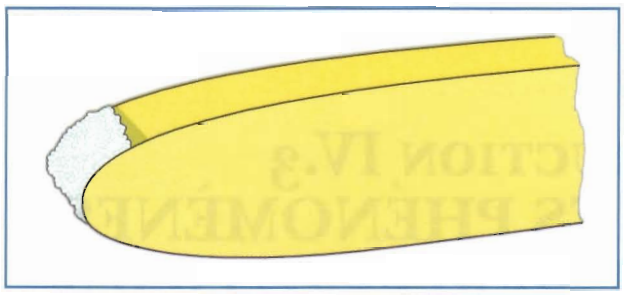


Fig. 412

Le givre mou

C'est une couche de glace opaque et friable. Son principe de formation est sensiblement le même que celui du verglas, mais l'eau liquide en surfusion est constituée par les gouttelettes constituant le nuage, beaucoup plus petites que les gouttes de pluie. Ainsi ce givrage est plus lent et ne se produit qu'en conditions de vol aux instruments.

En outre des bulles d'air sont emprisonnées au cours de la congélation ce qui explique son aspect opaque (fig. 412).

La gelée blanche

Si un avion séjourne dans une masse d'air dont la température est inférieure à 0 ° C et s'il traverse ensuite une atmosphère chaude et humide, la vapeur d'eau peut se congeler par le phénomène de condensation solide (passage de l'état gazeux à l'état solide).

Ce type de givrage peut aussi se produire lorsque l'avion reste au sol en hiver. Il convient alors de soigneusement **retirer tout dépôt de glace, même léger, avant le départ**.

En effet, le dépôt de glace dégrade nettement les performances de l'avion surtout au décollage ou en montée (modification des qualités aérodynamiques de l'aile) et en outre peut favoriser l'apparition de verglas en cas de pluie surfondue.

Où y a-t-il un risque de rencontrer du givrage ?

- Dans la plupart des nuages lorsque ceux-ci sont à une température négative et plus particulièrement dans les nuages instables. Ce risque ne concerne pas les pilotes volant en VFR.
- En VFR, comme en IFR, dans de la pluie surfondue liée à un front.

Quelles sont les parties de l'avion qui givrent le plus ?

Ce sont celles qui sont directement exposées au vent relatif (fig. 413) et le moteur.

Certains avions sont équipés de systèmes antigivrants ou dégivrants. Notons qu'un système antigivrage est un système qui est conçu pour **empêcher la formation** de givre, alors qu'un système dégivrant est conçu pour éliminer du givrage **déjà formé**.

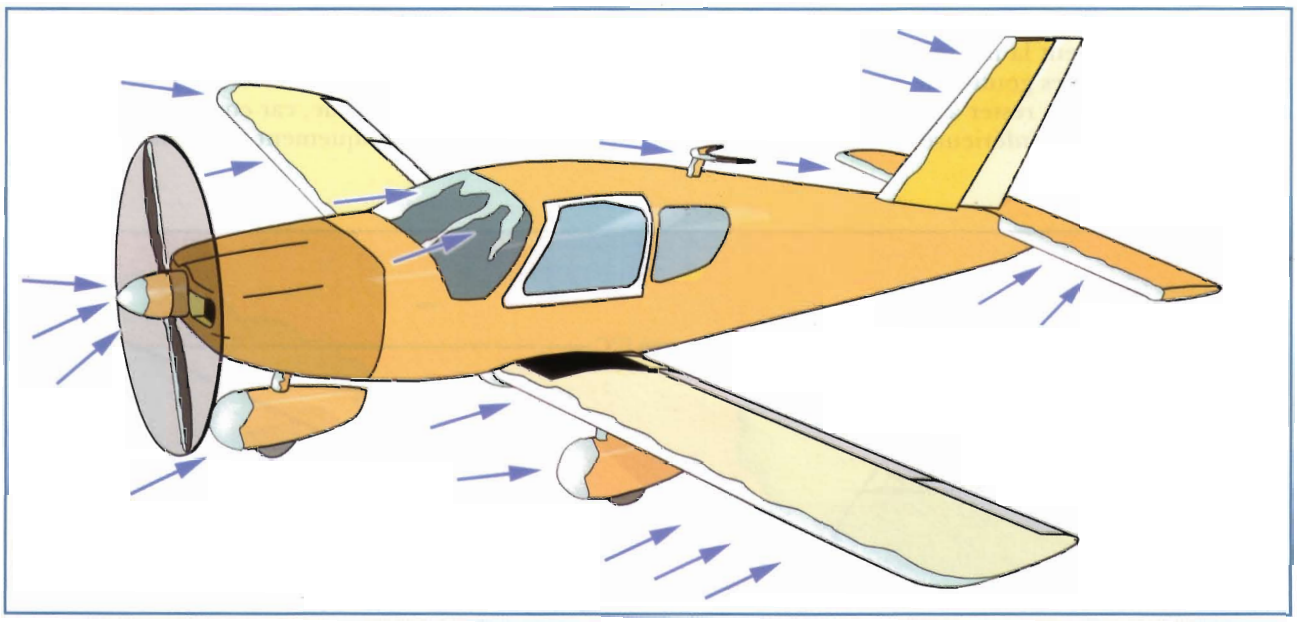


Fig. 413 – *Parties de l'avion sensibles au givrage.*

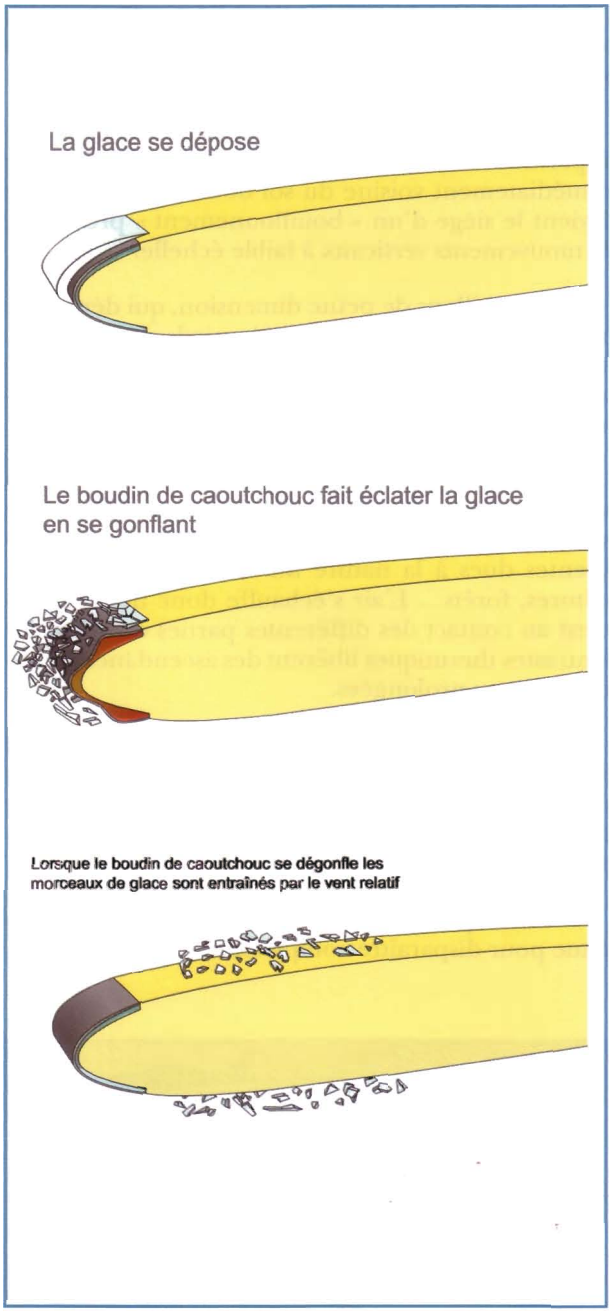


Fig. 414

La nuance est très importante car les deux types de système s'utilisent complètement différemment : l'un est **préventif**, et il faudra l'actionner **avant** d'entrer en conditions givrantes ; l'autre est **curatif**, et il ne faudra l'utiliser qu'**après** que le givrage soit apparu sur la cellule (fig. 414).

Voici quelques exemples d'antigivrage et de dégivrage :

- Antigivrage hélice : chauffage électrique ou écoulement d'alcool le long du pied de la pale ;
- Dégivrage du pare-brise : résistance électrique noyée dans le pare-brise (comparable au système anti-buée des lunettes arrières d'automobiles).
- Dégivrage des bords d'attaque des ailes, de l'empennage et de la dérive par récupération des gaz d'échappement, ou grâce à des boudins gonflables en caoutchouc qui permettent de faire éclater la glace (fig. 414).

Le givrage carburateur

C'est finalement le givrage le plus fréquent en VFR, mais les conditions de son apparition sont radicalement différentes. En effet il peut survenir lors de températures atmosphériques largement positives. Ce phénomène est étudié de façon précise dans l'*Unité d'Instruction II.1 - Le groupe motopropulseur.*

LA TURBULENCE

On appelle turbulence l'écoulement non laminaire de l'air.

Ce phénomène a principalement deux origines : une origine thermique et une origine dynamique.

La turbulence thermique

Lorsque le sol s'échauffe sous l'effet d'une forte insolation, les couches d'air à son contact deviennent instables et des mouvements ascendants, compensés par des mouvements descendants, entraînent la formation de tourbillons qui rendent turbulente toute cette partie de l'atmosphère. C'est le phénomène de convection.

Cette turbulence peut s'étendre verticalement sur plusieurs milliers de mètres.

Le plus souvent, on assiste à l'éclosion de cumulus qui matérialisent les courants ascendants. On trouvera donc fréquemment de la turbulence sous ce type de nuages.

Si l'air est très sec, la turbulence peut être très active sans que l'élévation de l'air chaud ne provoque sa condensation, et par conséquent la formation de nuages. Nous pourrons donc trouver de l'air turbulent même lorsqu'aucun cumulus n'est présent, dans le cas où l'air est très sec. On dit alors qu'il y a des « thermiques purs ».

La turbulence thermique, liée à l'échauffement des couches inférieures de l'atmosphère au contact du sol, subit des variations quotidiennes très sensibles.

Par beau temps, en début de matinée, et dès la disparition de la brume matinale, la pellicule d'air immédiatement voisine du sol devient instable. Elle devient le siège d'un « bouillonnement » provenant de mouvements verticaux à faible échelle.

Ces tourbillons de petite dimension, qui dépassent rarement quelques centaines de pieds de diamètre, font subir à l'avion des secousses comparables au passage à grande vitesse d'une voiture sur un ralentisseur rendant le vol chaotique.

En début d'après-midi, l'insolation atteint son maximum. Cependant, en des points voisins de la surface du sol, on relève des températures très différentes dues à la nature du revêtement : calcaire, cultures, forêts... L'air s'échauffe donc très inégalement au contact des différentes parties du sol et les contrastes thermiques libèrent des ascendances intermittentes ou prolongées.

Ces ascendances sont, bien entendu, compensées par des descendances au-dessus des surfaces relativement moins chaudes. Tous ces mouvements créent des turbulences dites de « basses couches » aux heures de meilleur ensoleillement.

En fin d'après-midi, la turbulence thermique s'atténue pour disparaître complètement au crépuscule.

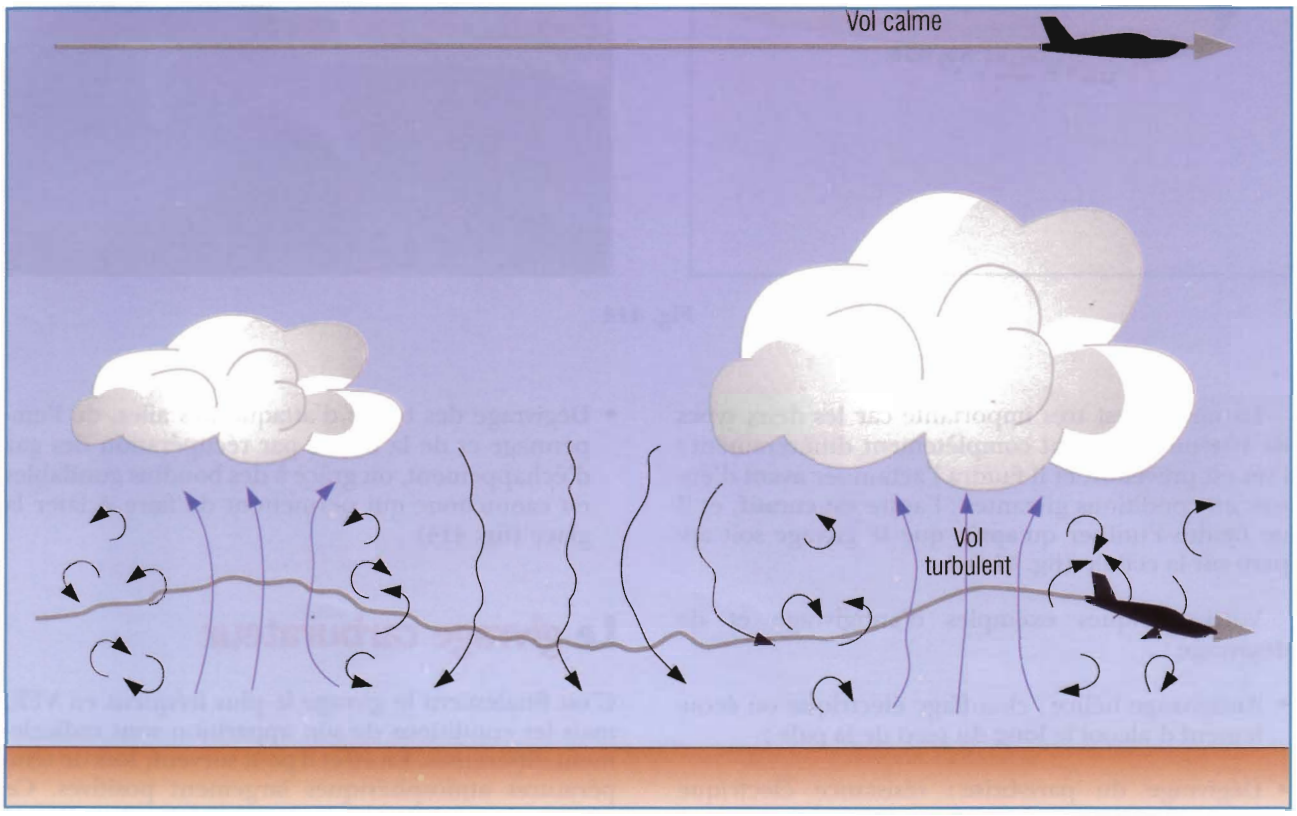


Fig. 415 – *Vol en conditions turbulentes.*

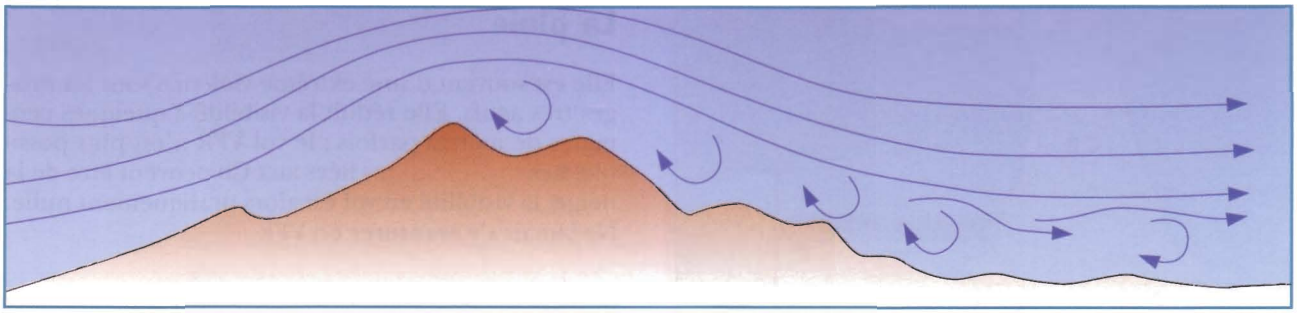


Fig. 416 – *La turbulence dynamique.*

Retenons que la turbulence thermique :

- *dépend de l'***insolation**, *de la* **nature du sol** *et du degré d'***instabilité** *de l'air,*
- *est synonyme d'***inconfort** *pour vos passagers et pour vous-même,*
- *entraîne souvent une diminution de la vitesse propre de l'avion et une* **imprécision des indications** *fournies par les instruments de bord.*

Il y a donc lieu de l'éviter dans la mesure du possible, en volant :

- *au-dessus des cumulus,*
- *au-dessus des thermiques purs (fig. 415).*

Au cas où il n'est pas possible d'éviter la turbulence, rappelons que l'avion qui pénètre dans une rafale verticale subit un facteur de charge d'autant plus grand que :

- *la vitesse de la rafale est élevée (c'est-à-dire que la turbulence est forte),*
- *l'avion va plus vite.*

La conduite à tenir est donc de **réduire la vitesse** *en deçà de la V_{NO}, en respectant, si elle est indiquée, celle recommandée dans le manuel de vol section limitations.*

Il convient également de ne pas agir systématiquement sur les commandes. Il faut en tout cas éviter de réagir à chaque rafale, car les rafales successives ont tendance à annuler leurs effets respectifs.

La turbulence dynamique ou de relief

En passant sur un relief, l'écoulement de l'air devient tourbillonnaire et génère en aval des crêtes des courants descendants, parfois très puissants ou « **rabattants** » (fig. 416).

Ce type de turbulence est l'un des plus dangereux pour un avion léger, à part égale sans doute avec la turbulence de sillage que nous allons aborder après. Son intensité varie selon trois facteurs principaux :

- la forme du relief : en effet plus sa hauteur et sa largeur sont importantes plus l'intensité des mouvements verticaux est forte ;
- la vitesse du vent ;
- le caractère stable de l'atmosphère favorise l'apparition de systèmes ondulatoires qui à proximité du sol dégénèrent en **rotors** ou **rabattants** (fig. 416).

Quand le vent est fort (supérieur à 25 kt), la turbulence peut devenir très forte et affecter des tranches d'atmosphère allant jusqu'à 10 000 pieds dans les régions montagneuses (massif alpin, par exemple). Elle donne alors souvent naissance à des strato-cumulus ou à des cumulus surmontés d'altocumulus lenticulaires, très caractéristiques, qui permettent d'identifier et de localiser la turbulence.

Notons que la turbulence dynamique existe parfois sans qu'il y ait un relief marqué pour la générer : la couche d'air la plus voisine du sol est, la plupart du temps, le siège de mouvements tourbillonnaires. Cette agitation est due au sol dont l'influence se manifeste sous un double aspect :

- par la nature de son revêtement plus ou moins rugueux,
- par son relief, plus ou moins accidenté.

L'ORAGE

L'orage et la grêle sont nécessairement associés à un type de nuage : le cumulo-nimbus (Cb). Nous nous intéressons au Cb déjà formé et aux dangers qu'il représente.

Manifestations dangereuses liées au cumulo-nimbus

Vent, rafales et microrafales

Le vent sous un Cb est **très irrégulier**, en direction (variations de 180 ° possibles) et en vitesse (variations pouvant dépasser 30 à 40 kt), générateur de fortes rafales. Cela représente un danger très important pendant les phases de décollage et d'atterrissage : **le cisaillement de vent**, responsable de nombreux accidents en aviation générale et en transport public, que nous étudierons dans les techniques de pilotage. Le cisaillement peut en effet causer une perte totale du

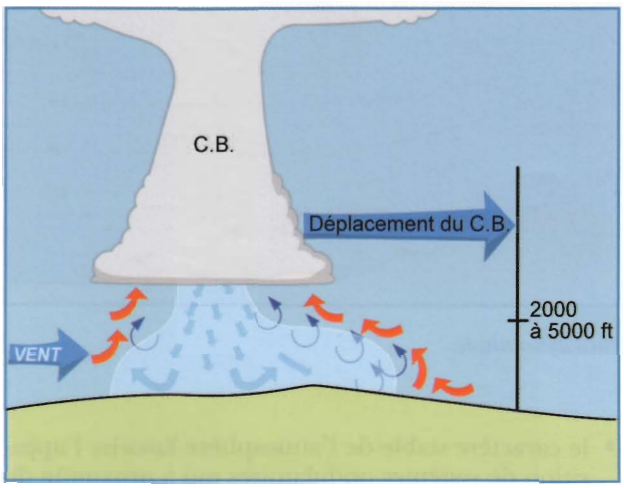


Fig. 417 – *Rafales et microrafales.*

contrôle de l'aéronef, si on aborde la zone à la vitesse standard d'approche.

Il faut donc attendre que le cumulo-nimbus se soit éloigné de l'aérodrome pour entreprendre le départ ou l'atterrissage. Ne perdons pas de vue que des microrafales peuvent prendre forme jusqu'à 50 km aux alentours d'un Cb très actif. Il est parfois sage de **rejoindre l'aérodrome de dégagement** en cas d'orage important, plutôt que d'attendre.

Le grain

C'est un coup de vent très violent, annonciateur de l'approche d'un cumulo-nimbus, et accompagné d'averses. Il précède en général le Cb de quelques minutes. L'atterrissage peut donc être risqué avant l'arrivée prochaine d'un Cb sur un aérodrome.

© Météo France.

Fig. 418

La turbulence

Elle est directement liée aux courants ascendants et descendants voisins et aux fortes rafales de vent. Elle est souvent très violente et peut se rencontrer jusqu'à 20 km autour du Cb. Il est donc important de contourner largement le nuage.

La pluie

Elle est souvent d'une extrême violence sous les nuages très actifs. Elle réduit la visibilité à quelques centaines de mètres parfois : le vol VFR n'est plus possible. Les précipitations liées aux Cb peuvent être de la neige, la visibilité en vol est alors pratiquement nulle. Ne jamais s'y aventurer en VFR.

© J.-P. FIEQUE

Fig. 419

La grêle

C'est un phénomène peu fréquent mais très dangereux. La plupart du temps, la taille des grêlons est telle qu'ils n'endommagent pas la cellule de l'avion (grésil), mais il arrive parfois qu'un avion soit totalement inutilisable après un passage de courte durée dans une averse de grêle importante.

Il est impossible de connaître à l'avance la taille des grêlons. Le mieux est de contourner systématiquement les noyaux orageux les plus actifs.

La foudre

Elle ne touche qu'exceptionnellement les avions. Elle n'est pas directement dangereuse pour les occupants

© Sébastien Fabre

Fig. 420

d'avions métalliques qui risquent seulement d'être temporairement aveuglés ou assourdis. Elle peut, par contre, endommager définitivement les moyens radio. Il est ainsi recommandé d'éteindre ceux qui ne sont pas essentiels à proximité des orages.

Dans quelques cas, heureusement rares, la foudre a occasionné des dégâts majeurs à la structure de l'avion.

Situations météorologiques propices à la présence de cumulo-nimbus

La traîne active, avec des vents en altitude d'ouest ou nord-ouest, en hiver ou au printemps (giboulées de mars) peut donner des orages le soir. Les cumulo-nimbus sont bien isolés et peuvent être contournés sans difficulté.

Le front froid secondaire est une barrière de cumulo-nimbus infranchissable. Il est situé dans la traîne.

Le Cb noyé dans la couche frontale n'est repérable que par un abaissement local du plafond et une couleur plus sombre, ainsi qu'une recrudescence des précipitations. Il est dangereux car difficilement repérable.

Le Cb d'été : par évolution diurne, l'orage éclate l'après-midi et se poursuit en soirée. Il est fréquent dans les régions méditerranéennes. Ses dimensions sont énormes.

Dans tous ces cas, le relief augmente l'activité du cumulo-nimbus. Il faut donc éviter les massifs lorsque l'on se trouve dans des conditions favorables à l'apparition de tels nuages.

Vol en présence de cumulo-nimbus

Il est impossible de passer au-dessus d'un cumulo-nimbus en VFR, ce nuage ayant le plus souvent un sommet situé au-dessus de 25 000 pieds.

Le passage sous le nuage est très dangereux (plafond bas, visibilité très faible, présence de rafales, etc.) on risque d'être pris dans des courants ascendants sans pouvoir descendre (même en piquant) et monter à 5 000 pieds/minute jusqu'à des altitudes très élevées. La turbulence très forte peut faire dépasser les limites de résistance structurale de l'avion.

Le contournement doit se faire à une distance suffisante (10 NM), pour éviter de rencontrer de fortes turbulences.

LES PHÉNOMÈNES RÉDUISANT LA VISIBILITÉ

La visibilité est la distance maximale jusqu'à laquelle il est possible d'identifier un objet à l'œil nu.

La visibilité horizontale est estimée par le météorologiste et évaluée en mètres ou kilomètres. En fait, le pilote est intéressé par la visibilité en vol c'est-à-dire la visibilité oblique du haut vers le bas : elle est souvent moins bonne que la visibilité horizontale. Malheureusement, le météorologiste n'a pas de moyens pour la mesurer.

Il faut donc se contenter de la visibilité horizontale et en déduire une estimation de la visibilité oblique, en diminuant a priori la valeur communiquée, notamment face au soleil.

Les phénomènes réduisant la visibilité sont les précipitations, la brume, le brouillard et la brume sèche. Les stratus (St) peuvent diminuer la visibilité oblique.

Les précipitations

La pluie (RA) modérée ou forte (+ RA) peut réduire la visibilité jusqu'à 400 mètres, voire moins. Ces précipitations sont rencontrées dans les conditions suivantes :

Pluie associée à des nimbo-stratus (Ns) dans un front actif. Ce cas est assez fréquent en hiver et peut durer plusieurs heures.

Averses (SH) dans un front, qui aggravent alors temporairement les conditions, médiocres par ailleurs.

Averses dans une traîne : les réductions de visibilité ne durent que quelques dizaines de minutes, il sera alors possible de les contourner et se trouver dans des conditions excellentes.

La neige (SN), quand elle est très faible, réduit immédiatement la visibilité à 2 ou 3 kilomètres. Une averse de neige (+ SN) la réduit à **quelques mètres** : cette forme de précipitation **interdit le vol en VFR**.

La bruine (DZ) ne réduit pas la visibilité par sa présence mais est souvent associée à des situations à brume ou à brouillard (secteur chaud de perturbation).

La brume (Br)

Elle est constituée de poussières diffusantes et de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. Par définition, il y a de la brume **si la visibilité est supérieure ou égale à 1 km, et inférieure à 5 km**. Ce phénomène peut donc dans certains cas **interdire le VFR**.

La brume peut apparaître dans deux types de situations :

- anticyclone ou dorsale ;
- secteur chaud avec couche nuageuse. Dans ce cas, la visibilité ne change guère en cours de journée tant que le front froid ne passe pas.

En conditions anticycloniques, par contre, le matin la nébulosité est généralement faible. Une amélioration est obtenue grâce à l'échauffement par le soleil (rapide en été, beaucoup plus lent en hiver). Un autre phénomène vient apporter une amélioration diurne :

- Le matin, les rayons du soleil, bas sur l'horizon, doivent traverser une distance L1 (fig. 421) et rencontrent un grand nombre de particules diffusantes : la visibilité est mauvaise.

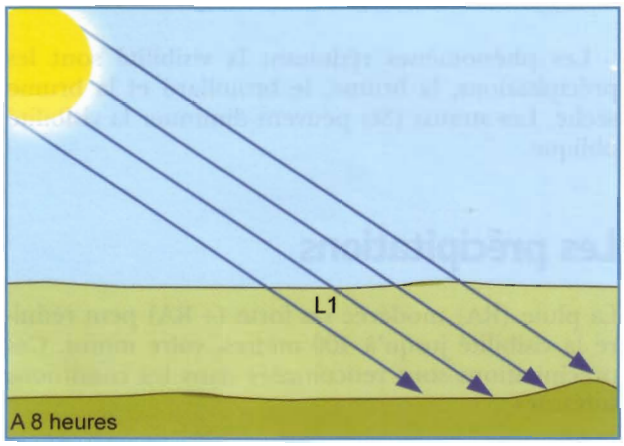


Fig. 421

- L'après-midi, le soleil est haut, il traverse une distance plus faible L2 (fig. 422) de brume, donc peu de particules diffusantes : la visibilité s'améliore.

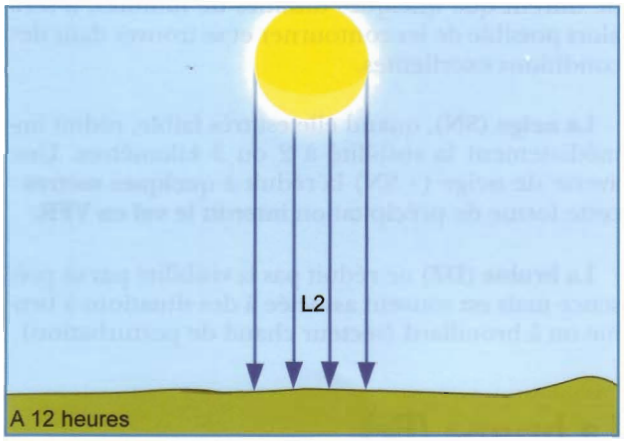


Fig. 422

- Le soir, la visibilité se détériore à nouveau car le soleil baisse sur l'horizon. Il traverse une distance L3 (fig. 423) de brume.

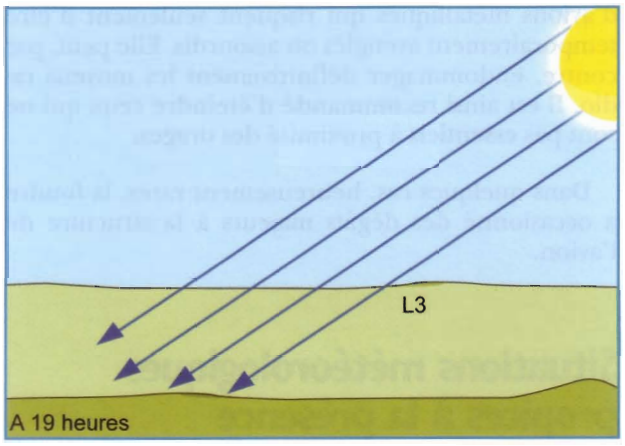


Fig. 423

En conditions anticycloniques, la brume (comme le brouillard d'ailleurs) est limitée aux basses couches (jusqu'à 2 000 à 3 000 pieds). Son sommet est marqué par une inversion de température, matérialisée par une barre gris sale. Au-dessus de celle-ci, la visibilité horizontale est généralement bonne (jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres) (fig. 424).

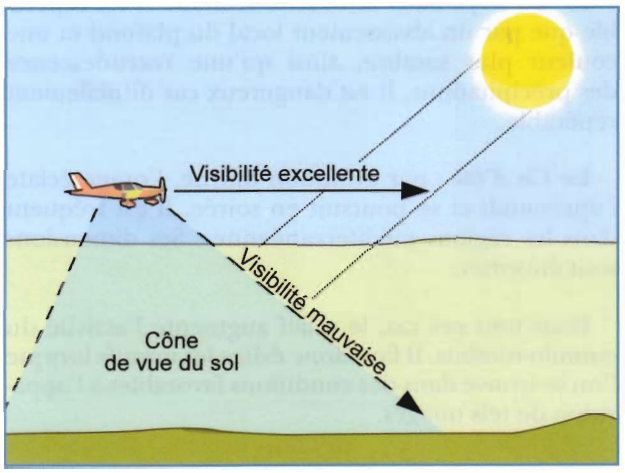


Fig. 424 – *Vol au-dessus de la brume.*

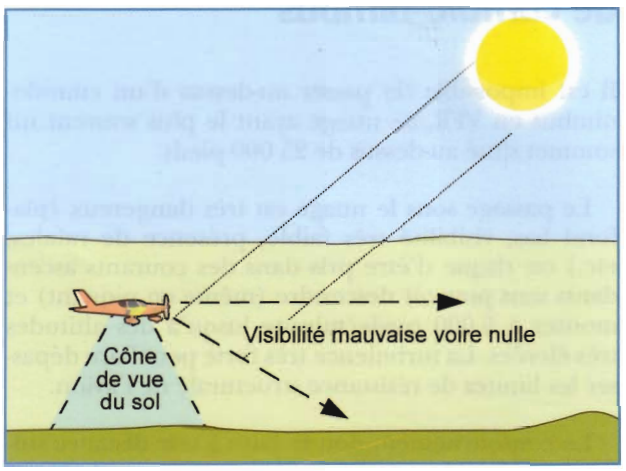


Fig. 425 – *Vol dans la brume.*

La visibilité vers le sol est mauvaise, surtout face au soleil qui se réfléchit dans la brume. On ne voit alors le sol que dans un **cône plus ou moins large** sous l'avion.

Le vol dans la brume est difficile et pénible car les visibilités obliques ou horizontales sont toutes mauvaises, surtout face au soleil. Il peut arriver de ne voir le sol que dans un cône très étroit sous l'avion (fig. 425).

Il est donc recommandé de **voler au-dessus de la brume**, en utilisant en priorité des moyens de radio navigation.

Le brouillard (FG)

Par définition, on dit qu'il y a brouillard quand la visibilité est inférieure à 1 km. D'après leur mode de formation on distingue plusieurs types de brouillard.

Le brouillard de rayonnement

Sous nos climats, c'est le plus fréquent. Les conditions propices à sa formation sont :

- vent faible,
- ciel dégagé,
- forte humidité relative (température voisine du point de rosée).

Ces conditions sont réunies en présence d'un anticyclone ou d'une dorsale. Le soir, la température peut s'abaisser fortement (4 °C en une heure au coucher du soleil) par rayonnement du sol vers l'atmosphère.

La température peut atteindre la température du point de rosée : il y a saturation, le brouillard se forme et s'épaissit progressivement. Il peut atteindre 3 000 pieds d'épaisseur.

Le brouillard de rayonnement peut se former après le coucher du soleil, mais c'est au moment du minimum de température (une ou deux heures après le lever du soleil) qu'il est le plus dense. Ensuite, avec l'échauffement solaire, le brouillard va diminuer et se dissiper.

Dans de nombreux cas, il se dissipe près du sol pour former une couche de stratus (fig. 426).

En terrain accidenté, le brouillard occupe surtout le fond des vallées dans lesquelles l'air froid, plus lourd, s'écoule par pesanteur. Le brouillard peut donc être dissipé sur l'aérodrome mais pas encore dans les vallées humides ou les zones forestières. Il est conseillé d'attendre d'avoir un écart d'environ 3 °C entre la température et le point de rosée pour être assuré d'une amélioration suffisante pour le vol.

Attention, la formation de brouillard de rayonnement peut concerner, au même moment, une zone très étendue. C'est donc une situation dont vous ne pouvez vous échapper par un simple demi-tour. Surveillez en vol, en écoutant les fréquences radio appropriées, l'évolution de l'écart entre la température et le point de rosée.

Lorsque le météorologiste utilise le terme « conditions anticycloniques », il entend : brouil-lard nocturne et matinal se dissipant pour aboutir à un ciel clair ou peu nuageux par cumulus peu développés.

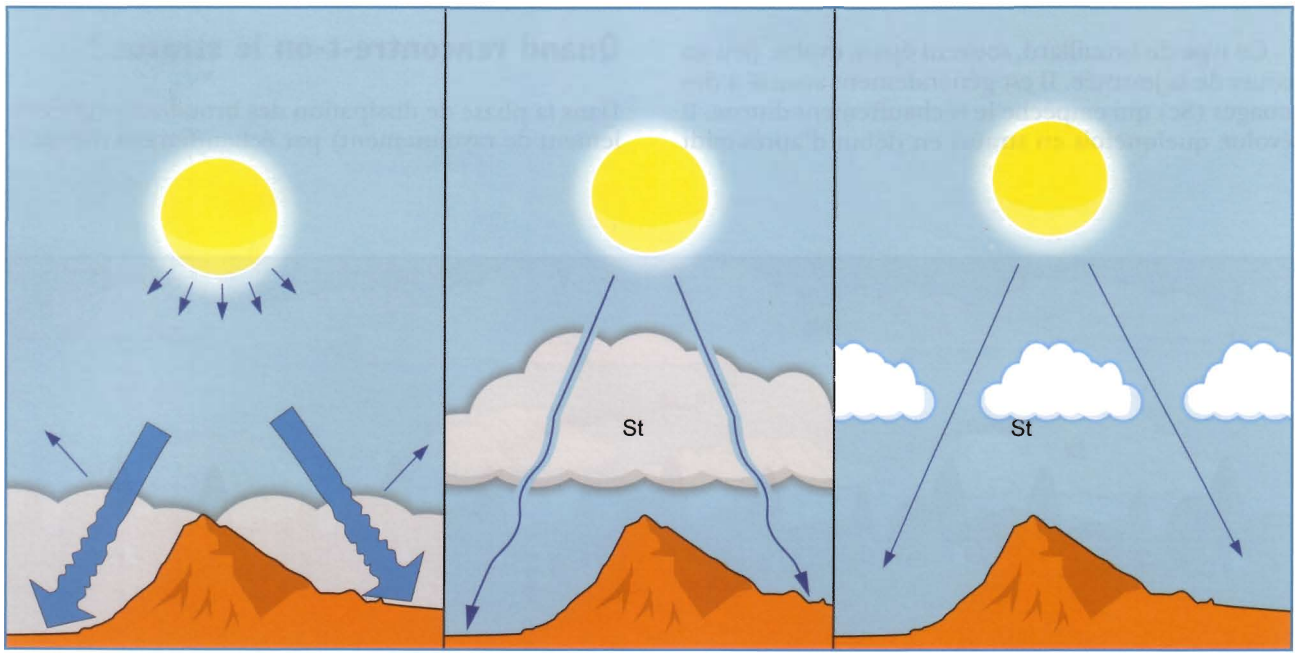


Fig. 426

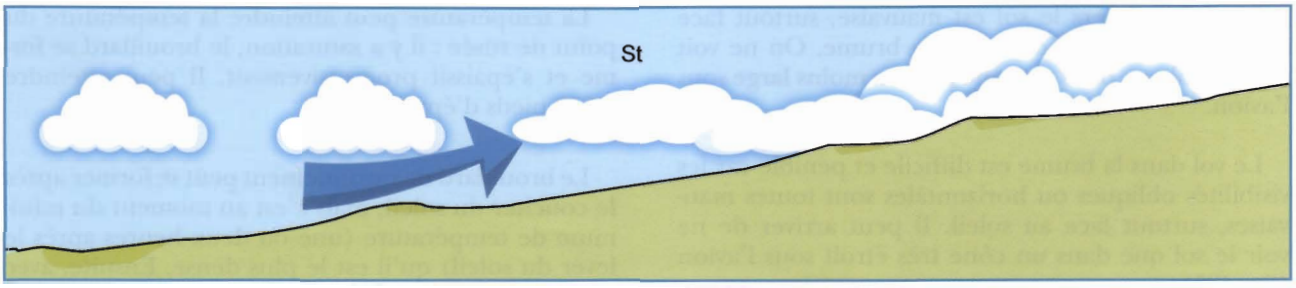


Fig. 427 – *Le brouillard de pente.*

Le brouillard d'advection

Il apparaît dans les conditions suivantes :

- vent faible et régulier,
- arrivée d'une masse d'air chaude et humide sur un sol froid. L'air se refroidit au contact de cette surface entraînant la condensation de la vapeur d'eau. Ces conditions sont réunies dans la partie sud de certains secteurs chauds de perturbations d'ouest ou nord-ouest d'hiver, quand les pressions sont élevées.

La nappe de brouillard occupe une surface au sol considérable (plusieurs milliers de kilomètres carrés) et il faut attendre le passage du front froid donc un changement total de situation pour que le brouillard disparaisse. Cette situation **peut bloquer le VFR** pour une journée, voire plus.

Contrairement au brouillard de rayonnement qui se forme surtout la nuit et se dissipe le matin, le brouillard d'advection peut envahir un aérodrome, ou le quitter, à n'importe quel moment du jour ou de la nuit, puisqu'il est lié au déplacement d'une masse d'air.

Ce type de brouillard, souvent épais, évolue peu au cours de la journée. Il est généralement associé à des nuages (Sc) qui empêche le réchauffement diurne. Il évolue quelquefois en stratus en début d'après-midi mais retombe très vite. Les brouillards côtiers sont un cas particulier de brouillard d'advection.

Le brouillard de pente

On peut le rencontrer en toutes saisons dans les régions montagneuses. Une masse d'air humide qui s'élève le long d'une pente se refroidit et peut atteindre la saturation (fig. 427).

La brume sèche

Elle est due à un grand nombre de particules diffusantes en suspension dans l'air. Vous ne le rencontrerez qu'exceptionnellement en France, mais parfois près des centres industriels en Allemagne, ou dans les régions sèches d'Afrique.

Le stratus (St)

C'est un nuage très dangereux pour l'aéronautique. Il convient donc d'en faire une étude particulière.

Quand rencontre-t-on le stratus ?

Dans la phase de dissipation des brouillards (généralement de rayonnement) par échauffement diurne.

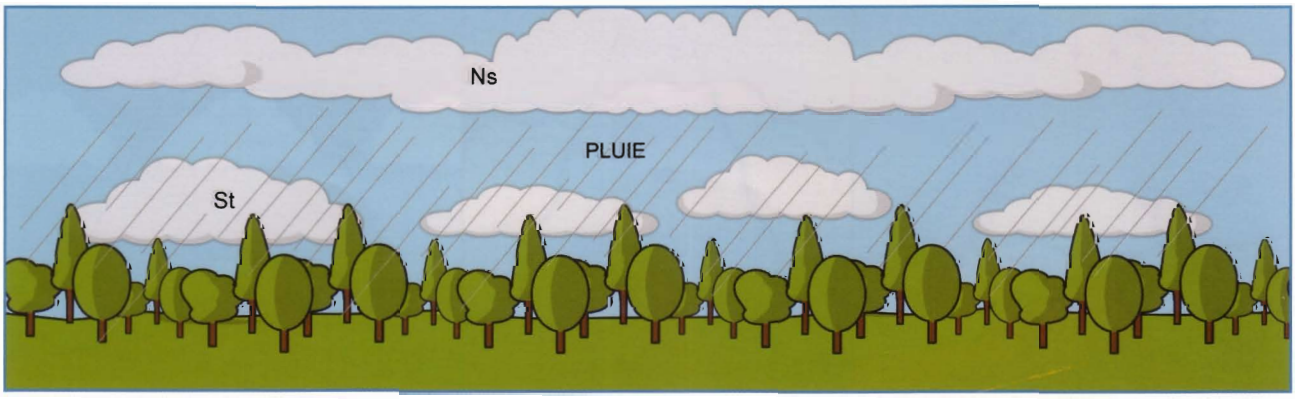


Fig. 428

Si l'échauffement est suffisant (printemps et été), le stratus se dissipe en cours de matinée. Il est suivi d'un ciel clair dans lequel on peut trouver de petits cumulus épars. En hiver et en automne, les stratus peuvent persister toute la journée, surtout si une couverture nuageuse supérieure vient empêcher le réchauffement. En soirée, le brouillard se reforme avec l'arrivée de la nuit.

Stratus liés au passage d'un front

Leur formation est liée à l'évaporation des précipitations. Ils prennent la forme de paquets gris, défilant rapidement très près du sol (200 pieds). Ils se déplacent avec le front et s'évacuent avec lui. **Le VFR est bien entendu totalement impossible** (fig. 428).

Dans les secteurs chauds en hiver, les mouvements turbulents des basses couches peuvent entraîner la formation de stratus. Ils ont alors une grande étendue géographique et une forte nébulosité. Ils sont associés à de la brume ou parfois à du brouillard.

Leur déplacement est lié à celui de la perturbation, il faut généralement attendre le front froid pour les voir disparaître. Ils sont très voisins des brouillards d'advection.

En **début de traîne**, une masse d'air froid arrive sur le sol chaud et humide, l'évaporation entraîne localement la formation de stratus qui ne durent généralement pas. Le vent et la convection les éloignent. La traîne (cumulus, bonne visibilité) s'établit.

Vous rencontrerez ces stratus dans certaines régions propices et humides (Nivernais, par exemple). Notez que dans de nombreux cas la pression remonte vite dans la traîne, il s'agit d'une dorsale, et le matin suivant, du brouillard de rayonnement se forme.

Les conditions de brouillard et de stratus ne se présentent pas dans tous les cas de perturbations (brouillard de secteur chaud, ou stratus) ou de conditions anticycloniques (brouillard de rayonnement). Les conditions locales (hydrologie, relief, géologie…) ont une grande importance, mais il faut compter aussi avec les paramètres du moment (pression, vent, etc.).

C'est au prévisionniste d'analyser chaque critère et d'en déduire le risque de brouillard ou de stratus. Leur présence, observée ou prévue, est décrite, dans les METAR et les TAF et ce sera à vous de décider.

Vol en présence de stratus

Les stratus liés à des perturbations empêchent totalement le VFR.

Si vous rencontrez des stratus provenant de la dissipation du brouillard de rayonnement, il ne faut pas vous engager sous cette couche, surtout en terrain vallonné car ils peuvent accrocher le relief. Le demi-tour dans une vallée peut être problématique : **il faut rebrousser chemin suffisamment tôt**.

Pour se garder une certaine marge de manœuvre, il ne faut pas débuter son vol dès l'amélioration des conditions météorologiques sur l'aérodrome mais attendre, par exemple, un écart de 2 à 3 degrés entre la température et le point de rosée qui confirmera l'amélioration.

SOLUTION

DÉCIDER DE NE PAS DÉCOLLER
OU DE NE PAS POURSUIVRE LE VOL
PAR MAUVAISE VISIBILITÉ
ET À BASSE HAUTEUR.

Objectif de la phase :

Au cours de cette phase, vous allez essentiellement mettre en application les connaissances acquises.
Les déplacements à longue distance qui sont prévus dans cette phase vous permettront d'élargir votre cadre de vol habituel.

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.1**

Les situations délicates 333
Atterrissage hors aérodrome 340
Le commandant de bord 345
Le radar 347

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.2**

ILS – DME – HSI – GPS 351
Le plan de vol 361
Règles d'emport de carburant 367
Préparation et gestion de la navigation en vol 370
Application pratique du dossier de vol 375
Météorologies locales 377

• **UNITÉ D'INSTRUCTION N° V.3**

Les cas particuliers du VFR 384
Infractions et événements liés à la sécurité dans le domaine de la gestion du trafic aérien 393
Les services d'alerte 396
Interception 398
Le vol aux instruments 399
Le pilotage sans référence visuelle extérieure 403

PHASE V

UNITÉ D'INSTRUCTION V.1

LES SITUATIONS DÉLICATES

L'étude systématique des accidents aériens met en évidence, dans la majorité des cas, un enchaînement de plusieurs facteurs. Ainsi le virage engagé, la vrille, le décrochage sont souvent les conséquences de situations dangereuses, qui se développent tout au long du vol et dont les causes se sont parfois mises en place bien avant le départ.

Nous allons étudier dans ce chapitre le dernier maillon de la chaîne, tout en étant conscient que le pilote doit intervenir avant le développement de l'accident. Concrètement, si la sortie du virage engagé doit être connue par le pilote, le déroutement face à des conditions météorologiques difficiles reste la meilleure solution.

LE VIRAGE ENGAGÉ

Lorsque la visibilité devient insuffisante pour le vol à vue, il peut arriver, avec une charge de travail ou une préoccupation forte, d'entreprendre un virage au cours duquel l'inclinaison n'est pas contrôlée, ce qui induit une assiette à piquer. Dans cette situation, la vitesse augmente, la vitesse verticale est forte et le facteur de charge peut être important.

Lorsque la hauteur de vol est importante, le risque de se placer dans cette situation est faible.

Par contre, en vol à basse hauteur avec des conditions météorologiques marginales, un demi-tour, par exemple, peut être à l'origine d'un virage mal contrôlé.

Généralement, la collision avec le sol se produit rapidement du fait de la faible hauteur et d'une vitesse verticale importante.

Ce type d'accident, presque toujours fatal pour l'avion et leurs occupants, est fréquent.

Votre instructeur vous donnera la procédure pour en sortir.

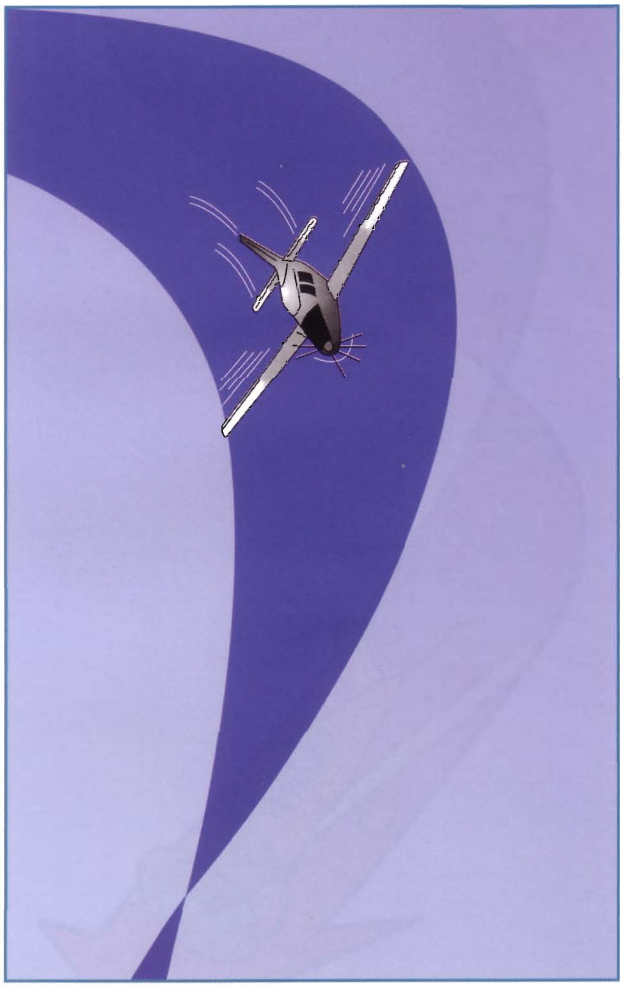


Fig. 429 – *Le virage engagé.*

LA VRILLE

La vrille se caractérise par :

- une forte incidence,
- un dérapage,
- une trajectoire hélicoïdale,
- un taux de chute élevé.

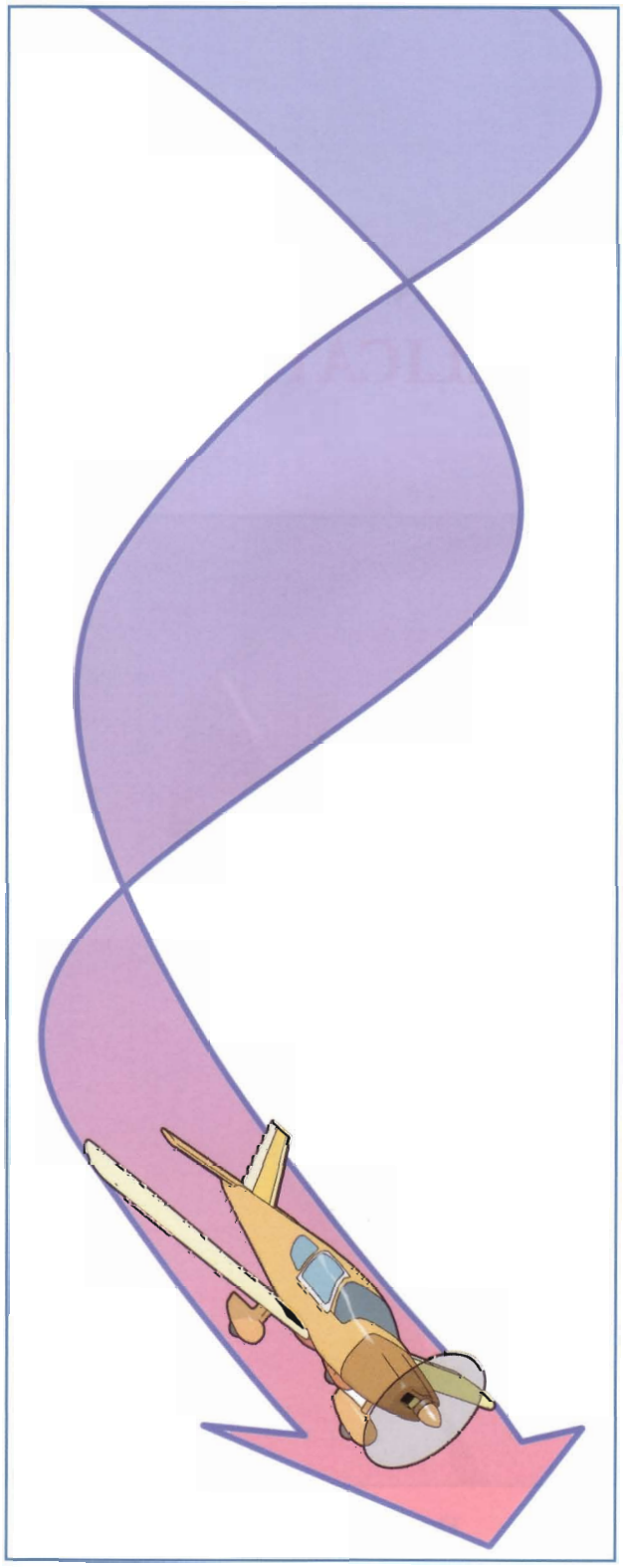


Fig. 430 – *La vrille.*

Les dangers

Il est nécessaire d'appliquer scrupuleusement les consignes du manuel de vol pour arrêter l'autorotation. Le stress lié à cette situation, la mauvaise connaissance des actions à effectuer, associés à une perte d'altitude importante laisse un délai de réaction très court.

Situations caractéristiques

La vrille est consécutive à une évolution avec dérapage et forte incidence. Un centrage arrière est un facteur aggravant.

Un dernier virage serré à basse hauteur, pour rejoindre la finale, effectué à une vitesse trop faible et avec un mauvais contrôle de la symétrie est une situation classique de départ en vrille et une situation fatale pour l'avion et généralement pour les personnes se trouvant à bord.

Sortie de vrille, en exercice, avec une hauteur de vol confortable

VOIR
MANUEL DE VOL

Conclusion

Vous devez connaître précisément le manuel de vol de votre avion pour entreprendre les actions préconisées pour arrêter l'autorotation.

LES GRANDES INCIDENCES

Certaines situations vous amènent à adopter de fortes incidences. A basse hauteur, ces situations peuvent devenir critiques. A proximité du sol la charge de travail augmente, le défilement du sol accentue l'impression de vitesse, ces conditions peuvent fausser le jugement du pilote.

Rappelons que le décrochage est lié à une incidence limite et non pas à la vitesse air. Cette incidence limite est parfois atteinte lors de manœuvres serrées quelle que soit la vitesse de l'avion. Ces situations sont aisément identifiables par l'augmentation rapide du facteur de charge.

Nous allons évoquer quelques cas remarquables.

Le virage de prise d'axe pour l'atterrissage avec une très courte finale

C'est le cas où l'avion se retrouve nettement en dehors de la trajectoire souhaitée suite à une mauvaise estimation du rayon de virage ou des effets du vent traversier.

Le pilote décide d'effectuer une correction pour rejoindre l'axe et adopte de fortes inclinaisons. Pour rester sur le plan, le facteur de charge ayant brusque-

ment augmenté, le pilote affiche une assiette de plus en plus cabrée. L'avion risque alors de dépasser l'angle d'incidence limite et de décrocher à proximité du sol.

Vous devez vous ménager une approche suffisamment longue pour préparer l'atterrissage (environ une minute). Si vous constatez que votre trajectoire est anormale voire dangereuse, n'hésitez pas à interrompre l'approche par une remise de gaz pour permettre une nouvelle présentation.

Le virage au-dessus de la maison des amis

Lors de cette manœuvre l'attention du pilote se concentre sur cet objectif. L'assiette et l'inclinaison ne sont plus contrôlées. Les conditions sont réunies pour partir en virage dit « engagé », ou atteindre l'incidence de décrochage, si le pilote serre trop son virage.

De plus une faible hauteur augmente les risques liés à cette manœuvre car il est nécessaire d'incliner plus fortement l'avion pour pouvoir observer le repère.

Le virage d'observation est un spectacle agréable pour les passagers et le pilote à condition de l'effectuer à une hauteur suffisante et en respectant les règles élémentaires de sécurité (fig. 432).

Le « passage » sur la maison des amis ou sur un groupe de personnes

On peut avoir le sentiment que l'arrivée sur une pente forte et une remontée sévère impressionnent favorablement les spectateurs. Le « passage » est une déviation du comportement du pilote. Cette pulsion, souvent inconsciente, de vouloir impressionner des spectateurs au sol, occulte le jugement et conduit à abandonner tout bon sens de l'utilisation de l'avion. C'est ce qu'on appelle « frimer »...

Malheureusement ce type de trajectoire est synonyme de facteur de charge très élevé donc de grande incidence pour augmenter la portance. Même si la vitesse est élevée, on peut atteindre l'incidence de décrochage. De plus, la présence d'obstacle aux abords du site visé accroît les risques de collision.

Par conséquent si vous cédez à cette forte tentation :

- prenez votre temps pour observez attentivement la position des obstacles et imaginez votre trajectoire par rapport à ceux-ci ;
- adoptez une pente de descente faible, suivie d'une ressource souple (attention au facteur de charge) en surveillant votre vitesse ;
- respectez les hauteurs minimales réglementaires de survol (fig. 433) ;
- ne faites jamais de « passage » à la verticale de personnes mais franchement sur leur côté : vous leur ferez la même FRAYEUR en épargnant leur vie.

Fig. 431 – *Evolution serrée.*

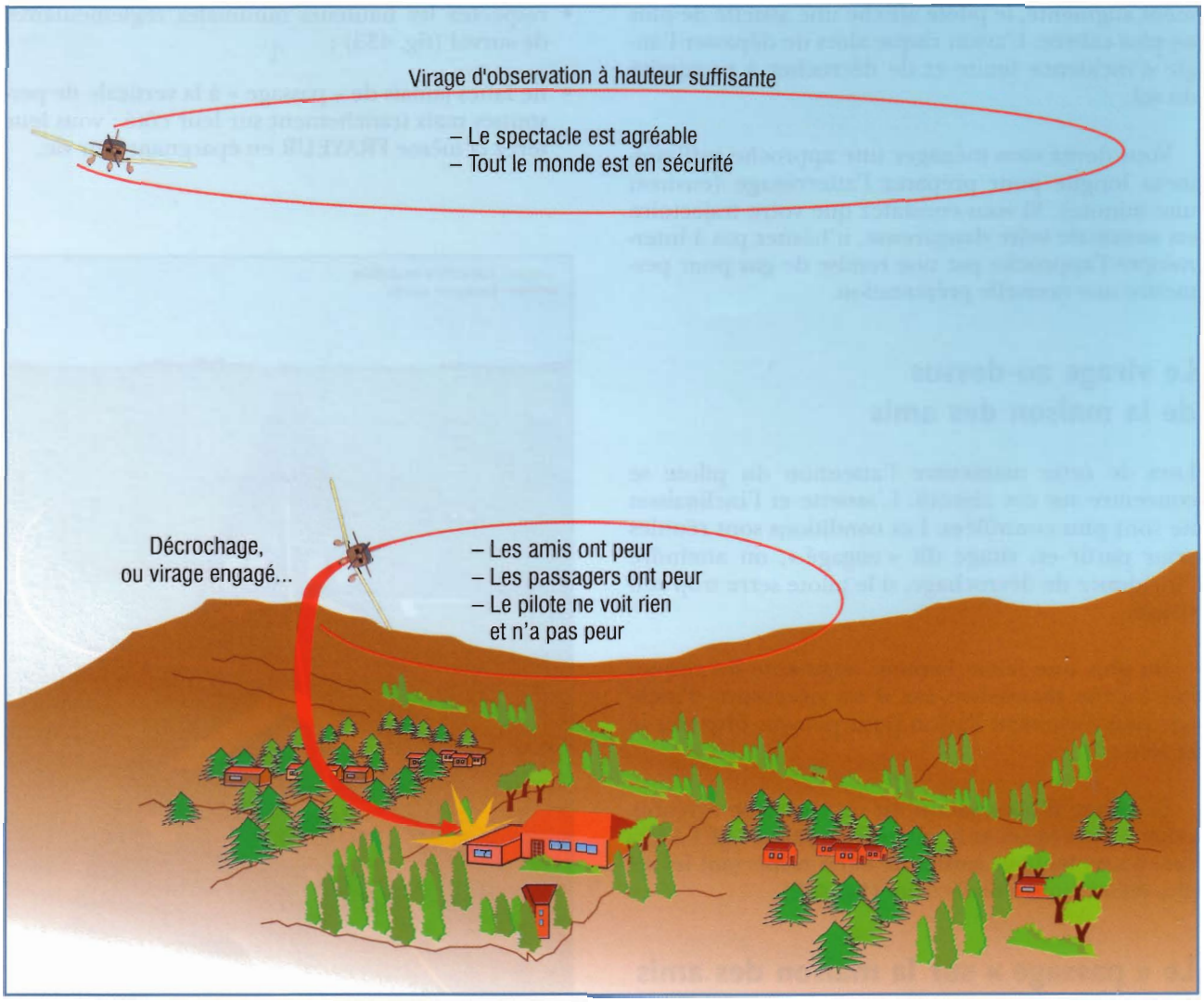


Fig. 432 – *Le virage au-dessus de la maison des amis.*

LA TURBULENCE DE SILLAGE

La turbulence de sillage est une conséquence du tourbillon de Prandtl, et doit être systématiquement prise en compte pendant les procédures de décollage, d'approche et d'atterrissage.

Ce vortex qui s'enroule dans le sillage de tous les avions, lourds ou légers, représente un danger important pour l'aviation lorsqu'il est généré par un avion gros porteur (réglementairement, masse au décollage 136 tonnes) ou un avion de moyen tonnage (masse au décollage comprise entre 7 et 136 tonnes exclus). Le danger peut être aussi important lorsqu'il s'agit de turbulence de sillage générée par un avion dit « léger » de type bimoteur, par exemple, ou un hélicoptère.

Il faut savoir que ce phénomène apparaît dès que l'avion au décollage quitte le sol, et jusqu'à ce que l'avion touche le sol au moment de l'atterrissage.

La réglementation impose un temps d'attente entre le décollage et l'atterrissage des avions dès lors que la turbulence de sillage de l'avion qui précède présente un danger pour celui qui suit. Cependant vous devez toujours matérialiser l'évolution de la turbulence et notamment les effets du vent sur son déplacement (fig. 434) :

- **Sans vent :** l'effet de la turbulence reste sur la piste et ne se dissipe que lentement ; c'est la raison pour laquelle vous devez attendre au moins **2 minutes** avant de décoller derrière un gros porteur.
- **Avec du vent traversier :** la turbulence est entraînée hors de la piste et l'attente avant le décollage sur **la même piste** peut être réduite.

Au décollage

La turbulence de sillage se déplace avec le vent. Sans vent, elle ne se dissipe que lentement et reste au voisinage de la piste. C'est donc dans ce cas qu'il faudra être le plus vigilant.

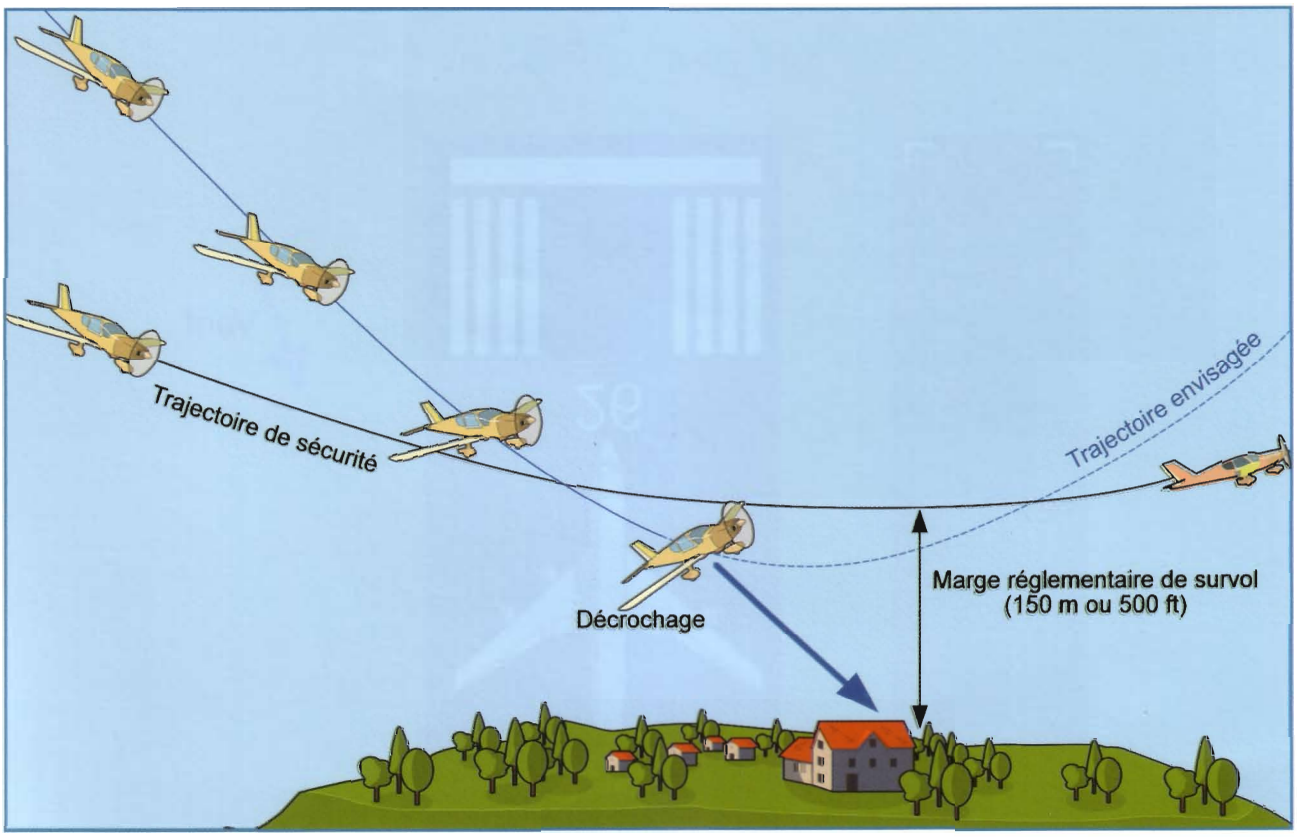


Fig. 433 – *Le passage au-dessus de la maison des amis.*

L'organisme du contrôle de la circulation aérienne vous imposera un délai d'attente de **deux minutes** avant de pouvoir décoller derrière un appareil **gros porteur ou de moyen tonnage**, si vous utilisez la même piste, une piste parallèle distante d'au moins 750 m ou si les pistes utilisées sont sécantes et que vos trajectoires se croisent. Cependant, vous pouvez demander un décollage immédiat si vous estimez pouvoir localiser et éviter la turbulence de sillage.

Ce délai est porté à **trois minutes** si vous décollez d'une partie intermédiaire de la même piste ou d'une piste parallèle distante de moins de 750 m.

Si aucun organisme n'est présent sur l'aérodrome, utilisez les mêmes délais d'attente, en tenant compte du vent (la turbulence de sillage se déplace sans s'atténuer même par vent très faible) : ces délais ont été déterminés pour préserver votre sécurité.

Ne perdez pas de vue que la turbulence de sillage d'un avion gros porteur peut mettre sur le dos n'importe quel avion de faible tonnage (fig. 435).

Après le décollage, vous devez continuer à tenir compte de la turbulence de sillage. En particulier, vous devez adopter une trajectoire différente de celle de l'avion qui vous précède en restant à **son vent** (fig. 434), et non sous son vent, et au-dessus de la trajectoire si possible.

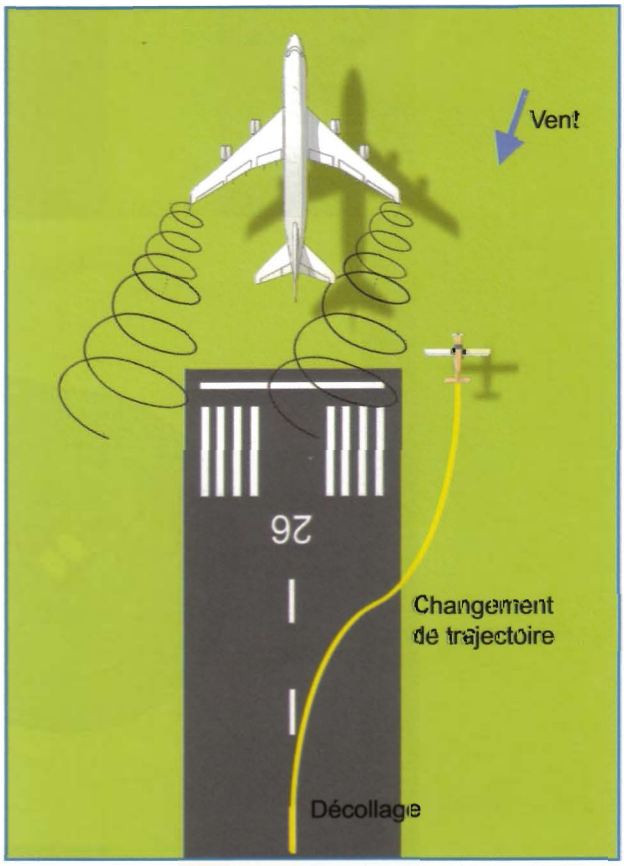


Fig. 434 – *Le virage au-dessus de la maison des amis.*

Fig. 435 – *La turbulence de sillage se déplace avec le vent.*

A l'atterrissage

Il est important de pouvoir localiser grossièrement les turbulences de sillage de manière à adapter sa pente d'approche et son point de toucher des roues (fig. 436). Encore une fois, le sens et la vitesse du vent doivent être pris en compte.

L'organisme du contrôle d'aérodrome vous précisera le type d'avion qui vous précède, notamment si c'est un gros porteur. C'est à vous de prendre toute disposition pour éviter la turbulence de sillage.

Si aucun organisme n'est présent sur l'aérodrome, ce sera à vous d'identifier le tonnage de l'aéronef devant vous et d'en déduire le temps d'attente qui permet à la turbulence de s'atténuer ou d'être évacué de votre trajectoire par le vent.

Sachez que des avions de transport militaire (« Transall » ou « Hercules ») de moyen tonnage, voire des gros porteurs, utilisent des aérodromes de petite taille qui ne sont pas équipés d'organisme du contrôle. Ces avions génèrent une turbulence de sillage très importante.

Au décollage sur un aérodrome contrôlé, la TWR peut imposer un espacement de 3 minutes derrière un aéronef de moyen tonnage ou gros porteur. Si vous désirez ne pas attendre, vous pouvez demander une clairance et prendre alors toute disposition pour éviter les turbulences.

A l'arrivée il vous appartient de prendre vos dispositions en prenant en compte le type d'aéronef qui vous précède.

Dans les deux cas, après le décollage, vous devez adopter une trajectoire air différente de celle de l'avion qui vous précède, en restant au-dessus et au vent de sa trajectoire.

A l'atterrissage, comme au décollage, les tourbillons marginaux des avions lourds présentent un **danger** pour l'approche et l'atterrissage.

Il est important de **situer** les turbulences afin de définir une pente d'approche et un point de toucher des roues situé dans une zone favorable (fig. 436).

Attention !

Pour les procédures de décollage et d'atterrissage, dans le cas d'utilisation de pistes parallèles, les tourbillons se déplaçant sous l'effet du vent, il est recommandé de ne pas utiliser la piste voisine, **sous le vent** de celle utilisée par l'avion précédent. Un vent de 5 kt suffit pour amener les tourbillons sur l'autre piste (fig. 435).

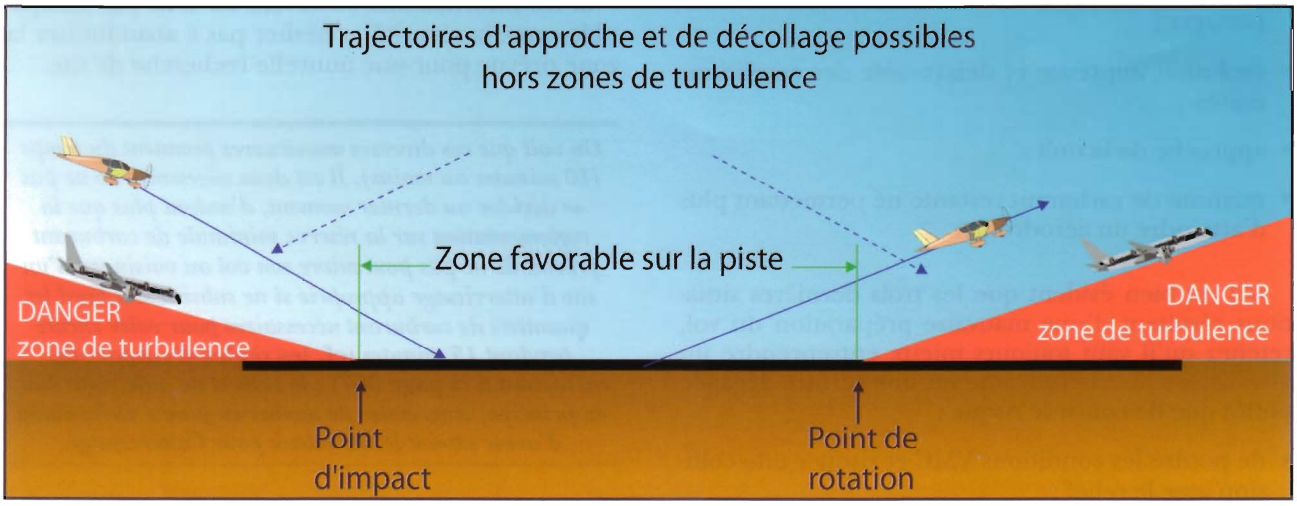


Fig. 436 – *Il convient de situer la zone propice à l'atterrissage.*

ATTERRISSAGE HORS AÉRODROME

Deux types de situations sont à considérer :

- le pilote dispose encore du moteur mais n'est plus en mesure de poursuivre normalement son vol : il prend la décision d'effectuer une **interruption volontaire du vol** ;
- le pilote ne dispose plus de la puissance du moteur, il doit alors effectuer un **atterrissage forcé**.

INTERRUPTION VOLONTAIRE DU VOL (Fig 437)

L'interruption volontaire du vol se situe dans un contexte particulier ; elle se justifie lorsque la poursuite du vol risque de compromettre votre sécurité ainsi que celle de vos passagers :

- urgence en cas d'indisposition du pilote ou d'un passager ;
- évolution imprévue et défavorable des conditions météo ;
- approche de la nuit ;
- quantité de carburant restante ne permettant plus d'atteindre un aérodrome.

S'il est bien évident que les trois dernières situations résultent d'une mauvaise préparation du vol, retenez qu'il vaut toujours mieux entreprendre un atterrissage hors aérodrome sur une surface dégagée plutôt que de courir le risque :

- de perdre les conditions VMC et risquer une collision avec le relief ;
- de tomber en panne moteur et d'effectuer un atterrissage forcé ;
- de voler de nuit sans l'entraînement nécessaire avec un avion peut-être mal équipé ;
- de perdre le contrôle de l'avion suite à un malaise.

Une analyse sérieuse et objective de la situation dans laquelle vous vous trouvez peut vous amener à la décision d'interrompre rapidement la poursuite du vol et d'entreprendre dans les meilleures conditions possibles un atterrissage hors aérodrome.

Cette prise de décision doit vous éviter de vous retrouver dans une situation critique dont le contrôle vous échappe.

La phase de reconnaissance

La phase de reconnaissance ① permet de définir les caractéristiques de l'aire d'atterrissage choisie ; elle doit permettre de discerner au mieux les éléments recherchés. Pour cela il est nécessaire d'effectuer un passage à basse hauteur (300 à 500 pieds) selon un axe décalé à droite de l'axe d'atterrissage ②, en configuration approche, afin de vérifier les dégagements de l'axe d'approche finale et d'approche interrompue en cas de remise des gaz, l'état de l'aire choisie, la longueur disponible (en prenant un Top en début et en fin de l'aire).

Si les informations observées ne sont pas compatibles avec la sécurité, n'hésiter pas à abandonner la zone prévue pour une nouvelle recherche de site.

On voit que ces diverses manœuvres prennent du temps (10 minutes au moins). Il est donc nécessaire de ne pas se décider au dernier moment, d'autant plus que la réglementation sur la réserve minimale de carburant prévoit de ne pas poursuivre son vol au voisinage d'un site d'atterrissage approprié si ne subsistent à bord les quantités de carburant nécessaires pour voler encore pendant 15 minutes **(cf. les règles d'emport de carburant à la page 367)** *; le respect de cette règle doit, en principe, vous éviter de tomber en panne sèche avant d'avoir atteint le site retenu pour l'atterrissage.*

Les éléments déterminant le choix de l'aire d'atterrissage

Le vent

Il peut être déterminé par les fumées au sol, le déplacement de l'ombre des nuages. En présence d'obstacles et si vous n'avez pas d'autre site possible, préférez un atterrissage par vent de travers (dans les limites fixées pour votre avion et de votre expérience) plutôt que d'effectuer une approche sous forte pente.

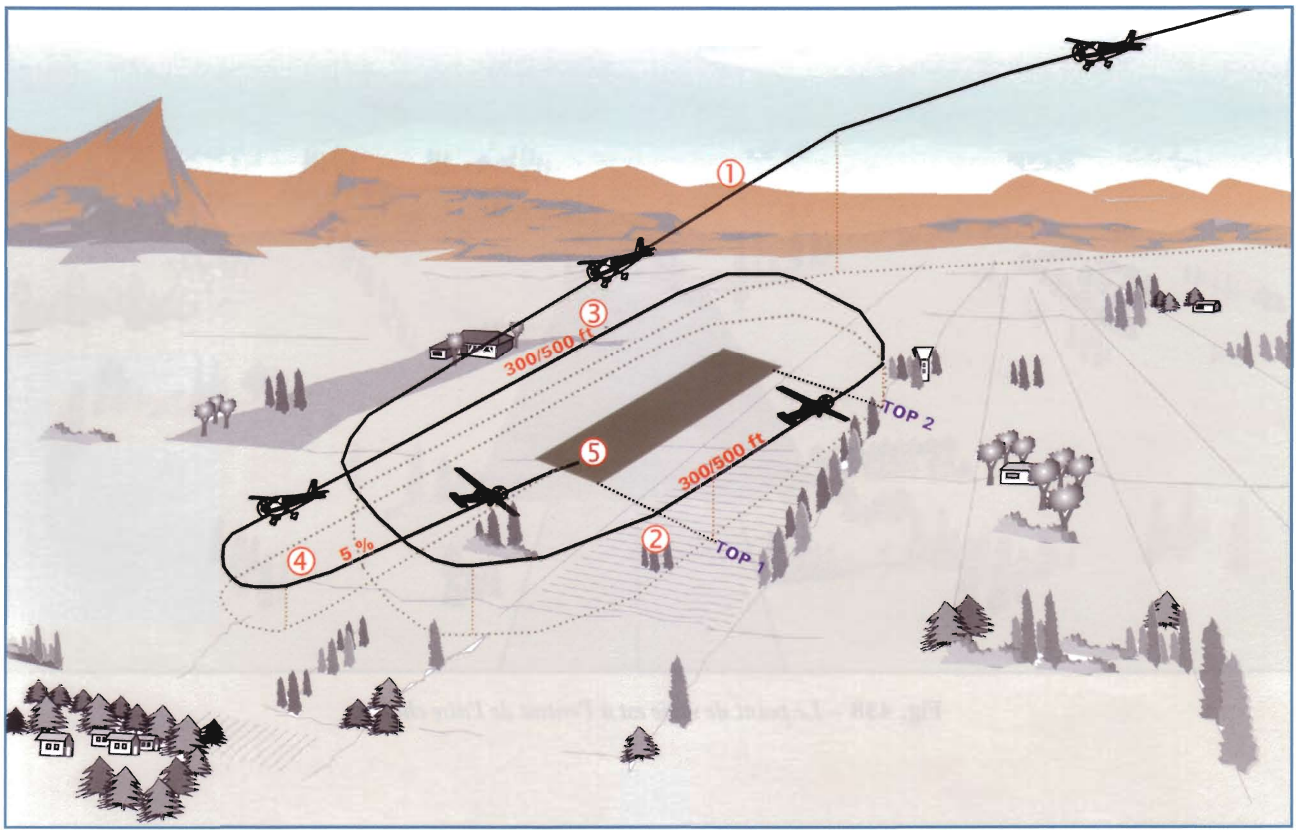


Fig. 437 – *Interruption volontaire du vol.*

Le relief

Un terrain avec une pente même faible augmentera notablement la distance d'atterrissage. En cas de pente trop forte préférez un atterrissage en montant, même avec du vent arrière. Évitez d'utiliser un champ en dévers.

La forme de l'aire d'atterrissage

La distance parcourue par l'avion après le toucher est réduite. Il ne faut pas chercher systématiquement une très grande surface mais un champ dont l'approche est dégagée.

Les obstacles

Repérez les obstacles à l'entrée du champ et sur la trajectoire d'approche finale car ils diminuent la surface disponible et augmentent les risques de collision. Les câbles électriques sont difficiles à discerner, mieux vaut rechercher la présence des poteaux. Les fossés se caractérisent souvent par une végétation de couleur différente. Enfin les limites des champs sont parfois entourées de clôtures ou encombrées par des outils agricoles : évitez si possible les bordures de ces endroits.

L'état du sol

Choisissez de préférence :

① les champs sans culture, ou venant d'être récoltés,

② les champs couverts de cultures basses,

③ les prairies, mais attention à l'aspect de la surface et à la présence d'animaux.

et évitez :

- les cultures hautes,
- les champs fraîchement labourés.

La phase finale

Après avoir reconnu l'aire d'atterrissage, vous devez exécuter un circuit à basse hauteur (entre 300 et 500 pieds) pour vous positionner en début d'approche finale dans les meilleures conditions possibles.

La pente d'approche est de l'ordre de 5 % et le point d'aboutissement doit être au début de l'aire d'atterrissage (⑤ sur fig. 437 et la fig. 438)

Si la configuration du terrain l'exige l'approche sur une pente supérieure à 5 % reste possible mais est à éviter car l'atterrissage risque de manquer de précision.

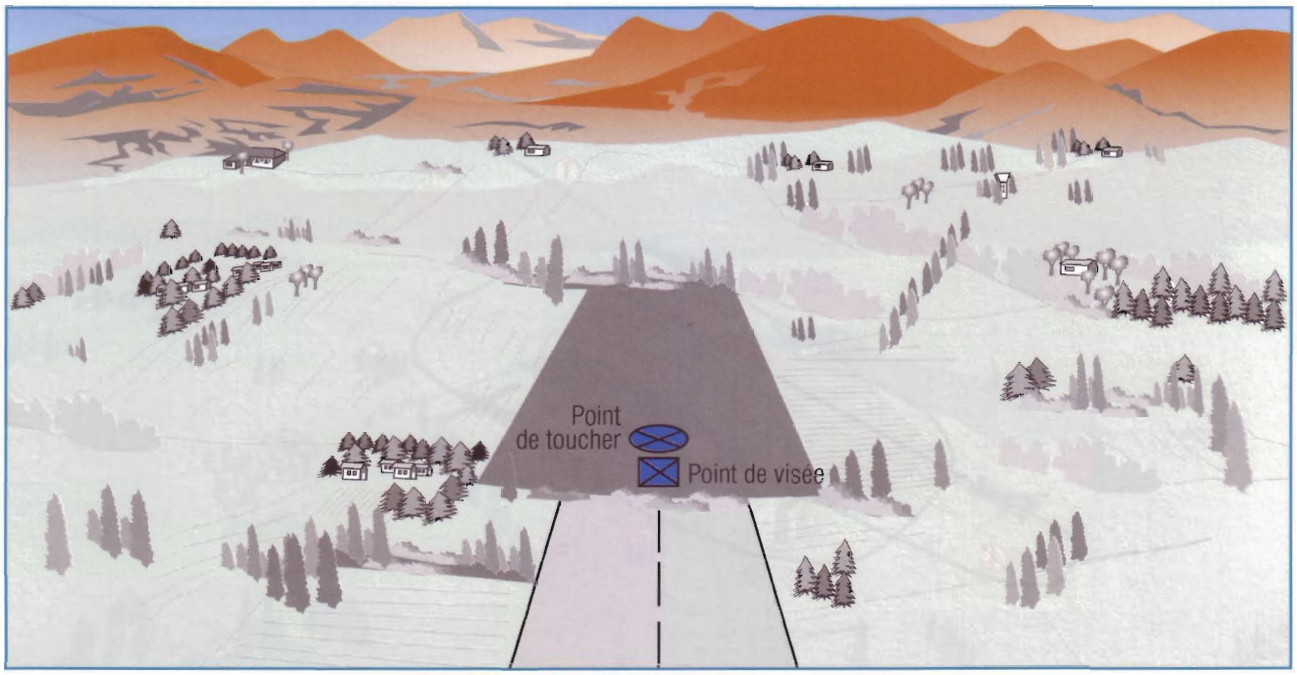


Fig. 438 – *Le point de visée est à l'entrée de l'aire choisie.*

En approche finale, la vitesse d'approche recherchée est de 1,3 V_{SO}. Cette configuration est adoptée pour obtenir la vitesse la plus faible possible au moment du toucher. De même, l'inclinaison doit être nulle pour éviter qu'une extrémité d'aile heurte le sol et déséquilibre l'avion. Pour les mêmes raisons, éviter de vous poser sur une aire d'atterrissage en dévers.

Ces deux conditions sont des facteurs essentiels pour réussir son atterrissage.

Dans le cas d'avion à train rentrant, vous devez vous conformer aux dispositions du manuel de vol, Section « Procédures d'urgences », pour positionner votre train.

ATTERRISSAGE FORCÉ

Une panne complète du moteur pour des raisons mécaniques est rare de nos jours. Même dans ce cas, la panne est annoncée par des signes précurseurs tels que diminution de puissance, vibrations, baisse de pression d'huile, bruits de fonctionnement anormaux.

Une surveillance régulière des paramètres moteur doit vous permettre de déceler la panne et de prendre la décision d'interrompre le vol avant que la situation ne devienne critique.

Par contre, un arrêt du moteur survient souvent à la suite d'une conduite du vol négligente :

- emport carburant insuffisant ;
- oubli de changement du réservoir ;
- givrage du carburateur ;
- confusion entre les manettes de richesse et de réchauffage carburateur ;
- mauvaise surveillance des paramètres moteur.

En cas de baisse de la pression d'huile, il y a lieu de vérifier l'indication de la température d'huile :

- si cette dernière est correcte, il s'agit peut-être d'une simple panne de l'indicateur ; vous devez cependant dégager vers l'aérodrome le plus proche afin de faire les vérifications nécessaires ;
- si par contre, la température a tendance à augmenter, vous devez immédiatement exécuter un atterrissage forcé car votre moteur risque de s'arrêter à tout moment ; vous avez donc intérêt à réagir sans tarder afin d'exécuter la manœuvre dans les meilleures conditions possibles.

Conduite à tenir

Le moteur s'étant arrêté, vous devez appliquer la procédure définie dans le manuel de vol dont le principe est de :

① prendre la vitesse de finesse maximale ;

② vérifier les robinets carburant ;

③ essayer de remettre le moteur en route si la hauteur le permet ;

④ rechercher une aire d'atterrissage ;

⑤ évoluer pour rejoindre l'aire d'atterrissage ;

⑥ exécuter l'atterrissage conformément à la procédure préconisée dans le manuel de vol.

Exécution

La vitesse de finesse maximale et donc la configuration lisse est maintenue tant que le pilote n'a pas la certitude de rejoindre le lieu d'atterrissage choisi et qu'il n'a pas à évoluer ; en cas d'évolution, la vitesse doit être égale à 1,45 V_s pour une question de sécurité ; les manœuvres préconisées en pareil cas ainsi que les vitesses recommandées sont développées au *paragraphe relatif au « Vol moteur réduit » de la phase III page 222.*

Sachez que vous diminuez votre finesse, donc votre potentiel de plané lorsque :

- vous sortez des traînées, volets, train, etc. ;
- d'une manière générale vous augmentez le facteur de charge.

L'évolution pour rejoindre le terrain choisi dépend pour beaucoup de la hauteur à laquelle se produit la panne. Dans tous les cas, l'objectif est d'utiliser au mieux le potentiel de plané dont vous disposez pour vous ménager une approche finale en ligne droite à la vitesse préconisée.

La configuration atterrissage n'est adoptée que lorsque vous êtes certain de passer les derniers obstacles.

Le lieu d'atterrissage sera toujours choisi dans les limites du potentiel de plané, le choix dépendant alors :

- de l'environnement et des obstacles ;
- de la topographie du terrain ;
- du vent.

L'essai de remise en route sera effectué si la hauteur le permet, pour cela :

- positionnez la commande de mélange sur plein riche ;
- vérifiez la quantité de carburant restant dans les réservoirs ;
- sélectionnez le réservoir le plus plein ;
- tirez la commande de réchauffage carburateur à fond ;
- tentez une remise en route conformément à la procédure définie dans le manuel de vol.

Utilisation de la radio

Selon la gravité de la situation et dans toute la mesure du possible, transmettez un message d'urgence, voire de détresse sur la fréquence de l'organisme avec qui vous êtes en contact. En cas de détresse, n'étant en liaison avec aucun organisme de la circulation aérienne, transmettez votre message sur 121.500 Mhz.

Les messages s'effectuent sous la forme réglementaire en signalant votre position et la nature de vos ennuis.

De même, si votre avion en est équipé, affichez **le code de détresse 7700 au transpondeur**. Déclencher la radiobalise de détresse si la position « manuel » est à votre portée

La préparation à l'atterrissage

Vous devez vous attendre à une décélération importante au moment du contact avec le sol. Avant d'arriver en finale vous devez :

- avoir déverrouillé la ou les portes d'accès ou de secours ;
- avoir serré votre ceinture ou harnais de sécurité ;
- vous assurez que vos passagers sont protégés : ceintures serrées, lunettes retirées, objets lourds sur le plancher.

Et pour prévenir tout risque d'incendie, fermez l'arrivée d'essence, coupez le contact général.

CAS PARTICULIER DE LA PANNE AU DÉCOLLAGE

Inutile de tenter un demi-tour. Les évolutions pour rejoindre la piste dégradent notablement les performances de l'avion en plané.

Vous devez immédiatement « rendre la main » pour maintenir la vitesse de finesse maximale et orienter votre trajectoire, dans un secteur de plus ou moins trente degrés de part et d'autre de l'axe de décollage, vers le lieu le plus « accueillant ».

Il est impératif de garder la vitesse d'approche préconisée par le manuel de vol avec une inclinaison nulle au moment du toucher.

AMERRISSAGE FORCÉ

Vous devez, lors de toute traversée maritime où la distance de plané ne vous permet pas de rejoindre une surface dégagée pour un atterrissage forcé, envisager l'éventualité de l'amerrissage.

La réglementation vous impose l'emport de gilets de sauvetage ou de canots suivant votre éloignement du rivage. Cependant vous devez aborder ce problème avec le maximum de bon sens, par exemple en préférant embarquer un canot pneumatique si la

température de l'eau est inférieure à une dizaine de degré et en portant le gilet si la hauteur de vol ne laisse pas le temps suffisant pour :

- atteindre les gilets,
- les extraire de leur emballage,
- en comprendre l'utilisation,
- les distribuer aux passagers,
- détacher sa ceinture de sécurité,
- passer le gilet,
- le fixer et le serrer,
- rattacher la ceinture de sécurité,
- reprendre le déroulement du vol.

Sachez que ces quelques opérations nécessitent, lorsque l'on a pu garder son calme, environ 5 minutes. Une hauteur d'environ 6 000 pieds laisse donc juste le temps pour s'occuper des passagers, sans avoir le temps d'essayer de remettre le moteur en route.

Position

En cas de problème vous obligeant à réaliser un amerrissage, vous devez signaler votre position avec le maximum de précision possible, par exemple en utilisant les informations d'un système G.P.S. ou si votre avion est équipé d'un transpondeur en affichant le code 7700.

Il est à remarquer qu'au niveau pilotage il n'est pas forcément utile d'adopter la vitesse de meilleure finesse, mais plutôt la vitesse de taux de chute minimum légèrement inférieure. Cela laisse plus de temps pour :

- déterminer votre position avec précision,
- émettre un message d'urgence,
- rechercher l'origine de la panne.

Exécution

Suivant votre hauteur, tentez de réduire au minimum les délais de secours en orientant votre trajectoire vers le rivage ou des navires à proximité.

Il est nécessaire d'estimer la provenance du vent et sa force et, surtout si la houle est formée, l'orientation des vagues. Ces observations sont difficiles à réaliser en altitude à cause du manque de repères.

Si la mer est creusée adoptez une trajectoire parallèle à la houle, même si le vent est plein travers.

Appliquez les consignes listées dans le manuel de vol, section – Procédures d'urgences – pour préparer l'amerrissage, en n'oubliant pas :

- de ne pas gonfler les gilets avant l'évacuation de l'appareil, sous peine de rester coincé à l'intérieur ;
- de déverrouiller les portes avant l'impact pour éviter tout risque de blocage consécutif à la déformation de la structure ;
- de serrer les ceintures de sécurité ou harnais ;
- d'ôter les lunettes.

Lors de l'amerrissage, exécuté dans la configuration préconisée par le manuel de vol, gardez impérativement la vitesse d'approche précisée et maintenez l'inclinaison nulle.

Dans ces conditions il y a souvent deux rebonds, le premier relativement doux où l'avion « ricoche » sur l'eau le deuxième nettement plus brutal, l'avion ayant perdu de sa vitesse risque de basculer en avant pour retomber sur le dos.

C'est pourquoi l'évacuation doit être préparée bien avant et facilitée au maximum.

LE COMMANDANT DE BORD

Vous aurez la charge de la fonction de commandant de bord dès l'instant où vous serez premier pilote à bord, c'est-à-dire :

- lorsque, effectuant vos vols solo dans le cadre de votre formation, vous serez seul à bord,
- après avoir été breveté, lorsque vous volerez seul ou avec des passagers qui ne sont pas pilotes,
- lorsque vous volez en compagnie d'autres pilotes à bord, si vous avez la charge de la conduite de l'aéronef.

Qu'est-ce que la fonction de « commandant de bord » ?

La fonction de commandant de bord est synonyme de **responsabilité** : d'après la réglementation, vous êtes commandant de bord si « vous avez à bord la charge de la conduite et de la sécurité du vol » *(chapitre IV de l'arrêté du 24 juillet 1991).*

Dès lors que vous assurez ces deux fonctions, vous disposez de certaines possibilités qui vous sont réglementairement attribuées pour vous permettre d'assurer cette tâche. Vous avez aussi des obligations.

L'autorité du commandant de bord

Voici quelles sont les prérogatives du commandant de bord d'un avion *(RCA 1 – Chapitre 2 – « Domaine d'application des règles de l'air »)* :

- le commandant de bord d'un aéronef est responsable de la **conduite** de l'aéronef et décide en dernier ressort de son utilisation tant qu'il en a le commandement,
- le commandant de bord d'un aéronef est responsable de **l'application des clairances** émanant d'un organisme de la circulation aérienne,
- si une clairance n'est pas jugée satisfaisante, le pilote commandant de bord peut demander une modification à cette clairance, demande à laquelle il sera, dans la mesure du possible, donné suite.

Attention

Les clairances ne peuvent servir de prétexte à un pilote commandant de bord pour enfreindre un règlement établi.

Exemple

Sur un aérodrome contrôlé, vous avez reçu l'autorisation de décoller car les conditions météorologiques sur l'aérodrome sont bonnes. Mais vous savez qu'à moins de 2 NM, les conditions météo ne vous permettent pas de respecter les règles de survol des obstacles et dès que vous aurez décollé, vous serez en infraction par rapport à ces règles. Ayant reçu l'autorisation de décollage du contrôleur, vous décollez.

Dans ce cas, vous avez commis une infraction aux règles de l'air : en décollant, vous avez agi en vous plaçant délibérément dans une situation d'infraction (non respect des règles de survol des obstacles). Vous ne pourrez pas prétexter que le contrôleur vous avait autorisé au décollage pour justifier du fait que juste après le décollage, vous vous soyez retrouvé en conditions IMC. C'est vous qui supporterez les conséquences d'une telle infraction.

Un pilote commandant de bord peut demander une **priorité spéciale** (à l'atterrissage, par exemple) dans les cas suivants :

- pour des raisons intéressant la sécurité du vol ou celle d'une personne se trouvant à bord,
- pour participer à une opération concernant la sauvegarde des personnes et des biens.

Attention

Lorsque le pilote demande une clairance comportant une priorité, il doit pouvoir justifier d'une telle demande : il peut en effet être tenu de fournir un rapport exposant ses motifs.

Respect des règles de l'air

La réglementation dit :

> *« Le commandant de bord d'un aéronef, qu'il tienne ou non les commandes (dans le cas d'un équipage à deux pilotes), est responsable de l'application des règles de l'air à la conduite de son aéronef. Il ne peut déroger à ces règles que s'il le juge absolument nécessaire pour des motifs de sécurité ».*
>
> *(Règles de l'air – Chapitre 2 « Domaine d'application des règles de l'air »)*

Vous avez la possibilité de ne pas respecter les règles de l'air en cas d'absolue nécessité, mais cette nécessité ne doit toucher qu'à la sécurité. Vous ne pouvez pas, par exemple, commettre une infraction parce que vous êtes très en retard, ou parce que vous avez un rendez-vous d'affaire de la plus haute importance.

Ayant la charge de la fonction de commandant de bord, vous avez un engagement moral vis-à-vis de vos passagers : ils ont placé leur confiance en vous et en vos qualités de pilote. A vous de ne pas leur faire courir de risque inconsidéré.

Les obligations relatives à l'emport de documents

Elles portent d'abord sur les documents que vous devez emporter dans l'avion.

Pour tout vol, vous devez être en possession de la documentation avion :

- le manuel de vol ;
- les consignes d'utilisation des équipements de secours ;
- la documentation de vol : la carte de la région survolée, les renseignements relatifs aux itinéraires prévus, aux aérodromes, procédures, aides à la radionavigation ;
- la copie du formulaire de plan de vol, si vous l'avez déposé ;
- la fiche de pesée.

Si un atterrissage est prévu ailleurs que sur l'aérodrome de départ, il vous faut en outre emporter la documentation avion :

- le carnet de route avec :
  - le certificat d'immatriculation ;
  - le certificat de navigabilité (CDN) ;
  - le certificat de limitation de nuisance, s'il est exigé ;
  - la licence de station d'aéronef,

Si un vol est prévu à l'étranger, il vous faut aussi les signaux en vigueur en cas d'interception ; ces signaux doivent être à portée de l'équipage : il sont publiés dans le « Complément aux cartes aéronautiques » édité par le SIA. Si ces signaux doivent être obligatoirement à bord en cas de vol à l'étranger, il est fortement recommandé de les emporter pour tout vol de voyage car vous n'êtes pas à l'abri d'une interception même au-dessus du territoire national *(cf. la procédure d'interception en page 398)*.

… et la documentation pilote :

- vos licences et qualifications ;
- le certificat médical ;
- votre carnet de vol si votre instructeur y a apposé son autorisation pour le vol ;
- une éventuelle autorisation technique.

Fig. 439

Redevance d'atterrissage

Une redevance d'atterrissage est souvent due pour l'utilisation de l'infrastructure aéroportuaire. Elle est fonction de l'importance de l'aérodrome et de la masse maximale de l'aéronef. Elle est perçue par le gestionnaire de l'aérodrome. Il existe des régimes d'abonnement.

Conditions d'expérience récente pour pouvoir transporter des passagers en VFR

(cf. § 4.4 de l'arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale)

Conditions générales : Nul ne peut assurer les fonctions de Commandant de bord d'un aérodyne transportant des passagers s'il n'a effectué, **dans les 3 mois qui précèdent, au moins 3 décollages et 3 atterrissages** sur un aérodyne de même classe ou type ou sur un entraîneur synthétique de vol qualifié à cet effet.

Ces conditions générales doivent être remplies lors du transport de passagers en VFR de jour comme de nuit.

Conditions additionnelles pour le transport de passagers en VFR de nuit : Le détenteur d'une licence qui n'a pas une qualification de vol aux instruments en état de validité , ne peut exercer de nuit en tant que commandant de bord d'un aérodyne transportant des passagers, **s'il n'a effectué de nuit au moins un des décollages et atterrissages** prévus ci-dessus dans les conditions générales.

En outre, un pilote qui n'aurait pas une qualification de vol de nuit ou une habilitation au vol de nuit peut transporter un ou des passagers dans les circuits d'aérodrome mais il doit pour cela avoir une autorisation d'un instructeur compétent.

L'environnement et les nuisances

A l'inverse d'une voiture, le système d'atténuation du bruit de l'échappement du moteur des avions (silencieux) est en général assez sommaire. En outre, plus l'hélice transmet une puissance importante, plus elle est bruyante.

Lorsqu'il est ponctuel, le bruit créé par le passage d'un avion est supportable si l'avion est assez haut. En revanche, le bruit de moteurs d'avions entendu pendant de longues périodes ou le bruit bref mais très intense d'un avion passant en vol rasant peut devenir insupportable.

Pensez donc à limiter au maximum les nuisances causées aux riverains aux abords des aérodromes.

Pour cela :

- évitez le survol des agglomérations, respectez les procédures antibruit mises en place sur certains aérodromes et dont vous trouverez la description sur les cartes d'aérodrome,
- évitez aussi les séances de circuit d'aérodrome continues près des agglomérations,
- abstenez-vous de voler près du sol sans raison impérative.

LE RADAR

LE RADAR PRIMAIRE

C'est un système dont disposent certains contrôleurs de la circulation aérienne (maintenant très rares) pour détecter un avion et déterminer sa position par rapport à une station au sol.

Ce système ne nécessite aucun dispositif particulier à bord.

Fig. 440 – *Antenne radar.*

Le principe de fonctionnement

Au sol, une antenne parabolique tourne sur elle-même en émettant des impulsions radioélectriques de courtes durées à très hautes fréquences.

Après réflexion sur un obstacle, elles retournent vers un récepteur fixé sur l'antenne.

Le temps d'aller-retour ainsi que l'orientation de l'antenne lors de la réception permettent de situer l'écho visualisé sur un écran (fig. 440, 441, 442 et 443).

Ces renseignements sont utilisés par les contrôleurs pour la séparation des aéronefs.

Fig. 441 – *Antenne radar secondaire.*

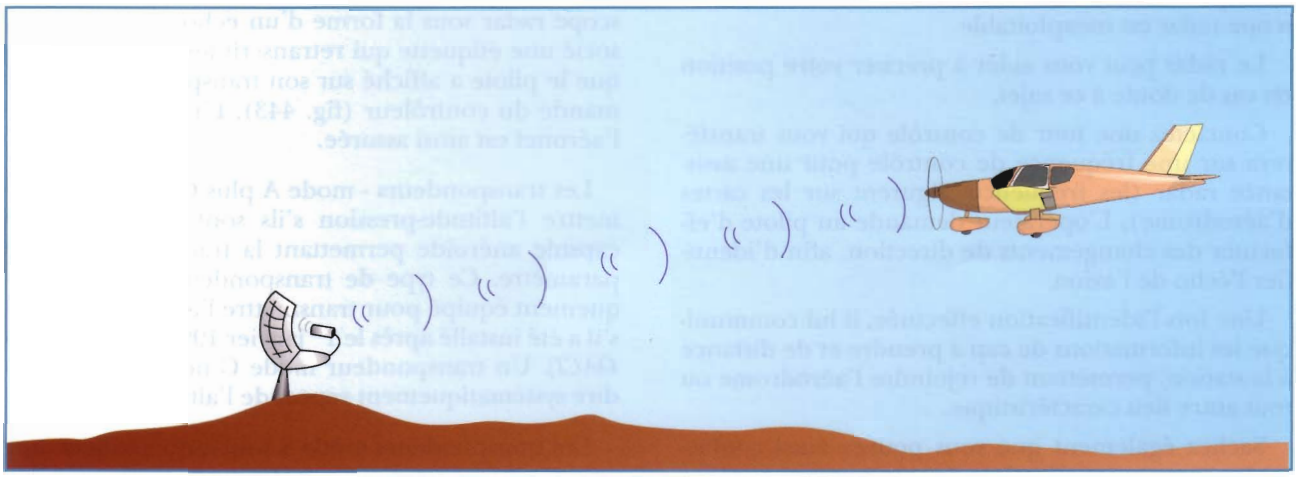


Fig. 442

Fig. 443 – *Ecrans radar primaire et secondaire.*

Limite d'utilisation du radar primaire

Un avion volant à faible hauteur, ne peut être détecté. En effet son écho est brouillé par des réflexions parasites dues aux obstacles au sol (immeubles, antennes, collines, etc.).

Les fortes précipitations, la neige plus particulièrement peuvent créer des « faux échos », dans ces cas le scope radar est inexploitable.

Le radar peut vous aider à préciser votre position en cas de doute à ce sujet.

Contactez une tour de contrôle qui vous transférera sur une fréquence de contrôle pour une assistance radar (les fréquences figurent sur les cartes d'aérodrome). L'opérateur demande au pilote d'effectuer des changements de direction, afin d'identifier l'écho de l'avion.

Une fois l'identification effectuée, il lui communique les informations de cap à prendre et de distance à la station, permettant de rejoindre l'aérodrome ou tout autre lieu caractéristique.

Sachez également que vous pouvez aussi contacter les organismes militaires dont la couverture radar s'étend à la totalité du territoire français.

LE RADAR SECONDAIRE DE SURVEILLANCE (SSR)

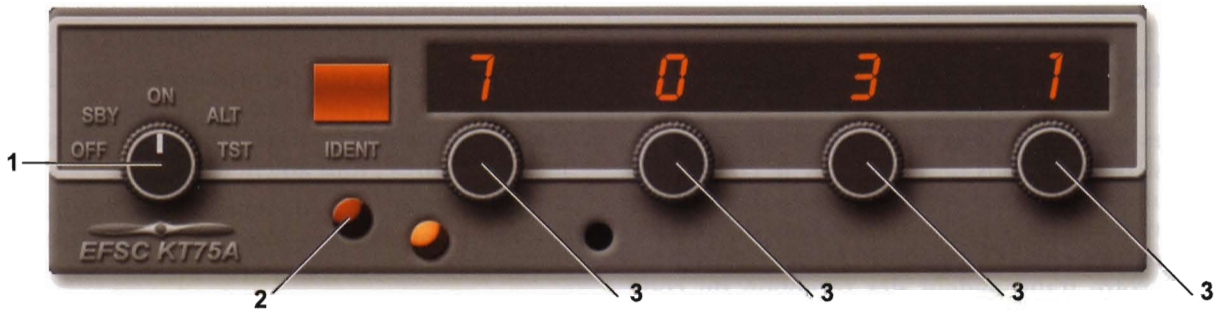
C'est un système généralement associé au radar primaire qui facilite l'identification des aéronefs. Il envoie à l'avion une interrogation à laquelle le transpondeur de bord fournit une réponse.

Cette réponse, une fois décodée, apparaît sur le scope radar sous la forme d'un écho, auquel est associé une étiquette qui retranscrit les quatre chiffres que le pilote a affiché sur son transpondeur à la demande du contrôleur (fig. 443). L'identification de l'aéronef est ainsi assurée.

Les transpondeurs - mode A plus C peuvent transmettre l'altitude-pression s'ils sont équipés d'une capsule anéroïde permettant la transmission de ce paramètre. Ce type de transpondeur est automatiquement équipé pour transmettre l'altitude-pression s'il a été installé après le 1er janvier 1999 *(cf. Annexe 10 OACI)*. Un transpondeur mode C ne veut donc pas dire systématiquement report de l'altitude-pression.

Les transpondeurs mode S sont automatiquement équipés du report d'altitude. Le mode S est exigé dès à présent en IFR et le sera prochainement en VFR

PRÉSENTATION D'UN TRANSPONDEUR A+C



1. Bouton de mise en route et sélecteur de fonctions

OFF arrêt.

SBY attente (Stand-by), le transpondeur est sous tension mais n'émet pas.

ON fonctionnement normal, le transpondeur est sous tension et émet le code d'identification.

ALT le transpondeur est sous tension et émet le code d'identification et l'altitude-pression (s'il est en mode C et raccordé à une capsule anéroïde).

TST test de l'alimentation du transpondeur.

2. Voyant de test ou de réponse

S'allume lorsque le transpondeur est en test ou à chaque fois qu'il répond à une impulsion.

3. Boutons d'affichage du code d'identification

Chaque bouton permet d'afficher un chiffre de 0 à 7 (4096 valeurs possibles du code d'identification)

IDENT

Permet à la demande du contrôle d'envoyer un signal particulier vers le radar pour confirmer l'identification.

Fig. 444 – *Le transpondeur A+C.*

PRÉSENTATION D'UN TRANSPONDEUR MODE S

OFF arrêt

ON mise en service du mode S
(Code affiché : 1200 dans l'exemple)

STBY équipement sous tension mais pas de réponse aux interrogations

ALT transmission du report de l'altitude-pression

IDENT
Permet d'afficher sur le radar un signal particulier afin de d'aider l'identification. Le mode IDENT dure 8 secondes. Le mot « IDENT » apparaît, alors dans le haut et à gauche de l'écran (au dessus de « ALT »).

VFR Cette touche permet d'afficher instantanément le **code 7000**. Un autre appui sur cette touche fait repasser instantanément sur le code utilisé précédemment.

Touches numériques de 0 à 7

Permettent d'afficher le code à 4 chiffres prescrit par la réglementation ou assigné par le contrôle. Un nouveau code n'est activé que lorsque le 4e chiffre est entré. En cas d'erreur lors de l'entrée d'un nouveau code, appuyer sur la touche CRSR. Le dernier code utilisé s'affiche, puis recommencer l'opération.

Le bon fonctionnement du transpondeur est confirmé par l'affichage de la lettre « R » L'altitude-pression est affichée à droite des 4 chiffres du code.

Fig. 445 – *Le transpondeur Mode S.*

(au 31 mars 2009 au plus tard en France, voire au 31 mars 2008 dans de nombreux pays limitrophes).

L'utilisation du transpondeur

Dans les espaces aériens où l'emport du transpondeur est prescrit, vous devez afficher le code transpondeur assigné sauf dans les situations de détresse, panne radio ou intervention illicite. Vous devez donc vous conformer à l'instruction reçue c'est-à-dire : utiliser votre transpondeur dès réception du code jusqu'à nouvelle instruction ou, à défaut, jusqu'à l'immobilisation de l'avion à la fin du vol. Lorsqu'au code n'a été assigné par l'organisme de la circulation aérienne, appliquer les dispositions prévues pour les espaces où le transpondeur n'est pas prescrit par mesure de sécurité.

Dans les espaces aériens où le transpondeur n'est pas prescrit, sauf instruction contraire de l'organisme des services de la circulation aérienne ou dans les situations de détresse, panne radio ou intervention illicite, si vous êtes équipé d'un transpondeur mode A+C avec alticodeur ou mode S avec alticodeur, vous devez afficher, **depuis le moment où l'aéronef commence à se déplacer par ses propres moyens jusqu'au moment où il s'immobilise à la fin du vol :**

- le code **7000** si vous êtes en **VFR** dans les régions d'informations de vol de vol métropolitaines (pour mémoire : code 2000 en IFR) et **activer la fonction de report d'altitude** ;
- le code **2000** dans l'espace aériens d'outre-mer exploités par l'administration française (code valable pour le **VFR** et l'IFR cette fois) et **activer la fonction de report d'altitude**.

Si votre transpondeur n'est pas équipé de la fonction de report d'altitude, n'utiliser votre transpondeur que sur demande d'un organisme de la circulation aérienne sur le code qu'il vous aura assigné.

L'affichage de codes particuliers pour les situations ci-dessus vous permet de faire connaître aux organismes de la circulation aérienne la nature des problèmes rencontrés ; vous afficherez alors :

- le code **7700** en cas de détresse (déclencher également manuellement votre balise de détresse si la commande est à votre portée) ;
- le code **7600** en cas de panne radio ;
- le code **7500** en cas d'intervention illicite.

Obligations d'emport de transpondeur

En France métropolitaine, tout aéronef doit être équipé d'un transpondeur mode A+C avec alticodeur ou d'un transpondeur mode S, niveau 2, avec alticodeur :

- en espace aérien de classe B, C et D ;
- pour suivre certains itinéraires ou pénétrer dans certains espaces aériens portés à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique ;
- pour effectuer un vol de nuit autre que local.

Des dérogations à cette règle peuvent être accordées sous certaines conditions.

Cet équipement est également exigé aux Antilles/Guyane à l'intérieur des zones de contrôle et régions de contrôle terminales de Fort-de-France et Pointe-à-Pitre ainsi que dans la FIR de Rochambeau.

UNITÉ D'INSTRUCTION V.2
ILS – DME – HSI – GPS

L'ILS (« INSTRUMENT LANDING SYSTEM »)

C'est une aide à l'atterrissage. Un émetteur au sol émet deux faisceaux radioélectriques permettant de matérialiser l'axe de piste et un plan de descente (généralement le plan à 5 %).

Principe de fonctionnement

L'ILS se compose de deux émetteurs :

– le « localizer » (LOC) qui fournit des indications d'écart latéral par rapport à l'axe de la piste (fig. 447) ;

– le « glide path » (GP) qui fournit une indication de descente généralement calé à 3 ° soit 5 % environ (fig. 448).

Pour le LOC, le signal est modulé à 150 Hz à droite de l'axe et à 90 Hz à gauche de l'axe ; votre récepteur va donc mesurer l'intensité des signaux à 150 et 90 Hz et en déduire votre position par rapport à l'axe, l'aiguille du LOC est placée du côté de l'axe et est donc directrice. Pour le GP, l'émetteur fonctionne selon le même principe avec cette fois, une modulation à 90 Hz au dessus du plan et à 150 Hz en dessous. L'aiguille du récepteur indique la position du plan de descente, elle est donc également directrice.

Fig. 446 – *Un indicateur de bord ILS.*

Le localizer (LOC)

Le localizer peut être reçu en principe par n'importe quel récepteur VOR, la gamme des fréquences ILS allant de 108 à 111,9 MHz. Toutefois, à la différence du VOR, l'OBS n'est d'aucune utilité. Pour le LOC, la déviation maximale de l'aiguille correspond à un écart angulaire d'environ 2,5 ° ; l'émetteur est réglé avec une ouverture standard à l'entrée de piste donnant ainsi un angle plus faible pour les pistes très longues, l'émetteur du LOC étant placé en fin de piste.

Le glide path (GP)

Le GP fonctionne en UHF sur une fréquence appariée avec la fréquence VHF du LOC ; il suffit donc

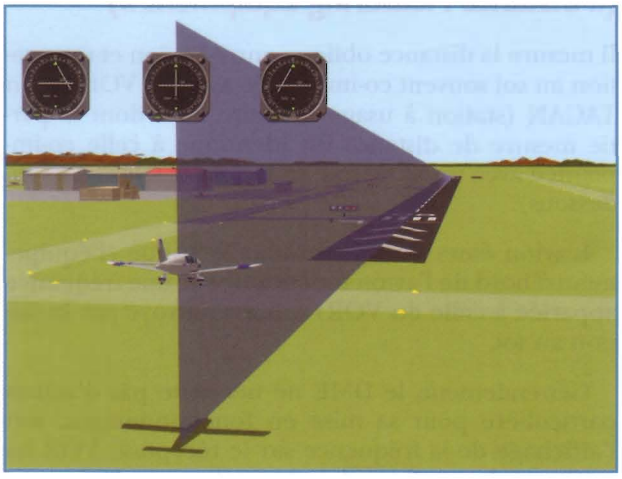


Fig. 447 – *Le plan du localizer.*

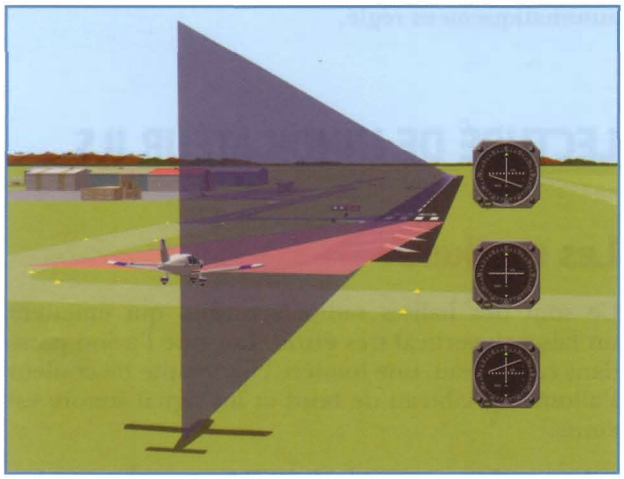


Fig. 448 – *Le plan du glide.*

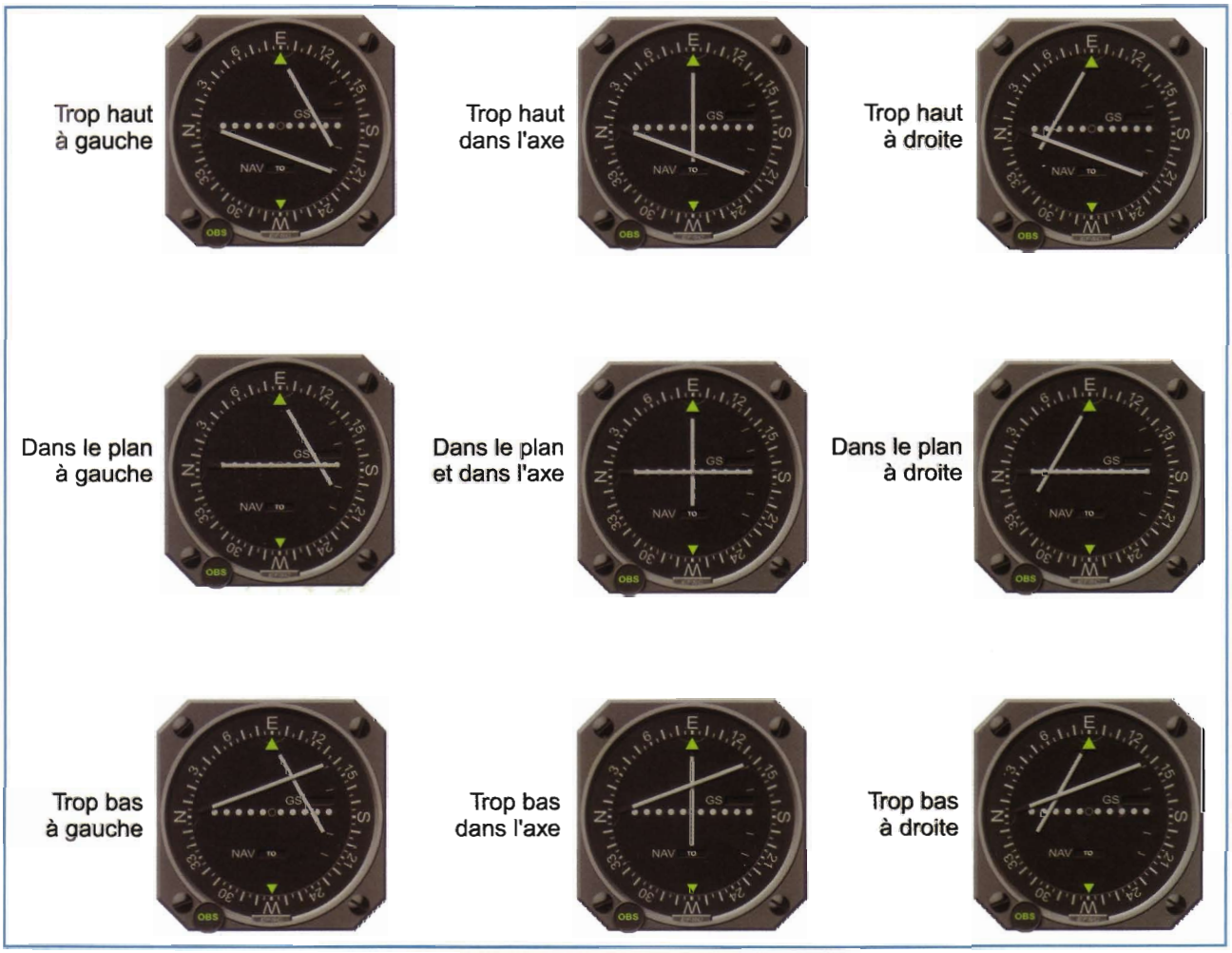


Fig. 449 – *« Glide Slope » et « Localizer ».*

Photo © Garmin

Fig. 450 – *Modèle de boîte de mélange.*

d'afficher la fréquence VHF du LOC et le GP est automatiquement réglé.

LECTURE DE L'INDICATEUR ILS

Les markers

Ce sont des balises radioélectriques qui émettent un faisceau vertical très étroit. Lorsque l'avion passe dans ce faisceau, une lumière clignotante de couleur s'allume au tableau de bord et un signal sonore est émis.

Les markers sont associés à l'ILS et sont au nombre de trois. Suivant leur distance à la piste, la couleur de la lampe qui s'allume est différente, ainsi que le signal sonore qui l'accompagne. Les markers sont de plus en plus remplacés par des DME/ATT (*cf. paragraphe sur le DME/ATT ci-dessous*).

Le DME
(« Distance Measuring Equipment »)

Il mesure la distance oblique entre l'avion et une station au sol souvent co-implantée avec un VOR ou un TACAN (station à usage militaire mais dont la partie mesure de distance est identique à celle co-implantée avec un VOR) ou un ILS (voir DME/ATT ci-dessous).

L'avion émet un signal radioélectrique (l'équipement à bord de l'avion fonctionne sur une fréquence appariée à celle du VOR) qui est renvoyé par la station au sol.

Généralement, le DME ne nécessite pas d'action particulière pour sa mise en fonctionnement, soit l'affichage de la fréquence sur le récepteur VOR lui suffit ou alors celle-ci doit être sélectionnée à partir d'un boîtier annexe. Le DME fonctionne en UHF

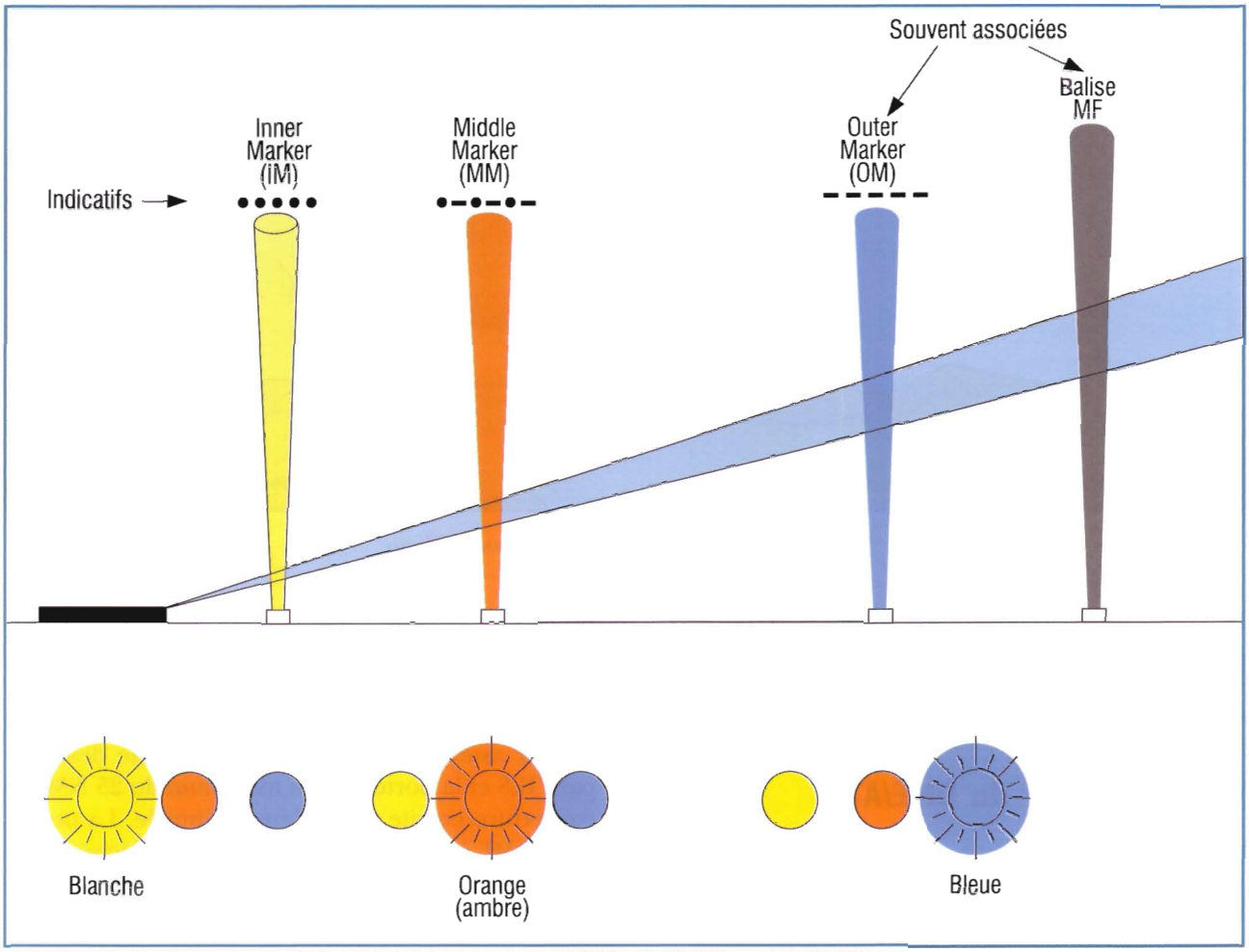


Fig. 451 – *Les trois faisceaux marker.*

mais le pilote affiche la fréquence VHF du VOR ou la fréquence VHF appariée au canal du TACAN. Sur les cartes aéronautiques, la mention (D) précède l'indicatif et la fréquence des VOR-DME, par contre, la fréquence VFR appariée au canal TACAN est indiquée entre parenthèses (vous ne pouvez alors recevoir qu'une information de distance).

Le DME fournit une indication de distance en NM (milles marins) par rapport à la station, et grâce à un calculateur incorporé, il fournit aussi les informations de vitesse sol (en nœuds) et de temps pour rejoindre la station (TTS).

Présentation du DME

Un sélecteur commande la mise en marche du DME (fig. 452), le choix des informations, vitesse sol ou temps à la station et parfois l'affichage de la fréquence.

Limite d'utilisation et précision du DME

La précision du DME est de l'ordre de 0,2 NM. Sa portée est visuelle, sans toutefois dépasser les 200 NM, et il ne peut être interrogé simultanément que par un nombre limité d'avions (inférieur à 200).

Rappelons que la distance mesurée est oblique, et qu'au passage de la verticale le DME vous indique votre hauteur (fig. 453).

En outre, les indications de vitesse sol et de temps pour rejoindre la station ne sont valables que si l'avion se dirige vers le DME ou s'en éloigne. En effet, si l'avion passe à travers le DME, la distance à l'émet-

Fig. 452 – *Indicateur DME.*

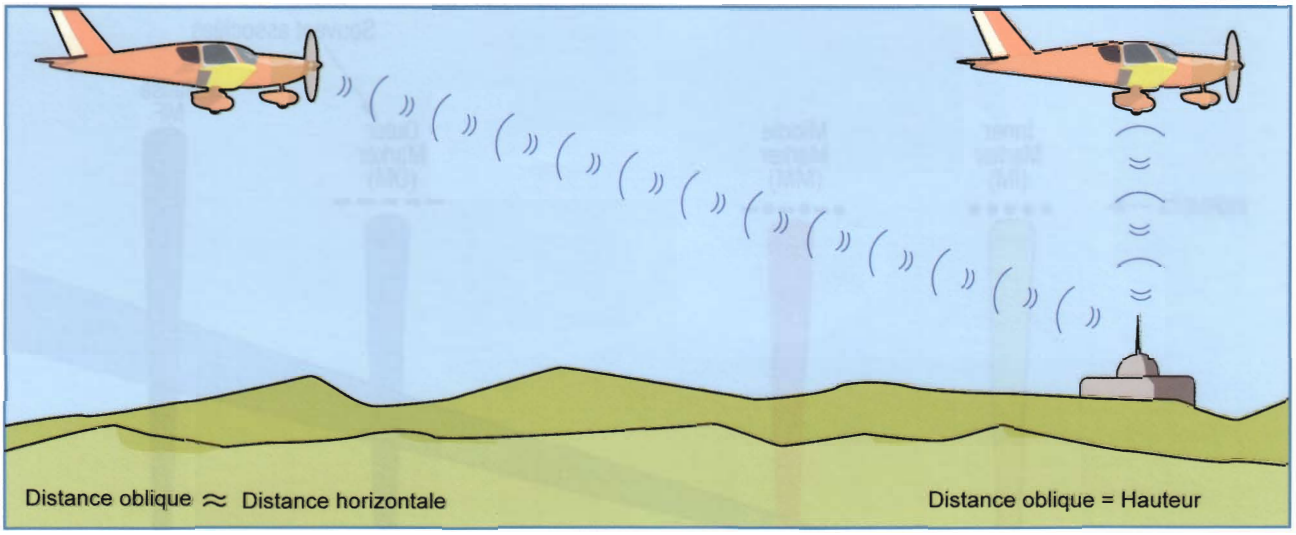


Fig. 453 – *La DME mesure une distance oblique.*

teur ne varie pratiquement pas, la vitesse déterminée par le calculateur du récepteur DME sera voisine de zéro et le temps pour rejoindre la station sera pratiquement constant.

Cas particulier du DME/ATT

Des DME à puissance réduite désignés « DME/ATT » peuvent être associés aux ILS à la place des markers ; ils sont alors co-implantés avec l'un des éléments de l'ILS (LOC ou GP) ; la fréquence du DME/ATT est appariée à celle du LOC. Le DME/ATT peut être directif ou omnidirectionnel. Un DME/ATT directionnel n'est normalement utilisable que dans un secteur assez limité dans l'axe de la piste desservie par l'ILS et la portée est au maximum du 25 NM ; la couverture en site est également limitée. La portée d'un DME/ATT omnidirectionnel est précisée dans les AIP. Les DME/ATT doivent donc être utilisés avec précaution.

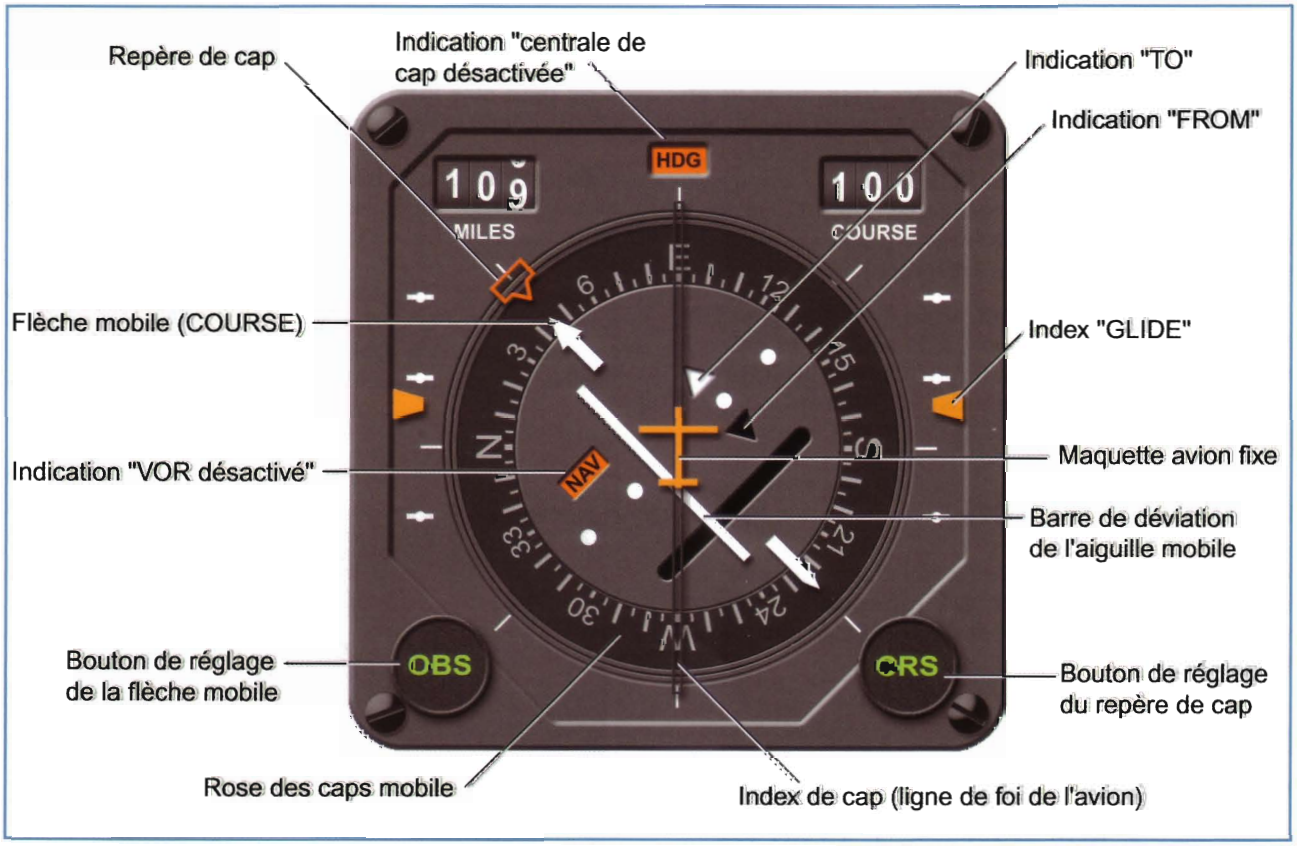


Fig. 454 – *L'indicateur HSI.*

LE HSI
(« HORIZONTAL SITUATION INDICATOR »)

C'est un système fournissant sur le même instrument :

- une référence de cap,
- une indication d'écart latéral par rapport à un radial ou à l'axe d'un localizer,
- une indication d'écart, dans le plan vertical, par rapport à un plan de descente (glide).

Le grand intérêt du HSI utilisé avec le VOR est que l'aiguille de déviation est toujours directionnelle.

Exemple :

Voici la situation :

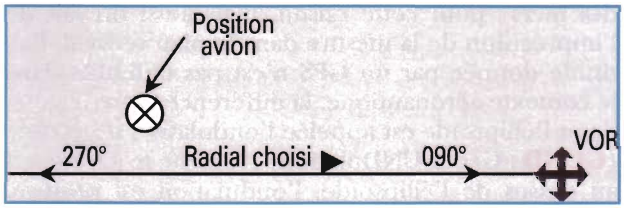


Fig. 455

Nous voulons nous positionner par rapport au QDM 090 ° pour pouvoir le rejoindre et faire une verticale de la station VOR.

Pour cela, nous positionnons la tête de la flèche au 090 ° à l'aide du bouton course du HSI. L'index TO-FROM passe alors sur TO (donc dans le sens de la flèche) et l'aiguille de déviation est à droite par rapport à la flèche.

Observons les indications du HSI à différents caps de l'avion :

Dans ce premier cas nous faisons route au sud pour rejoindre le 090 °. La maquette centrale du HSI nous figure que nous allons vers cette route VOR.

Fig. 456

Fig. 457

Dans ce deuxième cas, toujours à la même position, nous faisons cap au nord. Le HSI nous figure alors que l'avion s'éloigne de la route choisie et qu'un virage de 180 ° s'impose pour l'intercepter sous 90 °.

UTILISATION DU GNSS EN VFR EN AVIATION GÉNÉRALE

Introduction

Pour l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), le système de navigation par satellites (**GNSS** : **G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem) est le système de radionavigation destiné à supplanter tous les autres moyens comme l'Oméga, les VOR, les DME, les radiobalises MF, les ILS ou MLS. L'OACI encourage donc l'exploitation, dans les meilleurs délais, des services du type GNSS au moyen du système mondial de localisation **GPS** (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem) et du système mondial de satellites de navigation **GLONASS** (**G**lobal **O**rbiting **N**avigation **S**atellite **S**ystem).

Le GPS a été développé par le Département de la Défense (DoD) des États-Unis. Il a été déclaré opérationnel (IOC, Initial Operational Capability) le 8 décembre 1993.

Le GLONASS est un système qui a été également offert à l'OACI par le Gouvernement de Fédération de Russie le 4 juin 1996. Toutefois, seul le GPS est pratiquement utilisé, c'est pourquoi, seul le GPS est traité dans ce manuel, comme d'ailleurs, dans les textes officiels.

Bien qu'initialement conçu pour satisfaire des besoins militaires, ce système a été mis à la disposition des usagers de l'aviation civile selon les conditions

précisées dans la lettre du 14 octobre 1994 adressée par la FAA (Federal Aviation Administration) à l'OACI. Selon les termes de cette lettre, les États-Unis, « sous réserve que soient dégagés des crédits dans les conditions de leur législation », entendent rendre disponible le Service de localisation standard (SPS, Standard Positioning System) du système GPS, « sur une base mondiale et continue et sans redevance d'usage direct »... « Les États-Unis prendront toutes les mesures nécessaires pour maintenir l'intégrité et la fiabilité du service et comptent pouvoir donner un préavis d'au moins 6 ans avant qu'il ne soit mis fin au fonctionnement du GPS. ou que le GPS-SPS soit éliminé ».

Le système de navigation par satellites (GNSS : Global Navigation Satellite System)

Principe de fonctionnement du système GPS

Le système GPS est basé sur une constellation nominale de 24 satellites en orbite à 20 200 km au-dessus de la surface terrestre. Chaque satellite diffuse des informations permettant de :

- déterminer la distance entre le satellite et le récepteur par mesure du temps de propagation du signal ;
- connaître les orbites précises et l'état de chacun des satellites de la constellation.

A partir de ces informations, le récepteur GPS peut calculer sa position et fournir l'heure.

Trois satellites présentant une géométrie et une élévation suffisantes par rapport au récepteur GPS sont nécessaires pour calculer une position en 2 dimensions (latitude, longitude) si l'altitude est connue du récepteur (bateaux, véhicules terrestres). Dans le cas des aéronefs, pour obtenir une meilleure précision, 4 satellites sont nécessaires pour calculer une position en 3 dimensions (latitude, longitude, altitude).

Lorsque trois satellites seulement sont disponibles, la position peut être déterminée en prenant en compte l'altitude de l'aéronef introduite manuellement par le pilote.

La position est calculée dans le système de position WGS-84 (World Geodetic System 1984). Ce système a pour origine le centre de gravité de la terre et définit un ellipsoïde permettant de modéliser la forme de la surface terrestre. L'OACI a recommandé l'adoption de WGS84 comme standard mondial dès 1998.

Cependant, l'altitude déterminée par le GPS dans le système de coordonnées WGS-84 est déterminée par rapport à l'ellipsoïde de ce système et non par rapport au géoïde correspondant au niveau moyen des mers ; pour cette raison, mais aussi du fait de l'imprécision de la mesure dans le plan vertical, l'altitude donnée par un GPS n'est pas utilisable dans le contexte aéronautique. la différence entre le géoïde et l'éllipsoïde est appelée l'ondulation de géoïde (**GUND** : **Geoid UND**ulation) ; lorsque le géoïde est au dessus de l'éllipsoïde, l'ondulation est positive. En France, elle est positive et de l'ordre de 150 pieds (fig. 458).

Les coordonnées géographiques publiées dans la documentation aéronautique sont publiées dans le système WGS-84. Bien que l'information fournie dans le plan vertical ne soit pas utilisable en aéronautique, la valeur de la GUND est indiquée sur les cartes IAC ainsi que sur les cartes VAC (au fur et à mesure de leur réédition).

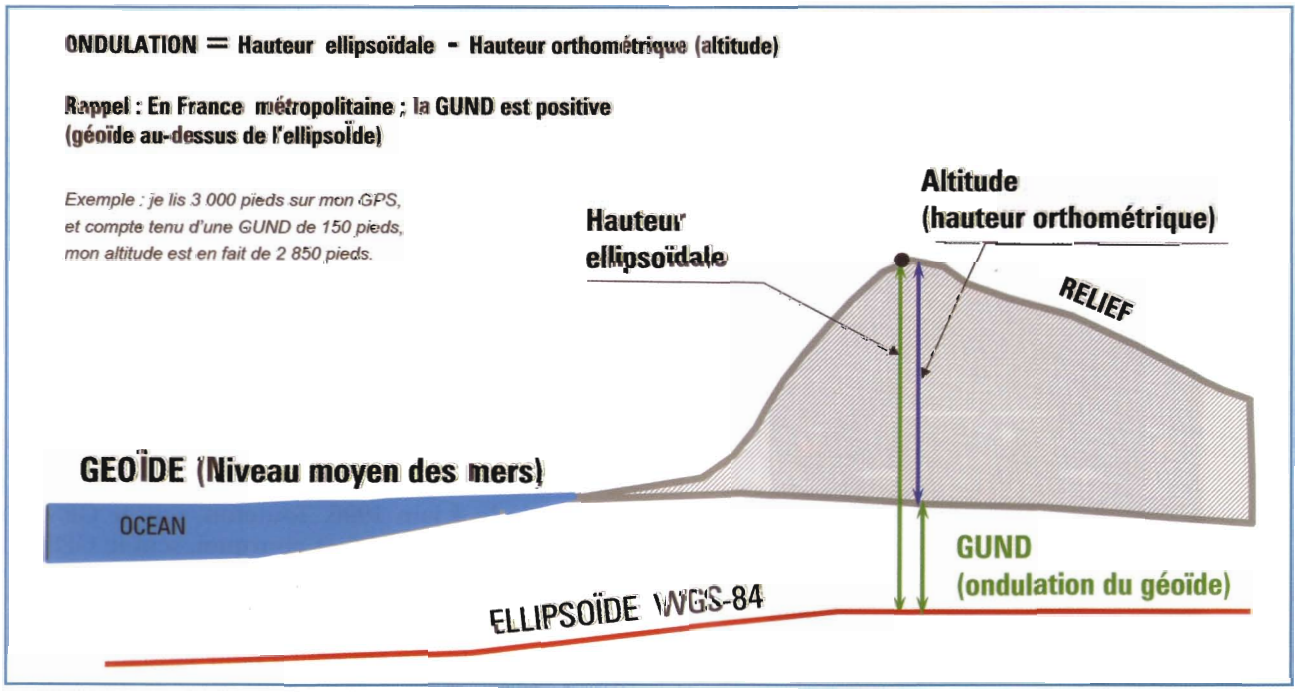


Fig. 458 – *Ondulation du géoïde (GUND).*

Précision du système

Initialement, les performances du service SPS (Standard Positioning System), seul service accessible aux utilisateurs civils annoncées par les autorités américaines étaient les suivantes:

- la position horizontale est déterminée avec une précision de 100 mètres avec une probabilité de 95 % et de 300 mètres avec une probabilité de 99,99 % ;
- la précision verticale est de 140 mètres avec une probabilité de 95 % ;
- la précision de l'heure GPS est de 340 nanosecondes avec une probabilité de 95 %.

Depuis le 2 mai 2000, les États-Unis ont décidé de ne plus utiliser la « Selective Availability » (**SA**) ce qui permet aux usagers civils d'obtenir ainsi une meilleure précision. La précision horizontale serait de l'ordre de 21 mètres à 95 % du temps sans la SA. Cependant, la suppression de la SA ainsi que les informations relatives à la précision n'ont, pour l'instant, pas été officiellement confirmées par les États-Unis.

Par ailleurs, certains équipements donnent des informations relatives au DOP (Dilution Of Position). Le DOP donne une information sur la précision de la position en prenant en compte la géométrie des constellations : plus le chiffre est proche de 1, plus la précision est bonne.

Intégrité

On appelle intégrité la capacité du système à fournir une alarme au pilote lorsque le système de navigation ne peut plus être utilisé avec la précision requise.

Le système GPS n'ayant pas été initialement conçu pour un usage aviation civile, il ne dispose pas en lui-même d'un système de vérification d'intégrité compatible avec les besoins de la navigation aérienne civile. En conséquence, un ou plusieurs satellites peuvent transmettre un signal erroné pendant une durée significative (pouvant dépasser 45 minutes). Dans ce cas, la position peut être fausse sans que l'utilisateur en soit averti et la valeur de l'erreur peut atteindre plusieurs dizaines de milles marins.

En l'attente de compléments civils au système GPS, la détermination de l'intégrité du signal doit être effectuée à bord de l'aéronef :

- soit par l'équipement GPS lui-même (Receiver Autonomous Integrity Monitoring RAIM) ;
- soit par comparaison avec d'autres systèmes de navigation ;
- soit par le pilote lui-même en contrôlant sa navigation par repérage au sol.

Le principe de base de la fonction RAIM repose sur un calcul de cohérence entre plusieurs positions basées sur des observations de satellites différents. Cette comparaison nécessite la visibilité d'un nombre de satellites, avec une géométrie et une élévation suffisantes, supérieur à 4.

Disponibilité

La disponibilité du positionnement GPS (4 satellites visibles) est proche de 100% sur la majeure partie du monde avec une constellation de 24 satellites. La disponibilité de la fonction contrôle d'intégrité par le RAIM, nécessitant davantage de satellites, est nettement inférieure à 100%.

Il en résulte que l'intégrité de l'information de position fournie par un récepteur GPS utilisant le RAIM n'est pas assurée de façon permanente.

Les indisponibilités de satellites ou de la fonction RAIM font l'objet de la diffusion, par le SIA, de NOTAM particuliers accessibles lors de la préparation du vol en utilisant les outils habituels et en cochant la rubrique « NOTAM GPS ».

Qualification des récepteurs et certification

On appelle équipement de bord un équipement qui, lors du vol, est solidaire de l'aéronef.

Tout équipement radioélectrique de bord doit avoir reçu une autorisation avant d'être installé sur un aéronef immatriculé au registre français (F- ....).

Pour que la navigabilité de l'aéronef soit assurée, il est nécessaire que l'aéronef soit certifié et que toutes les modifications soient approuvées.

Les équipements GPS doivent être qualifiés conformément aux conditions techniques fixées par le DGAC.

Ils doivent être munis d'une base de données qui peut être remise à jour selon les dispositions prévues pour une utilisation en VFR (*cf. « Base de données » en page suivante*).

Les classes d'homologation des équipements GPS utilisables en VFR seront A, B et C.

Classe A : Cette classe correspond à un équipement possédant la partie calcul de navigation en plus de la partie réception GPS ; elle possède la fonction RAIM et comporte deux sous classes A1 et A2 selon leurs performances pour une utilisation en IFR.

Classe B : Cette classe correspond à un senseur GPS envoyant des informations vers un système de navigation intégré (système multisenseur) ; elle comporte 4 sous classes selon leurs performances pour une utilisation en IFR ; les sous classes B1 et B2 possèdent la fonction RAIM ; pour les sous classes B3 et B4, le système de navigation intégré doit assurer un niveau d'intégrité équivalent au RAIM.

Classe C : Cette classe correspond à un senseur GPS envoyant des informations vers un système de navigation intégré (système multisenseur) couplé à un pilote automatique ou à un directeur de vol ; elle comporte 4 sous classes selon leurs performances pour une utilisation en IFR ; les sous classes C1 et C2 possèdent le RAIM ; pour les sous classes C3 et C4 le système de navigation intégré doit assurer un niveau d'intégrité équivalent au RAIM.

Cas particuliers des GPS sans RAIM :

Il existe sur le marché quelques types de récepteurs GPS dépourvus de la fonction RAIM.

Ces derniers ont des caractéristiques techniques limitées mais conformes à la réglementation et, comme pour le matériel de classe A, B ou C, leur installation fera l'objet d'une approbation par la DGAC.

Un supplément au manuel de vol décrira les limitations occasionnées par le système installé et une étiquette au tableau de bord précisera ces limitations opérationnelles *(cf. « Utilisation d'un GPS sans RAIM » ci-dessous).*

Utilisation du GNSS en VFR en aviation générale

Utilisation d'un GPS de classe A, B ou C

Un GPS de classe A, B ou C peut être utilisé comme moyen de navigation :

- pour les vols VFR de jour, sans contact visuel du sol ou de l'eau ;
- pour les vols VFR de jour pour le survol de l'eau, de régions terrestres inhabitées ou sur certains itinéraires lorsqu'un équipement de radionavigation est requis ;
- pour les vols VFR de nuit.

En cas de perte momentanée de la fonction RAIM, l'équipement GPS continue à fournir les éléments de navigation tant qu'il reçoit au moins quatre satellites (trois en intégrant l'altitude) ; le vol peut donc être poursuivi à l'estime en vérifiant la navigation par référence visuelle du sol dès que les conditions le permettent.

Utilisation d'un GPS SANS RAIM

Lorsqu'un récepteur GPS sans RAIM est installé à bord, ce dernier ne peut être utilisé comme moyen primaire de navigation lorsqu'un tel équipement est, par ailleurs, exigé. Il appartient alors au pilote de vérifier sa navigation par repérage visuel du sol ou par comparaison avec les informations fournies par un autre équipement de navigation certifié pour s'assurer de la fiabilité de la position fournie par le GPS du fait que ce dernier ne dispose pas de la fonction RAIM.

L'installation à bord d'un GPS sans RAIM doit comporter l'apposition, sur le tableau de bord, à proximité du dispositif indicateur, d'une étiquette comportant l'inscription:

« GPS utilisable en VFR de jour et en vue du sol uniquement ».

Utilisation de systèmes GPS portables

Certains pilotes utilisent parfois des systèmes GPS portables et autonomes. Ces systèmes n'ont fait l'objet d'aucune vérification de conformité aux conditions techniques fixées par la DGAC. En conséquence :

Les pilotes sont avisés que l'utilisation de tels systèmes est faite sous leur entière responsabilité

Par ailleurs, le fonctionnement de ces GPS peut être à l'origine de perturbations (par rayonnement ou par conduction électromagnétique), pouvant être à l'origine :

- d'erreurs dans les indications du compas ;
- d'erreurs dans les informations de navigation disponibles réglementairement à bord (VOR, ADF, DME, etc.).

De plus, le fonctionnement d'un GPS portable peut perturber l'alimentation électrique si ce récepteur est connecté au réseau électrique de bord ; des protections devront être mises en place sur cette connexion (fusible).

En cas de constatation de la moindre perturbation sur le compas, les équipements de radiocommunication et radionavigation ou l'alimentation électrique, le GPS portable doit être arrêté.

Base de données

GPS de classe A, B ou C

Les GPS de classe A, B, ou C disposent d'une base de données.

Une base de données à jour est une base de données mise à jour systématiquement tous les 28 jours (cycle AIRAC). En VFR, il est admis que la base de données puisse ne pas être à jour; il appartient alors au pilote de vérifier l'exactitude des informations en mémoire dont il risque d'avoir l'usage au cours de son vol par référence à une documentation à jour. La base de données doit, toutefois, être remise à jour le plus régulièrement possible pour limiter la tâche de vérification avant chaque vol ; elle sera remise à jour systématiquement au moins tous les 3 ans lors du passage de l'aéronef en atelier d'entretien radio agréé mais l'utilisation d'une base de données à jour sera privilégiée.

Pour une utilisation en VFR, le pilote peut compléter la base de données par des informations, notamment les points de report en VFR qui ne sont pas disponibles dans la base de données fournie. L'attention des utilisateurs de ce type de mémoire est attirée sur le risque d'erreurs lors de la saisie des données ; une vérification des coordonnées géographiques par une position relative d'une autre position sûre et de la cohérence des éléments de navigation fournis par le calculateur entre deux points est indispensable.

Pour faciliter la tâche des utilisateurs, le Service de l'Information Aéronautique publie, dans la documentation aéronautique, les radials ou relèvements magnétiques/distances des points de report utilisés en VFR par rapport à un moyen radioélectrique ou par rapport à l'aérodrome (cartes VAC pour les itinéraires d'entrée et de sortie des CTR et guide VFR pour les itinéraires de transit publiés sur les cartes aéronautiques au 1/1 000 000e et 1/500 000e).

Afin de faciliter la vérification des informations mises en mémoire manuellement avant chaque vol, il est recommandé d'harmoniser l'identification des points de report publiés sur les itinéraires VFR dans les CTR en utilisant les deux dernières lettres de l'indicateur d'emplacement de l'aérodrome suivies de l'identification du point de report VFR (une à trois lettres). Avec cette méthode, une identification particulière devra être adoptée uniquement en cas d'utilisation d'un aérodrome hors de la France métropolitaine dont les deux dernières lettres de l'indicateur d'emplacement sont déjà utilisées dans la base de données.

L'attention des usagers est également appelée sur le fait que la base de données manuelle (USR) peut accepter une identification de WP existant déjà dans la base normale (APT, INT, NDB ou VOR) ; il est donc impératif de **vérifier le WP avant de confirmer** son insertion dans une route.

GPS sans RAIM

Ces GPS peuvent n'avoir qu'une base de données à entrée manuelle dans laquelle le pilote met lui-même les informations en mémoire.

L'attention des utilisateurs est appelée sur les risques d'erreurs comme indiqué au paragraphe précédent concernant l'utilisation d'informations entrées manuellement dans les bases de données pour les besoins des vols en VFR.

Renforcements du système

Le GPS a donc ses limites

- nombre de satellites à la limite du service permanent (disponibilité) ;
- possibilité d'interruption inopinée du service pour raison technique (continuité de service) ;
- possibilité d'émission non conforme aux spécifications pendant un temps non négligeable (intégrité).

Remèdes apportés

- la suppression de la SA (déjà réalisée bien que non officielle) ;
- la modernisation du GPS à savoir l'utilisation des fréquences L1 et L2 (voir annexe ci-jointe) et l'utilisation d'une troisième fréquence L5 (1176,45 MHz) ; les fréquences L1 et L5 sont protégées pour les besoins de l'aviation civile ; l'utilisation de ces fréquences permettra une meilleure précision en supprimant notamment l'erreur ionosphérique ;
- Utilisation de trois systèmes de renforcement :
  - L'**ABAS** (Airborne Based Augmentation System) ; l'**ABAS** consiste à utiliser un service d'intégrité interne au système de navigation de bord ;
  - Le **SBAS** (Satellite Based Augmentation System) ; le **SBAS** consiste à disposer de charges utiles GNSS sur des satellites géostationnaires ;
    - **WAAS** (Wide Aera Augmentation System) aux États Unis ;
    - **EGNOS** (European Geostationnary Overlay System) en Europe ;
    - **MTSAT** (Multifonction Transport Satellite) au Japon ;
  - le **GBAS** (Ground Based Augmentation System) ; le **GBAS** consiste à disposer du **LADGPS** (Local Aera Differential Global Positionning System). Pour disposer de cette augmentation locale, une station sol est installée dans la zone (sur un aérodrome par exemple) ; la connaissance exacte de sa position permet à la station d'évaluer l'erreur de pseudo-distance pour chaque satellite en visibilité. Dans un rayon de 100 à 200 kilomètres autour de la station, cette dernière transmet aux utilisateurs les corrections nécessaires afin d'améliorer la précision de leur position.

Enfin la communauté européenne a pris, en 1999, la décision de lancer le projet **GALILEO** qui consiste à disposer de satellites en orbite, comme pour le GPS, afin de ne pas dépendre complètement du système américain. Ces satellites viennent donc en complément du système d'augmentation régionale européen EGNOS. La mise en service de Galiléo pourrait avoir lieu en 2013 au plus tôt.

Ces évolutions prévues sont en fait nécessaires pour obtenir la précision requise pour certaines phases de vol en IFR notamment les approches de précision.

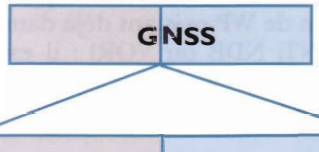
GALILEO comprendra un ensemble de 30 satellites (27 opérationnels et 3 en secours) positionnés à 23 616 km d'altitude et répartis sur trois plans inclinés à 56 ° par rapport à l'équateur ; la précision sera de l'ordre du mètre. De plus, chaque satellite sera équipé d'un transpondeur capable de capter et transmettre les signaux de détresse reçus du sol, alertant ainsi les secours et leur donnant immédiatement la position précise des personnes à secourir.

Conclusion

Compte tenu des limites du GNSS rappelées ci-dessus, il faut, pour une utilisation en VFR :

- vérifier l'état des composants du GNSS, ceux-ci faisant l'objet d'émission de NOTAM et d'utiliser, si nécessaire, le GPS aux heures ou les satellites sont suffisants pour disposer de la fonction RAIM pendant son vol ;
- vérifier **l'intégrité de la base de données** ; en effet, en VFR, le pilote devra utiliser des points (WP : Way Point) qu'il devra insérer lui-même dans sa base de données ; des graves erreurs ont déjà été constatées ; l'utilisation du GPS ne doit pas dispenser un pilote de la préparation d'un journal de navigation pour lui permettre de comparer les éléments de navigation du log avec ceux fournis par le GPS à chaque point tournant et de détecter ainsi les éventuelles anomalies ;

- s'assurer que vous avez **une connaissance suffisante de l'équipement utilisé**. En effet, la conception des récepteurs de GPS diffère d'une marque à l'autre, voir d'un type à l'autre dans une même marque ; en conséquence, avant tout vol, le pilote doit avoir pris connaissance de l'additif au manuel de vol concernant le GPS et avoir une parfaite connaissance du manuel d'utilisation de son équipement.



Caractéristiques	GPS	GLONASS
Satellites – Constellation – Altitude – Période orbitale – Inclinaison	24 satellites [1] (4 x 6 orbites) 20 200 km 11 heures 56 55 degrés [2]	24 satellites (8 x 3 orbites) 19 100 km 11 heures 15 64,8 degrés [3]
Fréquences :	L1 : 1 575,42 MHz L2 : 1 227,6 MHz [4] L5 : 1 176,45 MHz [5]	12 fréq. de 1 602 à 1 610 MHz [6]
Précision • horizontale : • verticale :	SPS [4] 100 m (95 %) 21 m à 95 % sans la SA 156 m (95 %)	CSA 50-70 m (99,7 %) 70 m (99,7 %)
Couverture	mondiale [2]	mondiale [3]
Nombre usagers	illimité	illimité
Système Coord.	WGS-84	PZ-90

1. Le nombre réel est supérieur : 31 satellites opérationnels début 2008.
2. Inclinaison permettant une meilleure couverture dans les latitudes équatoriales.
3. Forte inclinaison permettant une bonne couverture dans les latitudes élevées.
4. Tous les satellites émettent sur les fréquences L1 et L2 mais, en service civil, le SPS ne nécessite que la réception du signal sur L1.
5. Prévue vers 2012/2017 après lancement progressif d'une nouvelle constellation de satellites (programme GPS III) en remplacement des satellites actuels sans L5.
6. Deux satellites émettant sur la même fréquence ne peuvent être vus simultanément par le même utilisateur.

LE PLAN DE VOL

L'expression « plan de vol (PLN) » est utilisée pour désigner aussi bien des renseignements complets sur tous les éléments qui constituent la description du plan de vol intéressant l'ensemble de la route prévue, ou des renseignements en nombre limité lorsqu'il s'agit d'obtenir une autorisation concernant une brève partie d'un vol, par exemple la traversée d'un espace aérien contrôlé, le décollage ou l'atterrissage sur un aérodrome contrôlé.

Ces renseignements permettent aux organismes de la circulation aérienne de fournir les services prévus (contrôle, information et alerte s'il y a lieu).

Toutes les modifications apportées à un plan de vol déposé en vue d'un vol VFR effectué en tant que vol contrôlé, sont signalées dès que possible à l'organisme concerné des services de la circulation aérienne. Dans le cas des autres vols VFR, toute modification importante apportée à un plan de vol est signalée dès que possible à l'organisme avec lequel vous êtes en contact radio (FIC, SIV, APP, TWR ou AFIS).

Dans quels cas devez-vous déposer un plan de vol ?

En VFR, un plan de vol doit être transmis pour :

a **tout vol ou toute partie d'un vol appelé à bénéficier du service du contrôle** de la circulation aérienne ;

b) tout vol effectué dans des régions désignées ou au cours duquel l'aéronef pénètre dans des régions désignées ou suit des routes désignées, lorsque ce dépôt est exigé par l'autorité compétente pour faciliter le service d'information de vol, le service d'alerte et les opérations de recherches et de sauvetage ; c'est le cas pour tout **survol de régions terrestres désignées** publiées par la voie de l'information aéronautique (cas de la Guyane) ou survol maritime. En France, il y a « **survol maritime** » dès lors que vous vous éloignez à la distance la plus faible des deux distances suivantes :

- distance permettant en cas de panne d'un moteur d'atteindre la terre ferme ;
- distance égale à quinze fois l'altitude de l'aéronef.

c) tout vol effectué dans des régions désignées ou au cours duquel l'aéronef pénètre dans des régions désignées ou suit des routes désignées, lorsque ce dépôt est exigé par l'autorité compétente pour faciliter la coordination avec les organismes militaires appropriés ou les organismes des services de la circulation aérienne d'États voisins, afin d'éviter la nécessité éventuelle d'une interception aux fins d'identification ;

d) tout vol au cours duquel **l'aéronef franchit des frontières** ;

e) tout vol de nuit autre que le vol local et certains cas particuliers (voir les exemptions au chapitre relatif au VFR de nuit (page 409).

Mais vous pouvez également établir un plan de vol dès que jugez nécessaire de bénéficier du service d'alerte (cas d'un long trajet ou d'un vol avec des conditions météorologiques difficiles par exemple).

Comment remplir un plan de vol ?

Voyons ensemble comment rédiger un plan de vol. La figure 460 montre un formulaire de plan de vol que nous allons utiliser à titre d'exemple. Vous constatez qu'il comprend deux parties :

- l'une grisée, dont les rubriques seront remplies par l'agent du bureau de piste,

Fig. 459 – *Cases 7 à 10 pour le DR400 F-GLEJ équipé d'une VH, d'un VOR et d'un ADF effectuant un vol VFR en aviation générale.*

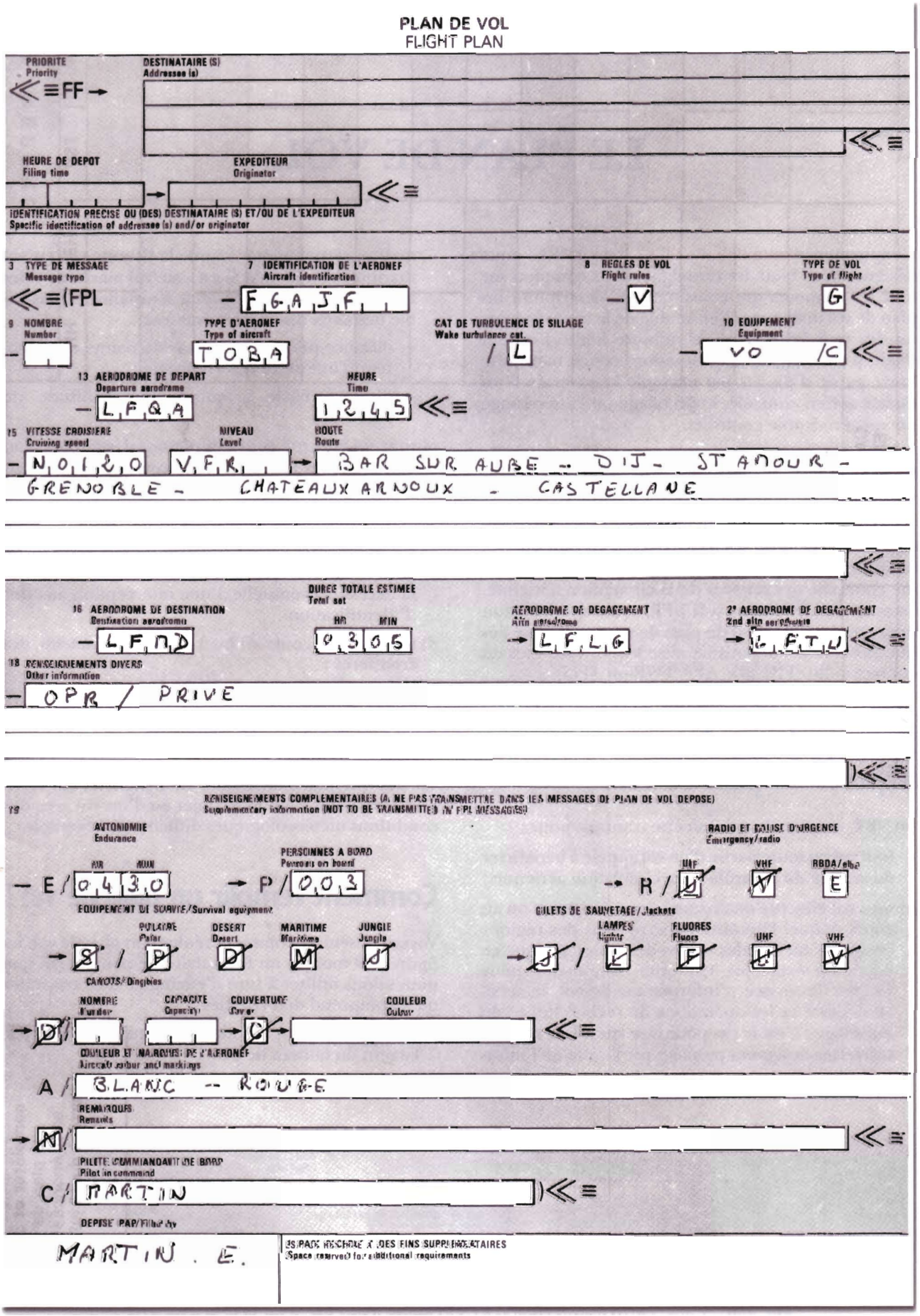


Fig. 460 – *Formulaire complet pour un vol entre Reims-Prunay et Cannes en VFR avec le TB 9 Tobago F-GAJF.*

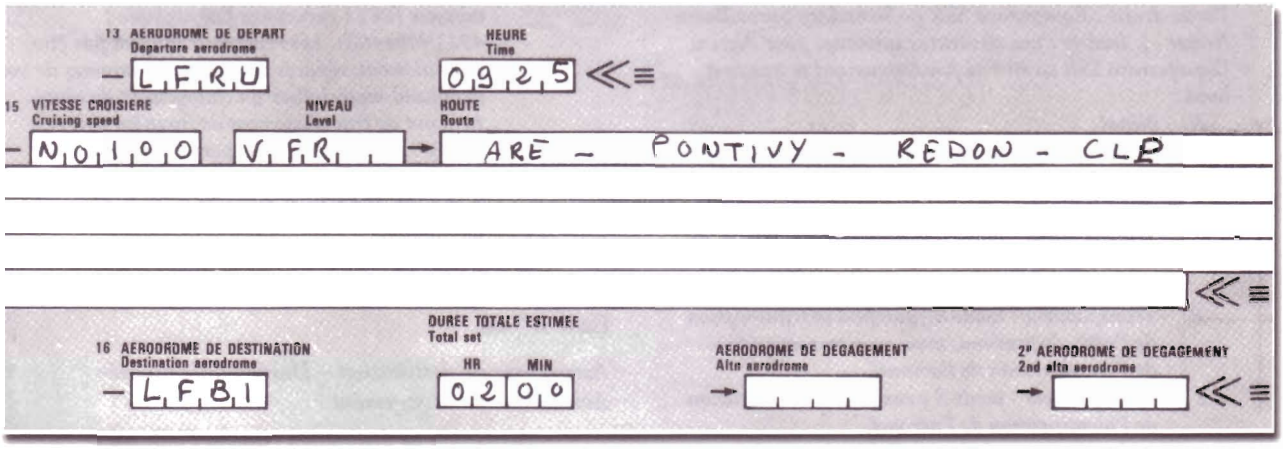


Fig. 461 – *Cases 12 à 18 pour un trajet de Morlaix à Poitiers en passant par le VOR « ARE », Pontivy, Redon et le VOR « CLP ».*

- l'autre constituée par plusieurs espaces en blanc, qui vous est destinée.

Pour simplifier la transmission des plans de vol, il a été institué un code d'abréviations.

Quelques exemples de rédaction de plan de vol sont donnés dans les figures 459 à 461

Case n ° 7

Immatriculation de l'avion (en cinq lettres).

Case n ° 8

Le régime de vol choisi est représenté par une lettre :

- *I pour IFR*
- *V pour VFR*
- *Y pour IFR puis VFR*
- *Z pour VFR puis IFR*

Le type de vol est précisé par une lettre :

- *S Service régulier*
- *N Vol de transport non régulier*
- *G Aviation générale*
- *M Militaire*
- *X Type de vol n'entrant pas dans les catégories définies ci-dessus*

Case n ° 9

Cette case renseigne sur :

- *le nombre d'aéronefs dans le cas d'un vol en patrouille,*
- *le type d'aéronef : indicatif spécifié dans la « Documentation OACI n ° DOC 8643/24 » des indicatifs de type d'aéronefs. Les bureaux de piste tiennent à votre disposition ce document, il est aussi disponible auprès de l'OACI dont le siège se trouve à Montréal. Si votre avion n'est pas d'un type courant et ne dispose pas d'indicatif officiel, insérez ZZZZ et indiquez en clair le type d'aéronef en case 18 à la suite de TYP/,*
- *la catégorie de turbulence de sillage. Trois classes sont prévues :*
  - *H gros porteur, aéronefs dont la masse maximale certifiée au décollage est égale ou supérieure à 136 tonnes,*
  - *M moyen tonnage, aéronefs dont la masse maximale certifiée au décollage est inférieure à 136 tonnes et supérieure à 7 tonnes,*
  - *L faible tonnage, aéronefs dont la masse maximale certifiée au décollage est inférieure ou égale à 7 tonnes.*

Case n ° 10

Équipements

Partie gauche : équipements de radiocommunication. Insérez la lettre qui convient :

- *N si aucun équipement de radiocommunication ou de radionavigation d'approche correspondant à la route à parcourir ne se trouve à bord ou si l'équipement est hors de fonctionnement,*
- *S si l'équipement de radiocommunication ou de radionavigation d'approche correspondant à la route à parcourir se trouve à bord.*

Note

L'équipement type est considéré comme se composant de VHF, ADF, VOR et ILS, à moins qu'une autre combinaison ne soit prescrite par les services de la circulation aérienne.

Insérez une ou plusieurs des lettres suivantes pour décrire l'équipement COM/NAV d'approche disponible et en état de fonctionnement :

- *U UHF,*
- *V VHF,*
- *H HF RTF*
- *F ADF,*
- *O VOR,*
- *D DME,*
- *L ILS,*
- *R RNAV,*
- *Z autre équipement (spécifiez alors en case 18 l'autre équipement transporté à la suite de COM et/ou NAV selon le cas).*

Partie droite : Equipement SSR (« Secondary Surveillance Radar »). Insérer l'une des lettres suivantes pour décrire l'équipement SSR en état de fonctionner qui se trouve à bord :

- *N Néant*
- *A Transpondeur - mode A (4 chiffres – 4096 codes),*
- *C Transpondeur - mode A (4 chiffres – 4096 codes) et mode C,*
- *X Transpondeur - mode S sans transmission ni de l'identification de l'aéronef ni de l'altitude-pression,*
- *P Transpondeur - mode S y compris la transmission de l'altitude-pression, mais sans transmission de l'identification de l'aéronef,*
- *I Transpondeur - mode S y compris la transmission de l'identification de l'aéronef, mais sans transmission de l'altitude-pression,*
- *S Transpondeur - mode S y compris la transmission de l'altitude-pression et de l'identification de l'aéronef.*

Note

le Transpondeur mode C ne veut pas dire systématiquement avec transmission de l'altitude-pression ; la présence à bord ne précise pas si l'altitude-pression est disponible. Toutefois, si dans un espace donné, la transmission de l'altitude-pression est exigée sous la forme « Transpondeur mode C avec alticodeur », vous devez vous assurer que votre transpondeur est équipé de la capsule permettant la transmission de cette information avant de voler dans cet espace.

Case n ° 13

Aérodrome et heure de départ

Aérodrome de départ : insérez l'indicateur d'emplacement OACI de quatre lettres de l'aérodrome de départ. Si l'indicateur n'est pas connu, dans le cas d'un aérodrome privé par exemple, insérez ZZZZ et précisez en clair, case 18, le nom de l'aérodrome à la suite de DEP/.

Heure : indiquez par un nombre de 4 chiffres l'heure estimée UTC (et non l'heure légale) de départ du poste de stationnement.

Case n ° 15

Vitesse de croisière – Niveau – Route

Vitesse de croisière : insérez la vitesse propre sous forme d'un groupe de cinq caractères. 100 nœuds s'écrivent N0100, 180 km/h s'écrivent K0180.

Niveau : insérez le niveau de croisière retenu sous forme d'un groupe de quatre signes. Le FL 085 s'écrit F085, une altitude (QNH) de 2 500 ft s'écrit A025. Le plus souvent, il est difficile de prévoir un niveau de croisière en VFR. Si c'est le cas, inscrivez « VFR » dans cette case.

Route : elle doit être indiquée par des balises de radionavigation (Indicatifs codés), des repères définis en relèvement/ distance par rapport aux balises (exemple « LOR 11025 » pour un repère situé à 25 NM dans le 110 de LOR), des agglomérations (retenir des agglomérations connues figurant au moins sur la carte au 1/500 000e OACI), ou des coordonnées géographiques en longitude/latitude en degrés/ minutes (en 11 caractères par exemple : 4943N00148E). Les repères ne doivent pas être, normalement, séparés de plus de 30 minutes de vol et doivent matérialiser un changement de route. Le point de franchissement de frontière doit être précisé. Dans ce cas, vous porterez en case 18 le temps de vol estimé pour atteindre ce point, à la suite de EET/ et du point de franchissement de frontière.

Case n ° 16

Aérodrome de destination – Durée totale estimée Aérodrome de dégagement

Aérodrome de destination : insérez l'indicateur d'emplacement OACI de quatre lettres de l'aérodrome d'arrivée. Si l'indicateur n'est pas connu, inscrivez ZZZZ et précisez en clair, en case 18, le nom de l'aérodrome de destination précédé de DEST/.

Durée totale estimée : indiquez le temps de vol prévu depuis le décollage jusqu'à la verticale du terrain de destination (règle uniquement valable en VFR).

Aérodrome de dégagement : insérez l'indicateur d'emplacement OACI de quatre lettres. Il n'est pas obligatoire de prévoir un aérodrome de dégagement en VFR sauf dans des circonstances particulières en VFR de nuit. Si l'indicateur n'est pas connu, inscrivez ZZZZ et précisez en clair en case 18 le nom de l'aérodrome précédé de ALTN/.

Case n ° 18

Renseignements divers

Portez tout renseignement nécessaire, de préférence dans l'ordre ci-après, en utilisant l'indicateur approprié suivi d'une barre oblique et des renseignements à donner :

- *EET point de franchissement de la frontière et temps de vol estimé pour y arriver,*
- *OPR nom de l'exploitant de l'aéronef (exemple : votre aéro-club),*
- *TYP type de l'aéronef, si le groupe ZZZZ figure en case 9,*
- *DEP nom de l'aérodrome de départ, si le groupe ZZZZ figure en case 13,*
- *DEST nom de l'aérodrome de destination, si le groupe ZZZZ figure en case 16,*
- *ALTN nom de l'aérodrome de dégagement, si le groupe ZZZZ figure en case 16,*
- *RMK toute autre remarque en clair, jugée nécessaire.*

Note

D'autres renseignements sont prévus dans l'imprimé FPL mais ne sont pas rappelés du fait qu'ils ne concernent pas les aéronefs volant en VFR.

Case n ° 19

Renseignements complémentaires

- *E Autonomie*
  Insérez un groupe de quatre chiffres donnant l'autonomie en heures et minutes (exemple : 0415 pour 4 h 15min).
- *P Personnes à bord*

Indiquez le nombre total de personnes se trouvant à bord de l'appareil (passagers et équipage).

R *Radio et balise d'urgence*
Biffez la lettre U s'il n'y a pas de poste portatif (émetteur/récepteur) à fréquence UHF 243 MHz. Biffez la lettre V s'il n'y a pas de poste portatif (émetteur/récepteur) à fréquence VHF 121,5 MHz. Biffez la lettre E s'il n'y a pas de radiobalise de détresse (RDBA).

S *Équipement de survie*
Biffez toutes les lettres (S compris) s'il n'y a pas d'équipement de survie à bord, ou les lettres correspondant aux équipements qui ne se trouvent pas à bord (sans biffer le S si vous disposez de certains équipements).

J *Gilets de sauvetage*
Biffez toutes les lettres (J compris) s'il n'y a pas de gilets à bord. Sinon, biffez :

L *si les gilets ne comportent pas de lampe,*

F *si les gilets sont dépourvus de fluorescéine,*

U ou V *si les gilets ne sont pas équipés d'émetteurs récepteurs portatifs (UHF 243 MHz ou VHF 121,5 MHz),*

D *Canots*
Biffer la lettre D (Canot se dit «Dinghy» en anglais) s'il n'y a pas de canot à bord, ou indiquer le nombre et la capacité totale des canots, c'est à dire le nombre de personnes pouvant y prendre place.

C *Couverture*
Biffer la lettre C s'il n'y a pas de canot à bord ou s'ils ne sont pas couverts. Préciser la couleur du ou des canots s'il y en a à bord.

A *Couleurs et marques d'aéronef*
Indiquez la ou les couleurs de l'aéronef ainsi que ses marques distinctives.

N *Remarques*
Biffez la lettre N en l'absence de remarque, ou indiquez tout autre équipement de survie se trouvant à bord ou toute remarque portant sur l'équipement de survie embarqué.

C *Pilote commandant de bord – Indiquez son nom.*

Cas particulier d'un plan de vol transmis en vol

Pour un plan de vol transmis en vol, les éléments à fournir concernent la partie du parcours pour laquelle le plan de vol est déposé. La mention « AFIL » est indiquée dans le champ 13 à la place de l'indicateur d'emplacement du terrain de départ.

Lorsqu'il s'agit uniquement d'obtenir une clairance pour une partie de vol (traversée d'un espace de classe D par exemple), la transmission du plan de vol se limite aux seuls éléments nécessaires pour décrire son vol dans l'espace concerné afin d'obtenir l'autorisation nécessaire.

Modalités de dépôt du plan de vol

Dans toute la mesure du possible, si vous avez l'intention de déposer un plan de vol, faites le avant le vol. En VFR, sauf dans les cas cités ci-dessous vous n'avez aucun préavis à donner :

- lorsque le plan de vol est exigé en VFR de nuit *(voir le chapitre relatif au VFR de nuit, page 409)* un plan de vol doit être déposé 30 minutes avant l'heure du départ du poste de stationnement ou 30 minutes avant l'heure du coucher du soleil à l'aérodrome de destination ;
- pour tout vol comportant un franchissement de frontière, le plan de vol est communiqué au moins 30 minutes avant l'heure estimée du départ du poste de stationnement.

Un plan de vol peut être soumis à un bureau de piste des services de la circulation aérienne avant le départ ou transmis en cours de vol à l'organisme intéressé des services de la circulation aérienne. Il peut être transmis également par l'une des possibilités suivantes :

- les bornes télématiques installées sur certains aérodromes donnant l'accès au **3614 PLN** ou à **OLIVIA** selon la génération de l'équipement installé ;
- le MINITEL, **3614** code **PLN** si vous disposez d'un tel équipement ;
- l'outil « **OLIVIA** » accessible sur Internet, sur le site du SIA, rubrique « Préparation des vols » ou directement sur le site « **http://olivia.aviation-civile.gouv.fr** » ;
- le N ° Azur **0810 437 837 (0810 IFR VFR)** ;
- le N ° d'appel du BRIA de rattachement de l'aérodrome de départ (voir carte VAC).

Un plan de vol ainsi remis aux organismes de la circulation aérienne est désigné « **plan de vol déposé (FPL)** ».

Lors d'un vol sous PLN avec escales, vous devez déposer un FPL pour chaque étape.

En vol, vous pouvez transmettre les éléments rappelés ci-dessus à l'organisme de la circulation aérienne le mieux approprié ; il est cependant plus que recommandé de transmettre votre FPL avant le départ dès que vous projetez un vol avec plan de vol FPL en raison des difficultés qui pouvez rencontrer en vol (horaires des organismes, surcharge de travail du pilote, etc.) ; la transmission en vol devrait donc être exceptionnelle comme dans la cas d'un retard en raison d'un vent contraire supérieur aux prévisions qui fait terminer un vol VFR devant normalement se dérouler de jour, en VFR de nuit.

Note

Pour mémoire, les compagnies aériennes, notamment, qui effectuent des séries de vols dont les caractéristiques de base sont identiques et qui sont effectués de façon régulière et fréquente, peuvent déposer des ***plans de vols répétitifs (RPL)****. Ces RPL sont mis en mémoire et transmis automatiquement en temps utile pour chaque vol sans intervention de l'exploitant.*

Messages associés au FPL

- Tout retard supérieur à 30 minutes **par rapport à l'heure de départ du poste de stationnement doit faire l'objet** d'un message de retard (DLA) ;
- **Toute modification** aux éléments de base transmis dans le FPL, doit être signalée par un **message de modification (CHG)** ; si les renseignements fournis avant le départ au sujet de l'autonomie et du nombre de personnes à bord sont devenus erronés au moment du départ, ce fait constitue une modification importante au plan de vol et doit, à ce titre, être signalé. Les changements d'identification de l'aéronef (champ 7), d'aérodrome de départ (champ 13) ou de destination (champ 16) nécessite l'envoi d'un nouveau plan de vol.
- Toute annulation **de plan de vol doit être signalée par** un message d'annulation (CNL).

Les messages **DLA**, **CHG** ou **CNL** sont transmis par les moyens cités ci-dessus (à l'exception toutefois du MINITEL) ; de la même façon, vous pouvez également vous informer de l'état de votre FPL.

Activation du plan de vol

Votre plan de vol sera mis en vigueur par l'aérodrome de départ dès votre décollage si un organisme de la circulation aérienne (TWR ou AFIS) est en service sur l'aérodrome. Dans le cas contraire, vous devez signaler votre heure réelle de décollage au CIV ou SIV du secteur ou à l'organisme des services de la circulation aérienne d'un aérodrome proche sur votre route

Clôture du plan de vol

Si un organisme des services de la circulation aérienne est en service sur votre aérodrome de destination, ce dernier va automatiquement clôturer votre plan de vol ; toutefois, si vous avez effectué un dégagement sur un aérodrome autre que l'aérodrome prévu au FPL, signalez que vous étiez sous FPL afin que votre vol soit bien clôturé.

Dans le cas contraire, vous devez transmettre un compte rendu d'arrivée le plus tôt possible après l'atterrissage par les moyens les plus rapides à l'organisme des services de la circulation aérienne le plus proche ou au N ° AZUR **0810 437 837 (0810 IFR VFR)**.

Lorsque le pilote sait que les moyens de communication à l'aérodrome d'arrivée sont insuffisants et qu'il ne dispose pas d'autres moyens d'acheminement au sol du compte rendu d'arrivée, il prend les dispositions ci-après : juste avant l'atterrissage, il transmet par radio, à l'organisme le plus proche des services de la circulation aérienne un message tenant lieu de compte rendu d'arrivée.

Lorsqu'un plan de vol n'a été soumis que pour une partie d'un vol, autre que la partie du vol restant à effectuer jusqu'à destination, il est clos par un compte rendu approprié à l'organisme ATS concerné (par exemple, lors d'un survol maritime en première partie du vol

Les comptes rendus d'arrivée transmis par les aéronefs comportent les renseignements suivants :

a) identification de l'aéronef ;

b) aérodrome de départ ;

c) aérodrome de destination (en cas de dégagement seulement) ;

d) aérodrome d'arrivée ;

e) heure d'arrivée.

Note

Toutes les fois qu'un compte rendu d'arrivée est demandé, toute infraction à ces dispositions risque d'amener de graves perturbations dans les services de la circulation aérienne et d'entraîner des frais considérables résultant de l'exécution d'opérations de recherches superflues

RÈGLES D'EMPORT DU CARBURANT

La consommation des avions s'exprime en litres, ou avec une autre unité de volume (le gallon par exemple), **par heure** d'utilisation. Cela induit que, lors de la préparation d'un vol, le pilote doit estimer **son temps de vol** pour déterminer la quantité de carburant qu'il devra emporter.

Le temps de vol dépend beaucoup du vent rencontré sur le parcours. Bien que des cartes météorologiques indiquent le vent prévu dans chaque zone, pour différentes altitudes, il peut y avoir des variations importantes entre l'estimation faite par le pilote avant le départ et le vent réellement rencontré.

Cela n'a pas beaucoup de conséquence lorsque le vent est plus favorable qu'on ne le pensait, mais que se passe-t-il lorsqu'un vent défavorable non prévu au départ allonge considérablement le temps de vol pour arriver jusqu'à destination ? Si le pilote ne s'est pas ménagé **une marge** dans la quantité de carburant embarquée au départ, le moteur s'arrête avant que l'avion n'ait atteint sa destination.

Pour éviter qu'une telle situation ne se produise, la réglementation prévoit l'emport de **réserves de carburant** en plus du carburant nécessaire pour se rendre à destination. Elles sont censées tenir compte d'un imprévu qui allongerait le temps de vol. Bien entendu, ces marges que nous allons décrire maintenant sont des valeurs « planchers », et rien ne vous empêche d'emmener plus de carburant que ne vous impose la réglementation si vous le jugez utile.

Le règlement

(cf. Arrêté du 24 juillet 1991 relatif à l'utilisation des aéronefs en aviation générale § 5.6 et Consigne opérationnelle type 2 N° 92-2-01 du 01/09/1992)

Le commandant de bord doit s'assurer avant tout vol que les quantités de carburant, de lubrifiant et autres produits consommables lui permettent d'effectuer le vol prévu avec une marge acceptable de sécurité.

En aucun cas ces quantités ne doivent être inférieures à celles nécessaires pour :

- **atteindre la destination prévue** compte tenu des plus récentes prévisions météorologiques, du régime et de l'altitude prévus, ou à défaut, les quantités nécessaires sans vent majorées de dix pour cent ;
- **et poursuivre** le vol au régime de croisière économique :
  - en vol VFR de jour pendant vingt minutes, excepté les U.L.M. et les aérostats,
  - en vol VFR de nuit, pendant quarante-cinq minutes, quel que soit le type d'aéronef.

Nul ne peut entreprendre un vol local au voisinage de son lieu de départ si ne sont pas embarquées les quantités de carburant nécessaires pour voler :

- en VFR de jour, pendant trente minutes ;
- en VFR de nuit, pendant quarante-cinq minutes.

Pour le VFR de nuit à destination d'un aérodrome doté d'une télécommande (PCL) : se reporter au texte propre à ce type de vol en page 410 « Emport de carburant ».

Nul ne peut poursuivre un vol au voisinage d'un site d'atterrissage approprié si ne subsistent à bord les quantités de carburant nécessaires pour voler pendant quinze minutes.

Le bilan carburant

Il y a lieu de calculer :

- le carburant utilisable nécessaire pour atteindre sa destination en tenant compte des conditions météorologiques ; cette quantité de carburant est désignée ci-dessous « consommation d'étape » ;
- la réserve réglementaire imposée par la réglementation qui est prévue pour couvrir un éventuel retard dû à des circonstances imprévues ;
- la quantité minimale en fin de vol

Calcul de la consommation d'étape

La consommation d'étape est égale au carburant nécessaire pour atteindre sa destination compte tenu du vent, ou, en l'absence de prévisions météorologiques en majorant la consommation sans vent de 10 % tout en prenant en considération la sur consommation lors de la montée, en particulier en cas de montée prolongée vers son niveau de vol de croisière.

RÈGLE PERSONNELLE

Lorsque je **prends** un avion en compte,

① je **contrôle** la quantité de **carburant utilisable** à bord,

② **j'évalue la durée** de fonctionnement du moteur avec cette quantité en fonction de la consommation horaire arrondie à la valeur supérieure,

③ à la mise en route du moteur, **je note l'heure** à laquelle le **moteur risque de s'arrêter** (heure de fin d'autonomie sans réserve).

Exemple 1 : avec du vent

Vous souhaitez vous rendre vers un aérodrome situé à 50 NM de votre aérodrome de départ, vous choisissez un niveau de vol de croisière au FL055 et votre vitesse propre à ce niveau est 120 kt mais votre vitesse sol prévue est de 100 kt.

Le manuel de vol de votre avion indique, en section « Performances » qu'il consomme 34 litres par heure de vol en croisière et que la montée au FL055 entraîne une surconsommation de 3 litres.

Le temps de vol est de 30 minutes. La consommation étape est donc égale à :

Consommation croisière :	34 L/H x 30min/60min = 17 litres
Sur consommation montée :	3 litres
Intégration à destination :	5 litres
Consommation d'étape :	25 litres

Réserve finale

Cette réserve permet de prendre en compte une attente éventuelle à destination (piste momentanément occupée, instructions du contrôle demandant d'attendre avant de débuter l'approche, etc.). Elle est forfaitaire et est égale, **de jour**, au carburant nécessaire pour voler pendant 20 minutes au régime de croisière économique, et en VFR de nuit à 45 minutes au régime de croisière économique.

Exemple 2 : Même vol mais pas de vent

Le temps de vol est cette fois de 25 minutes

Consommation croisière sans vent :	34L/H x 25min/60min = 14,2 litres
Sur consommation montée :	3 litres
Majoration de 10 % :	1,8 litres
Intégration à destination :	5 litres
Consommation d'étape :	24 litres

Attention :

On observera que pour des avions ayant des vitesses relativement faibles, la ***majoration de 10 %*** *en cas d'absence de prévisions météorologiques récentes, notamment en cas de vol avec une composante de vent défavorable sur la totalité du trajet* ***peut vite s'avérer insuffisante.***

Calcul de la réserve

La réserve doit être égale à la consommation pendant 20 minutes de vol au régime de croisière économique pour un vol VFR de jour.

Exemple : même vol que dans les exemples ci-dessus

Le manuel de vol prévoit une consommation de 25 litres en croisière économique à l'altitude d'arrivée à destination.

La réserve réglementaire minimale est donc de :

25 litres x 20min/60min
=
8,3 litres arrondis à 9 litres

Note

Pour un vol en VFR de nuit , la réserve est de 45 minutes au régime de croisière économique à laquelle il faut éventuellement ajouter le carburant nécessaire au dégagement qui peut être imposé dans certaines circonstances (cf. « LE VFR DE NUIT » en page 409).

Bilan carburant utilisable nécessaire pour le vol dans le cas de l'exemple 1 :

Consommation d'étape :	25 litres
Réserve:	9 litres
Forfait roulage / actions préliminaires :	5 litres
Total :	39 litres

Ce bilan ne prévoit pas de marge !

Carburant total à embarquer

Il y a lieu d'ajouter les **fonds de réservoirs** de votre avion à la quantité utilisable nécessaire. Notez que les fonds de réservoirs sont normalement pris en compte pour le calcul de la masse à vide de l'avion.

ATTENTION : bien que tous les manuels de vol ne le précisent pas, la quantité de carburant non utilisable (fonds de réservoirs) n'est valable que pour un vol en palier à inclinaison nulle. En montée, en descente ou lors d'un vol dissymétrique, cette quantité non utilisable peut être très supérieure en fonction de l'emplacement de la conduite du carburant à la sortie du réservoir.

Quantité minimale en fin de vol

La réglementation prévoit que vous ne devez **en aucun cas** poursuivre votre vol au voisinage d'un site d'atterrissage si ne subsistent à bord les quantités nécessaires de carburant pour voler pendant encore **15 minutes**.

Elle ne précise pas si ces quantités doivent être ajoutées à la réserve réglementaire mais nous observons qu'avec une réserve de 20 minutes en VFR de jour, nous arrivons bien vite aux 15 minutes de vol minimales ; compte tenu du fait que vous êtes susceptibles d'utiliser votre réserve en cas de retard si vous rencontrez des circonstances imprévues, il y a lieu de majorer la réserve afin d'effectuer une attente éventuelle tout en respectant les quantités minimales en fin de vol. Le non-respect des 15 minutes de vol à l'atterrissage constitue une infraction.

Cette disposition concernant la quantité minimale en fin de vol est aussi applicable si les circonstances vous obligent à effectuer une **interruption volontaire du vol**. Vous devez, par conséquent, **prendre votre décision en temps utile** afin de ne pas risquer un arrêt moteur par manque de carburant.

Conclusion

Les règles d'emport de carburant fixent donc une quantité minimale mais qui, dans certaines circonstances, peuvent ne pas garantir votre sécurité. Il vous appartient de faire une gestion carburant précise au cours du vol et de bien vérifier votre consommation réelle par rapport à celle prévue au manuel de vol.

De plus, la sagesse consiste, dans la mesure où le devis de masse vous le permet, à embarquer un **carburant supplémentaire** au moins égal au carburant nécessaire pour respecter **la réserve réglementaire plus la quantité minimale en fin de vol, voire le maximum de carburant pour respecter toutes ces règles**.

PRÉPARATION ET GESTION DE LA NAVIGATION EN VOL

PRÉPARATION DU VOL

Objectifs et organisation

Pour toute navigation que vous envisagez d'effectuer, vous devez pouvoir déterminer :

- la route la mieux adaptée à vos objectifs ;
- le temps de vol, les heures limites de départ et d'arrivée (coucher du soleil) ;
- les conditions météo que vous rencontrerez ;
- le carburant nécessaire pour le vol ;

La préparation du vol se fait en deux temps :

- une préparation à long terme ;
- une préparation à court terme, juste avant le vol, qui est une actualisation de votre préparation initiale (type d'avion disponible, météo, NOTAM, etc.).

La préparation à long terme

Choix et étude de la route

Vous avez décidé d'entreprendre un voyage. Vous allez donc effectuer une étude de celui-ci bien que vous ne connaissiez pas les conditions réelles à la date du vol.

Vous envisagerez certainement différentes hypothèses concernant la météo (par exemple, vol en niveau ou en dessous d'un plafond relativement bas), les aérodromes accessibles, l'activité des zones, etc.

Il s'agit donc, à l'aide des cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000, de repérer sur le trajet prévu :

- les zones réglementées,
- les types d'espaces aériens traversés,
- les moyens de radionavigation,
- les caractéristiques du relief,
- les aérodromes le long de votre route.

Notez les renseignements qui vous paraissent utiles, les activités des zones, les fréquences pour contacter les espaces, les heures d'ouverture des aérodromes, les heures d'avitaillement sur ceux-ci, etc.

Vous pouvez désormais tracer votre route, choisir des points de report (espacés de 10 minutes environ) en fonction des repères existants et définir une altitude de sécurité par rapport au relief.

Le journal de bord

Dans ce document appelé aussi « log de navigation », figurent les points de report, les distances, les temps sans vent, les routes magnétiques.

Vous pouvez aussi noter les fréquences de radiocommunication et de radionavigation que vous utiliserez.

Le plan de vol technique vous sera utile lors de l'actualisation de votre navigation le jour du départ et vous permettra de déterminer notamment la quantité de carburant nécessaire, si une escale pour ravitailler est nécessaire, etc.

Préparation à court terme

Étant alors en possession du dossier météorologique et des derniers NOTAM en vigueur concernant votre vol, il s'agit pour vous :

- en fonction du vent prévu de calculer votre temps estimé de vol ;
- de décider votre heure de départ limite, compte tenu de l'heure de coucher du soleil et du temps de vol ;
- de calculer la quantité de carburant à embarquer ;
- de calculer et vérifier, masses, centrages et performances ;
- de décider d'une escale technique éventuelle ;
- de déposer éventuellement un plan de vol.

Le dossier météorologique

Les documents dont vous disposez doivent vous renseigner sur la visibilité, le vent au sol, le plafond pour tous les terrains qui vous intéressent et sur l'altitude de l'isotherme 0 °C, les vents en altitudes, les phénomènes dangereux (givrage, cumulo-nimbus...) pour toute la durée de votre navigation.

Emmenez ces documents lors du vol ou conservez vos notes lorsque vous avez consulté un répondeur ou une borne télématique (Minitel par exemple).

Le carburant nécessaire

Nous avons détaillé les quantités nécessaires pour entreprendre un vol, dans les *Règles d'emport du carburant*.

Le **carburant à embarquer** comprend donc au **minimum** ces quantités décrites. Vous pouvez y ajouter une réserve supplémentaire (décision du commandant de bord) en fonction de la météo, du relief, ou des possibilités de ravitaillement.

Enfin si le calcul de masse et centrage montre que la masse maximale de votre avion est trop importante, vous devez :

- soit diminuer la charge à embarquer (bagages...) ;
- soit décider d'une escale technique en route en partant avec moins de carburant.

Lorsque vous passez travers le dernier aérodrome où il est possible de ravitailler avant la destination, estimez le carburant nécessaire pour terminer le vol. Si la quantité de carburant restant à bord est inférieure à cette estimation, posez-vous sur cet aérodrome et ravitaillez-vous en carburant.

Les procédures d'exploitation

Avant d'entreprendre votre voyage, un certain nombre de vérifications sont nécessaires. Vérifiez en particulier que votre avion possède l'équipement nécessaire (gilets de sauvetage, récepteur VOR ou un ADF adapté à la route ou un GPS de la classe A pour du VFR on TOP).

Calculez la masse et le centrage de votre avion et vérifiez que ses performances sont compatibles avec les exigences de votre navigation (notamment les distances de décollage et d'atterrissage, la pente de montée, la vitesse en croisière).

Le plan de vol

Il vous fait bénéficier du service d'alerte.

Rappelons les cas où le plan de vol est obligatoire :

- certains survols maritimes,
- le survol des régions terrestres désignées,
- le franchissement d'une frontière,
- le VFR de nuit.

NAVIGATION PRATIQUE EN VOL

Les principes de gestion de la charge de travail

Il s'agit de définir les priorités dans vos actions pendant la navigation. L'objectif principal reste bien entendu de maintenir le niveau de sécurité le plus élevé possible :

1) Trajectoire (maintien du cap et de l'altitude) ;
2) Suivi de la navigation ;
3) Gestion des systèmes (moyens radio, carburant, vérification moteur, etc.).

Ne perdons pas de vue que le circuit visuel ne doit pas être négligé en faveur de l'une de ces trois priorités. De même, la vigilance concernant l'anticollision (en particulier aux abords des aérodromes, à la verticale des balises, et d'une manière générale en tout endroit à forte concentration de trafic) doit être maintenue dans toutes les phases du vol.

Ne vous laissez pas déborder par la charge de travail. Votre instructeur vous montrera comment anticiper les différentes actions, comme par exemple la prise de l'information météorologique à destination, qui vous permettra de décider de l'accessibilité d'un aérodrome.

Les processus qui conduisent à la saturation due à la surcharge de travail sont décrits dans les chapitres relatifs aux performances humaines.

Exemple d'organisation des différentes phases du vol

La description suivante ne traite que des aspects de l'organisation liés à la navigation. Nous n'abordons pas ici ceux qui touchent au pilotage, aux performances, etc.

Au départ

Le briefing départ, juste avant le décollage, vous permet de vous rappeler les points essentiels du début de la navigation. Par exemple, le briefing peut contenir les éléments suivants :

- QFU de décollage ;
- 1er cap et 1re altitude (vérifier l'altitude de sécurité) ;
- estimée du premier point de report ;
- procédure en cas de problème au décollage.

Il est important de bien commencer une navigation… **en notant l'heure de décollage**. Cela vous permettra de connaître l'heure estimée du passage au premier point de report.

PRÉPARATION DU VOL

PRÉPARATION A LONG TERME

- Itinéraire sur carte 1/500 000 et/ou 1 000 000
- Régions survolées : équipement
- Plan de vol
- Aérodrome de départ (infrastructure, obstacles, activité particulière)
- Trajectoire de départ
- Trajectoire en route directe / indirecte
- Trajectoire d'arrivée
- Aérodrome d'arrivée (infrastructure, obstacles, activité particulière)
- Zones
- Chargement (passagers, fret)
- Carburant nécessaire
- Log de navigation
- Prévision météo à long terme

LE VOYAGE SEMBLE POSSIBLE A LA DATE PRÉVUE

LE PILOTE

- Identité
- Licence et qualifications à jour
- Conditions particulières pour l'emport des passagers
- Carnet de vol
- Certificat médical

ÉQUIPEMENT DU PILOTE

- Cartes 1/500 000 et 1/1 000 000
- Règle
- Rapporteur
- Cartes d'aérodrome
- Log de navigation
- Planchette de vol
- Sacoche de vol
- Lunettes / lunettes de soleil
- Moyens de paiement

LES DOCUMENTS DE VOL

- Carnet de route
- Certificat de navigabilité CDN
- Certificat d'immatriculation
- Licence de station d'aéronef
- Certificat de limitation de nuisances
- Fiche de pesée
- Manuel de vol

LA MÉTÉO

- Obligation du CDB avant le vol
- Station météorologique
- Répondeur automatique
- Choix du trajet direct ou indirect

➥ modification de l'heure de départ
➥ annulation du vol

LE FRET

- Volume
- Poids
- Arrimage
- Centrage
- Réglementation sur l'emport de matières dangereuses…

LES PASSAGERS

- Âge – Conditions spéciales de transport des enfants
- Santé
- Confort des passagers

LE BUREAU DE PISTE

- NOTAM
- Dépôt du plan de vol (respect des obligations et délai)

➥ modification de la route
➥ annulation du vol

LE CARBURANT

- Carburant à emporter

CHARGEMENT / centrage

- Voir le manuel de vol de votre avion

L'EMBARQUEMENT

- Répartition des personnes
- Confort
- Enfants

L'AVION

- Sortir l'avion ou le détacher
- Purge des réservoirs
- Dégivrer l'avion
- Visite prévol
- Répartition des charges
- Équipement de bord (survie, cale, corde)
- Ravitaillement (essence huile)

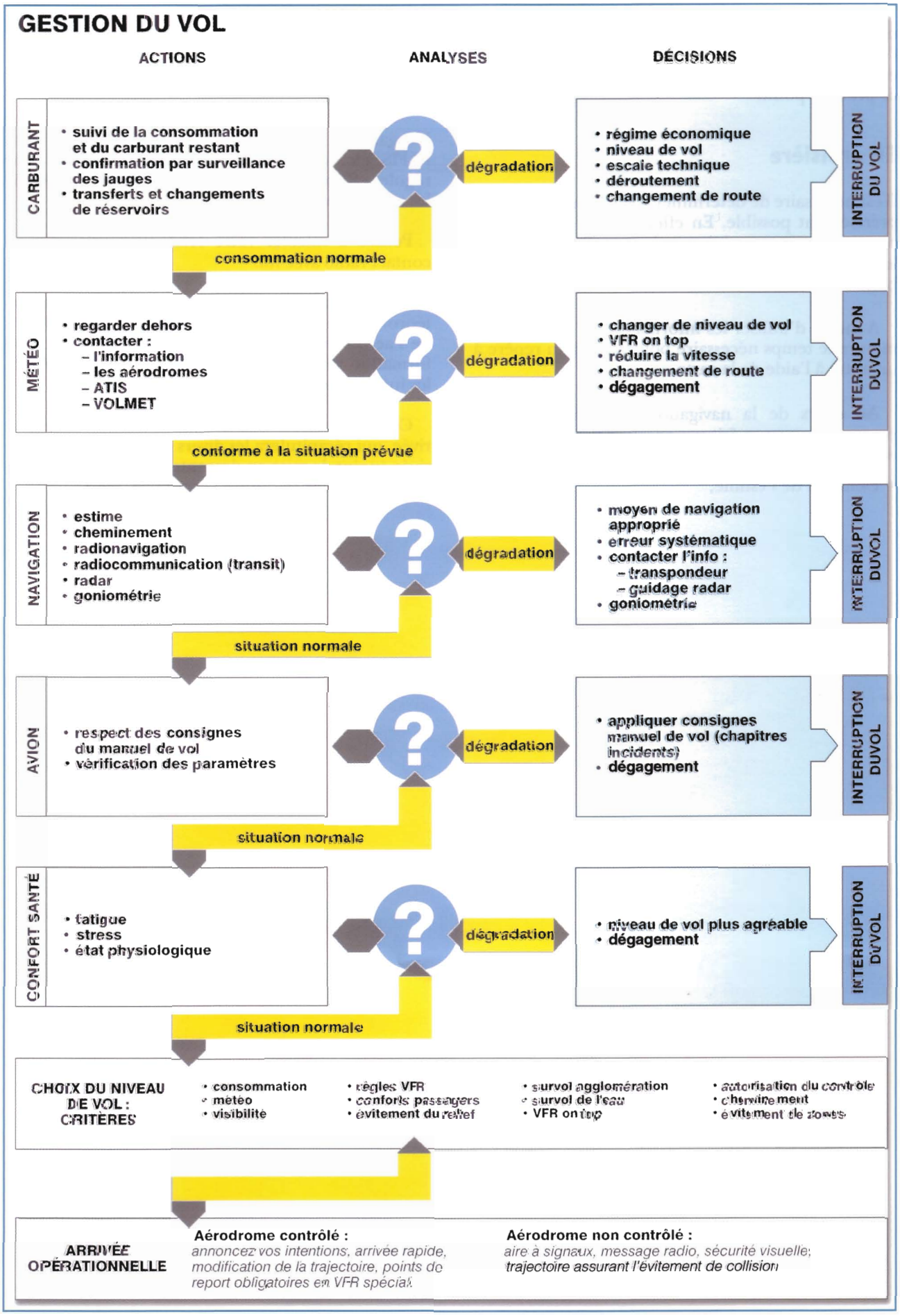
➥ annulation du vol

PERFORMANCES

- Infrastructure
- Conditions météo
- Voir le manuel de vol

➥ escale technique
➥ diminuer le chargement
➥ changer l'heure
➥ annulation du vol

GESTION DU VOL


GESTION DU VOL
ACTIONS
ANALYSES
DÉCISIONS
CARBURANT
• suivi de la consommation et du carburant restant
• confirmation par surveillance des jauges
• transferts et changements de réservoirs
dégradation
• régime économique
• niveau de vol
• escale technique
• déroutement
• changement de route
INTERRUPTION DU VOL
consommation normale
MÉTÉO
• regarder dehors
• contacter :
– l'information
– les aérodromes
– ATIS
– VOLMET
dégradation
• changer de niveau de vol
• VFR on top
• réduire la vitesse
• changement de route
• dégagement
INTERRUPTION DUVOL
conforme à la situation prévue
NAVIGATION
• estime
• cheminement
• radionavigation
• radiocommunication (transit)
• radar
• goniométrie
dégradation
• moyen de navigation approprié
• erreur systématique
• contacter l'info :
– transpondeur
– guidage radar
• goniométrie
INTERRUPTION DUVOL
situation normale
AVION
• respect des consignes du manuel de vol
• vérification des paramètres
dégradation
• appliquer consignes manuel de vol (chapitres incidents)
• dégagement
INTERRUPTION DUVOL
situation normale
CONFORT SANTÉ
• fatigue
• stress
• état physiologique
dégradation
• niveau de vol plus agréable
• dégagement
INTERRUPTION DUVOL
situation normale
CHOIX DU NIVEAU DE VOL : CRITÈRES
• consommation
• météo
• visibilité
• règles VFR
• confort passagers
• évitement du relief
• survol agglomération
• survol de l'eau
• VFR on top
• autorisation du contrôle
• cheminement
• évitement de zones
ARRIVÉE OPÉRATIONNELLE
Aérodrome contrôlé :
annoncez vos intentions, arrivée rapide, modification de la trajectoire, points de report obligatoires en VFR spécial
Aérodrome non contrôlé :
aire à signaux, message radio, sécurité visuelle; trajectoire assurant l'évitement de collision

Lorsqu'il est possible de choisir un point de report très facilement identifiable dès le décollage, on note l'heure de passage à ce point et on calcule les heures estimées de passages aux points suivants à partir de ce premier point.

En croisière

Il est nécessaire de déterminer votre vitesse sol le plus précisément possible. En effet, celle-ci conditionne vos estimées et votre bilan carburant. Rappelons que le principe de navigation à l'estime est basé sur une bonne connaissance de la vitesse sol.

A moins d'utiliser les informations d'un DME, on mesure le temps nécessaire pour aller d'un repère à un autre à l'aide de la carte.

Au cours de la navigation, l'identification des points de report se fait par recoupement d'informations de sources différentes :

- éléments de l'estime,
- lecture carte,
- moyens de radionavigation.

A l'arrivée

L'organisme de la circulation aérienne (la tour, l'AFIS, etc.) a besoin de connaître votre HEA, pour réguler efficacement les approches, ou pour prévenir les autres usagers de votre arrivée.

Pensez à calculer votre HEA avant d'entrer en contact radio avec lui.

Vous devez disposer aussi d'une information météorologique récente pour déterminer l'accessibilité de l'aérodrome de destination. Divers moyens d'information sont à votre disposition : le bulletin ATIS, les informations de l'organisme de la CA.

Comme au départ, vous effectuerez un briefing arrivée, qui récapitulera les divers éléments de votre arrivée (point de mise en descente, vers quelle altitude, trajectoire pour rejoindre l'approche, etc.)

APPLICATION PRATIQUE DU DOSSIER DE VOL

Dossier de vol et METAR

Voici un exemple de l'exploitation pratique qu'on peut faire d'un dossier météo. Examinons les éléments du dossier, TEMSI (fig. 462) et METAR correspondant à la situation du 31 septembre 2007.

Les observations des METAR ont été effectuées dans des stations météorologiques fictives situées sur 3 axes coupant la perturbation visible sur la carte.

Ces stations sont placées aux points A, B, C, D, E des axes XX', YY', et ZZ' et ont pour indicatifs :

- XXAA pour la station A de l'axe XX',
- YYCC pour la station C de l'axe YY'.

En fonction des informations du dossier, il est possible de représenter le temps, suivant les trois coupes XX', YY', ZZ'. Comparez les METAR aux coupes et aux informations de la carte TEMSI :

Coupe XX', METAR

XXAA 03 0300Z 24006KT 9999 SCT020 M03/M04 Q1003
XXBB 03 0300Z 28008KT 5000 SN SCT004 OVC015 M02/M02 Q992
XXCC 03 0300Z 34012KT 9999 SCT020 BKN036 M04/M07 Q994
XXDD 03 0300Z 34014KT 9999 TS SCT010CB SCT020TCU M05/M07 Q990

Cette coupe représente l'occlusion et, à l'arrière de celle-ci, la traîne. L'isotherme 0 °C est au sol (températures négatives). Les précipitations sont sous forme de neige et de pluie se congelant. Ces précipitations sont continues lorsqu'elles sont associées aux nuages en couche de l'occlusion, et sous forme d'averses dans les nuages cumuliformes de la traîne. On trouve aussi dans cette traîne des orages isolés.

Coupe YY', METAR

YYAA 310300Z 26004KT 9999 SCT026 M02/M05 Q1009
YYBB 310300Z 26008KT 7000 FZRA SCT005 OVC090 M02/M03 Q1005
YYCC 310300Z 30008KT 4000 RA BKN005 OVC020 01/00 Q1000
YYDD 310300Z 36010KT 8000 RA SCT006 SCT023 BKN090 M00/M01 Q999
YYEE 310300Z 36012KT 9999 BKN030 SCT043 M03/M05 Q995

Cette coupe se situe près du point triple de la perturbation donc dans une partie active. En allant de Y' vers Y, nous trouvons le front chaud, le secteur chaud, le front froid, la traîne. L'isotherme 0 °C est au sol, sauf dans le secteur chaud où elle s'élève vers 1 500 ft. Les précipitations y sont sous forme de pluie et ailleurs sous forme de neige ou de pluie se congelant.

Coupe ZZ', METAR

ZZAA 03 0300Z 24008KT 9999 SCT020 SCT100 BKN250 03/02 Q1015
ZZBB 03 0300Z 24006KT 6000 DZ SCT006 BKN020 04/02 Q1012
ZZCC 03 0300Z 28010KT 6000 RA SCT008 OVC020 04/02 Q1003
ZZDD 03 0300Z 36012KT 9999 SHRA BKN020TCU BKN040 02/02 Q1004

La coupe à travers la perturbation, loin du point triple montre :

- un front chaud peu actif ne donnant pas de précipitations ;
- un secteur chaud couvert par des nuages bas donnant de la bruine ;
- un front froid qui subit une ondulation qui aggrave les conditions. L'ondulation est bien visible sur la TEMSI. Elle est vraisemblablement due au creusement d'une dépression sur le front froid.

Dossier de vol et TAF

Reprenons la carte TEMSI et les coupes XX', YY', et ZZ'. Examinons à l'aide du TAF les prévisions effectuées en une station de chacun des trois axes. Le TAF étant valable de 06 à 15 UTC, la perturbation s'est déjà déplacée vers l'est-sud-est d'environ 80 nautiques par rapport à la situation de la carte TEMSI de 0300 UTC.

Coupe XX', TAF

XXAA 310500Z 3106/3115 26008KT 4000SN BKN006 OVC020 BECMG 3109/3111
34012KT 9999 BKN026 BKN033 TEMPO 3113/3115 SHRA SCT010CB BKN020TCU

Cette station verra passer l'occlusion vers 0900 UTC. Elle avance vers l'est-sud-est à 30 kt. L'aggravation due à l'occlusion touchera la station dès 0600 UTC et les conditions s'amélioreront vers 1100 UTC, heure vers laquelle la traîne s'y établira. Dans cette traîne pourront apparaître des averses.

Coupe YY', TAF

YYAA 310500Z 3106/3115 26008KT 7000 SN SCT006 OVC090 BECMG 3106/3109
+SN BKN005 OVC023 OVC090 BECMG 3109/3111 RA BKN006 OVC020 OVC090 TEMPO
3113/3115 32012KT 3000 +RA OVC006 OVC020 OVC090.

La première ligne décrit les conditions médiocres à 0600 UTC sous le front chaud. La deuxième ligne indique l'aggravation progressive due à l'approche du front chaud qui doit passer à 0900 UTC. La visibilité diminuera, les précipitations deviendront continues, le plafond s'abaissera.

Le secteur chaud arrivera vers 1000 UTC, la neige se transformant en pluie. Les conditions s'aggraveront de nouveau après 1300 UTC avec le passage du front froid.

Coupe ZZ', TAF

ZZBB 310500Z 3106/3115 24006KT 6000 DZ SCT006 BKN020 BECMG 3109/3111 RA SCT008 OVC020 OVC090 TEMPO 3112/3115 RASN BKN008 OVC020 OVC090.

De 06 à 09 heures UTC les conditions sont celles du secteur chaud. Ensuite les prévisions se dégraderont à cause de l'ondulation du front froid. Elles pourront temporairement être fort mauvaises avec une baisse du plafond.

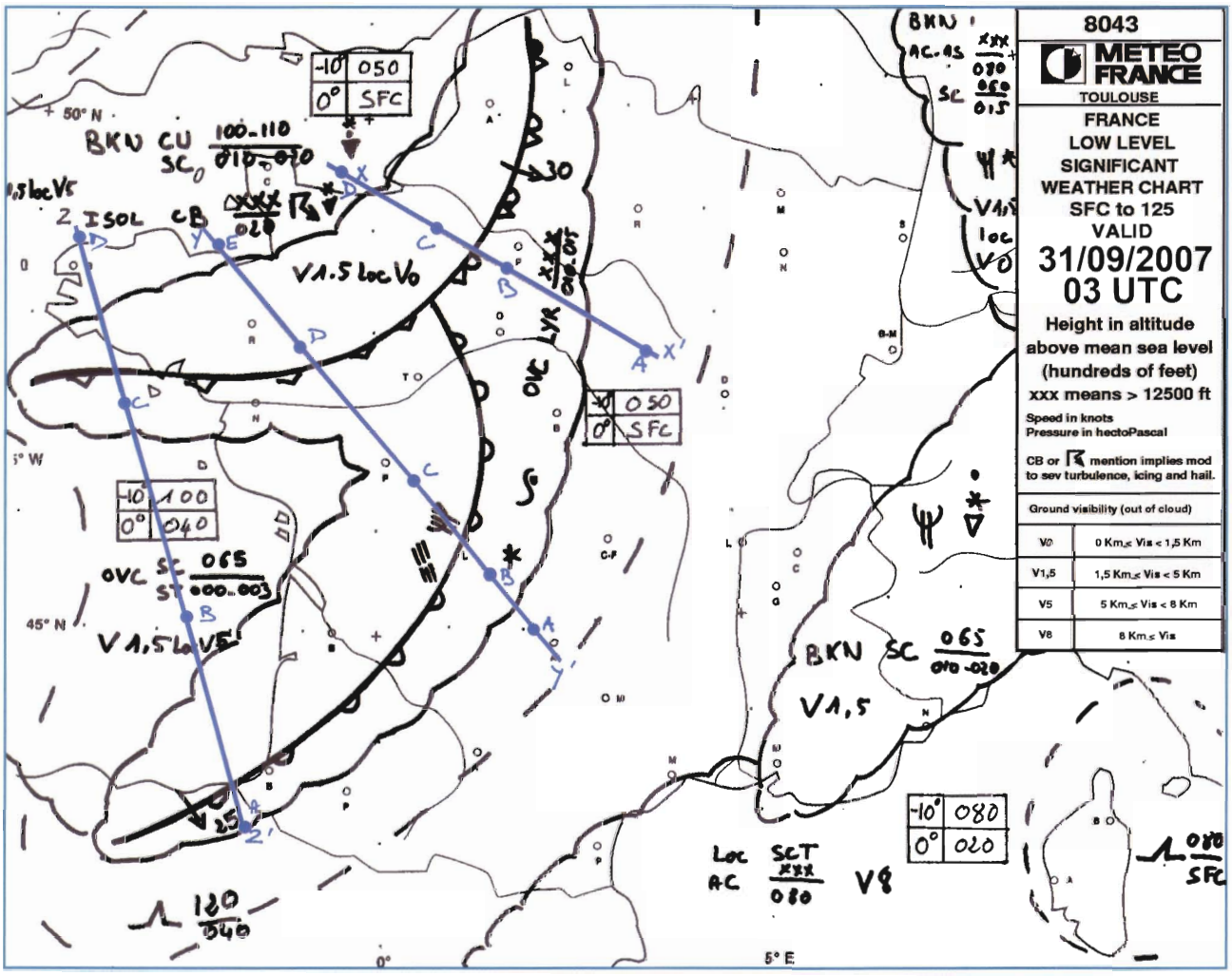


Fig. 462

MÉTÉOROLOGIES LOCALES

LA MÉTÉOROLOGIE DE MONTAGNE

Action du relief sur le vent

Lorsqu'un vent de force croissante avec l'altitude, souffle perpendiculairement à un relief, l'air est soulevé, créant une zone d'ascendance.

Il redescend sous le vent du relief qui est alors le siège de **rabattants**. (fig. 463). Le flux descendant, à cause du frottement le long du relief, est souvent le siège de tourbillons à axe horizontal d'une épaisseur de quelques centaines de pieds.

Ces rabattants sont très dangereux car à proximité du sol, ils peuvent plaquer l'avion contre la paroi du relief.

D'une vallée à l'autre, le vent peut être très variable : fort pour une vallée dans le lit du vent, faible pour une vallée perpendiculaire au vent.

L'onde de ressaut

Pour le pilote non averti, ce phénomène peut représenter un réel danger du fait de très fortes descendances, de la turbulence dite turbulence orographique et des variations du vent au sol qui lui sont associées.

Un vent égal ou supérieur à une vingtaine de nœuds et sensiblement perpendiculaire à une ligne de crête, une bordure de plateau ou une vallée encaissée peut déclencher un **système ondulatoire**.

Dans un système ondulatoire, la masse d'air est divisée en deux tranches bien distinctes :

- une tranche supérieure appelée couche ondulatoire. Dans cette couche, l'écoulement de l'air est laminaire : les particules d'air ont des trajectoires régulières et parallèles entre elles. La distance séparant deux ondulations s'appelle la **longueur d'onde**. Elle peut mesurer de 3 à 15 km selon la force du vent et la température de l'air. La hauteur entre le creux et le sommet du mouvement ondulatoire s'appelle **l'amplitude**. Une grande amplitude engendre des ascendances et des descendances parfois supérieures à 2 000 pieds/minute ;
- une tranche inférieure appelée couche sous-ondulatoire turbulente ; son épaisseur peut varier de quelques mètres à plusieurs kilomètres, l'air y est très turbulent et on y trouve les rotors, petits tourbillons d'un diamètre de quelques centaines de mètres sièges de fortes turbulences également. Par ailleurs, près du sol, à l'aplomb de ces

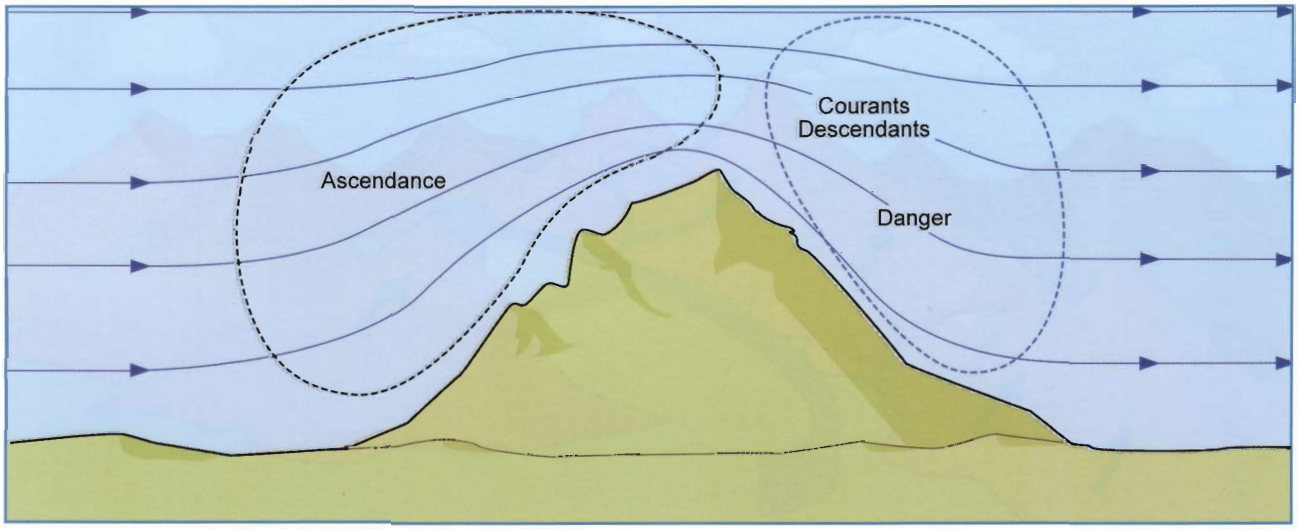


Fig. 463 – *La zone de courants descendants sous le vent du relief est dangereuse.*

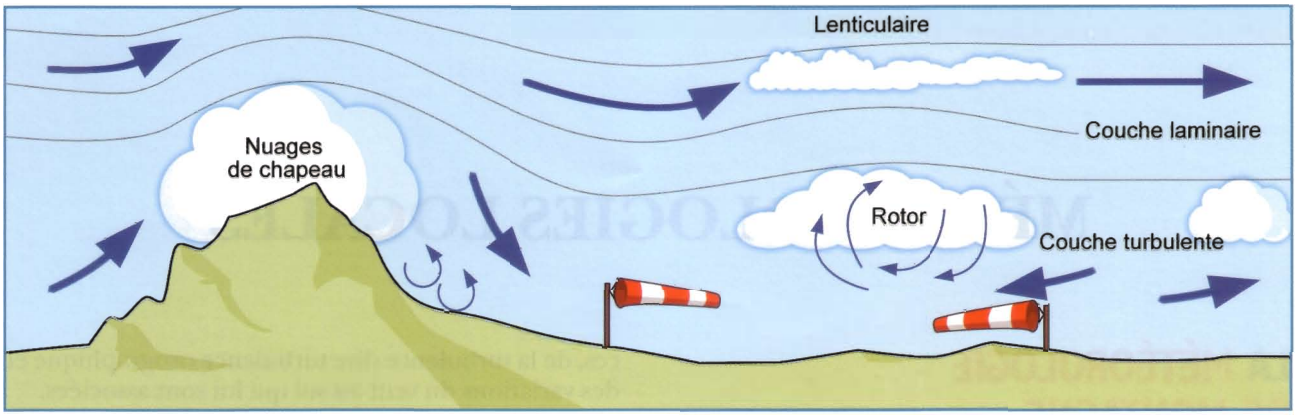


Fig. 464 – *Système ondulatoire.*

rotors des vents inverses au sens du vent en altitude (courants de retour) peuvent rendre l'atterrissage dangereux.

Comme les mouvements d'origine thermique, les ascendances dynamiques sont invisibles. Mais si l'humidité de la masse d'air est suffisante, une situation nuageuse caractéristique se développe dans le système ondulatoire.

Le relief générateur de l'onde peut être coiffé d'un nuage dit « de chapeau » du genre strato-cumulus ou altostratus.

Dans l'écoulement sous-ondulatoire se développent des nuages en forme de rouleaux plus ou moins développés et matérialisant des ressauts successifs. Ce sont des cumulus ou des strato-cumulus que l'on appelle aussi « **nuages de rotor** ». Ces nuages sont le siège de fortes turbulences.

Dans l'écoulement ondulatoire, étagé sur plusieurs niveaux, des nuages de types altocumulus et cirro-cumulus (ou altostratus et cirro-stratus en atmosphère stable) appelés **lenticulaires** à cause de leur forme de lentille, matérialisent également les ressauts successifs (fig. 464).

L'action du soleil : les brises de pente et de vallée

La montagne est un endroit privilégié pour le déclenchement des ascendances thermiques.

De jour, les versants exposés au soleil s'échauffent beaucoup plus vite que le fond de la vallée. Il se crée un courant ascendant généralisé le long des pentes éclairées, c'est la « **brise de pente montante** ». La dépression thermique ainsi créée sur les montagnes aspire l'air frais des vallées de montagne.

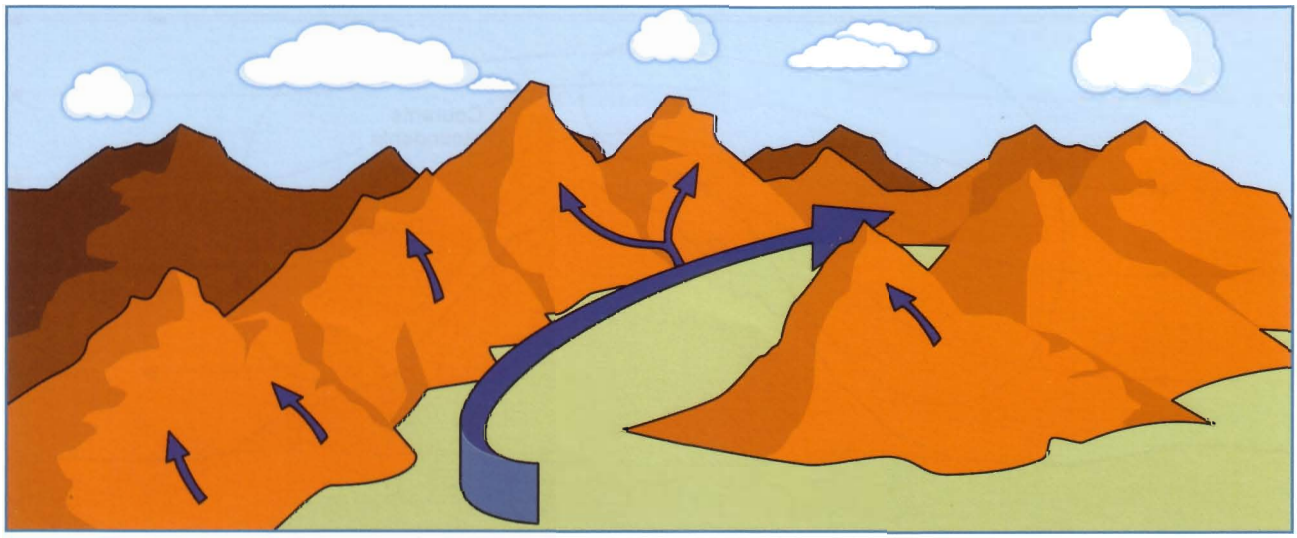


Fig. 465 – *Brise de vallée montante.*

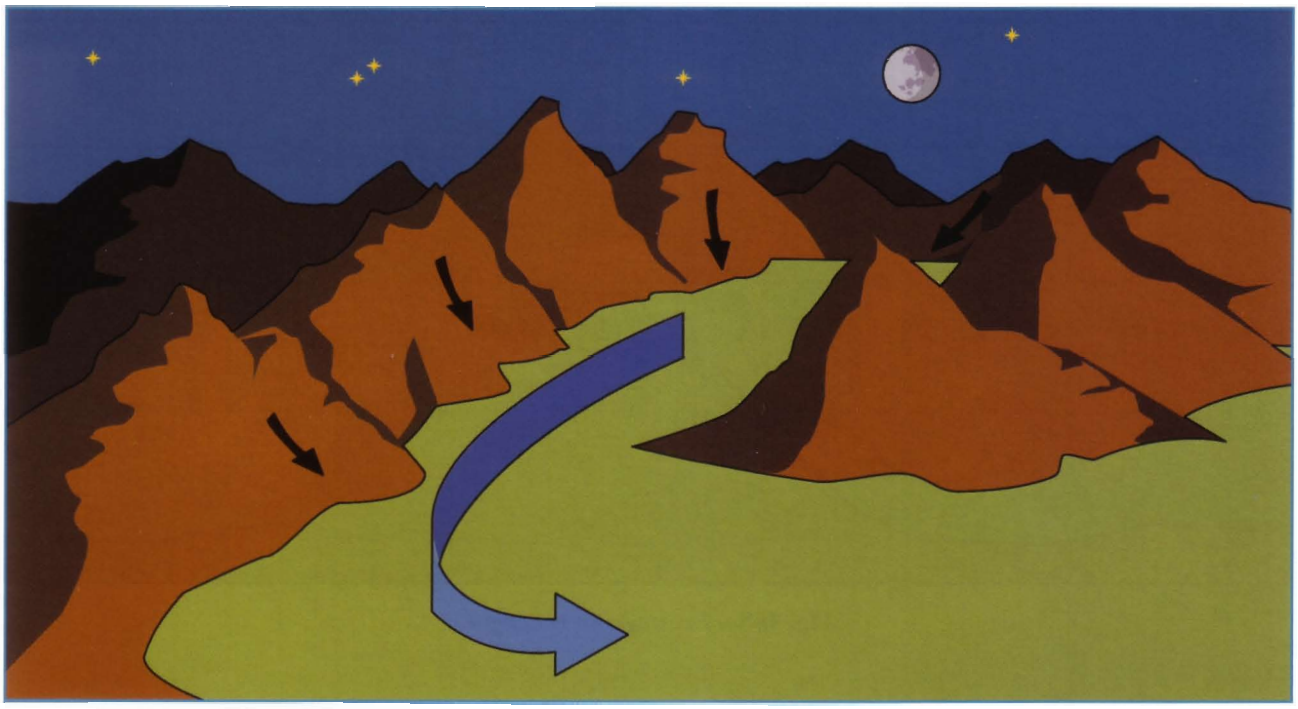


Fig. 466 – *Brise de vallée descendante.*

En se généralisant, le phénomène attire d'énormes masses d'air en provenance des alentours du massif montagneux, dénommées « **brise de vallée montante** » (fig. 465).

A la tombée de la nuit, le phénomène est inversé : les pentes élevées se refroidissent par rayonnement plus vite que le fond de la vallée. L'air froid s'écoule par gravité le long des pentes **(brise de pente descendante)**. Ce courant descendant généralisé amène de l'air refroidi dans la vallée et poursuit son mouvement en direction de la plaine. La brise de vallée descendante s'établit (fig. 466).

Ces brises de vallée peuvent atteindre 20 kt. Il arrive ainsi, en montagne, que le vent au sol soit en direction et en vitesse, nettement différent du vent en altitude.

Les stratus et le relief

Nous savons qu'une masse d'air humide, soulevée par le relief, se refroidit et se sature : il y a alors formation de **brouillard de pente**. Les sommets sont pris dans les nuages. Des stratus annoncent la présence de ce phénomène.

Il est dangereux de passer sous ces stratus. Quelques collines peuvent créer cette situation (fig. 467).

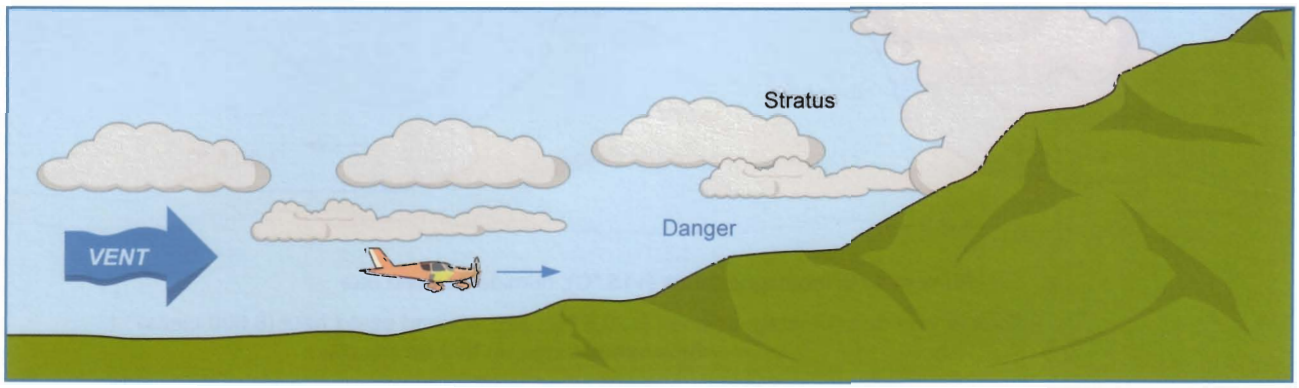


Fig. 467 – *Danger : le stratus accroche le relief.*

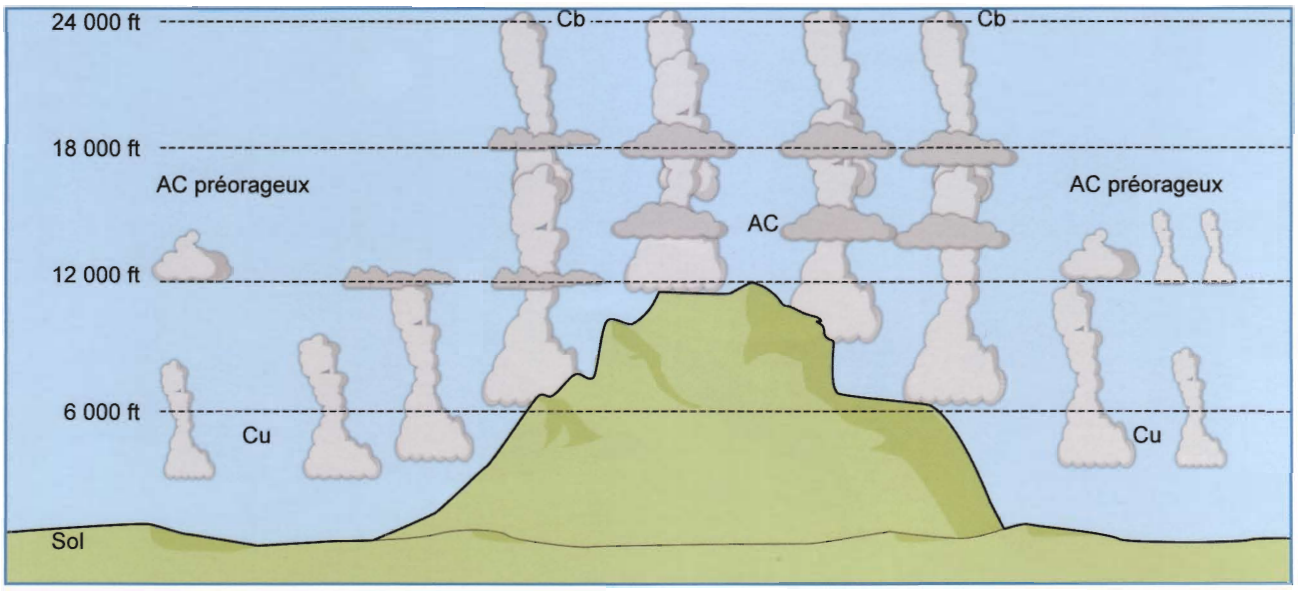


Fig. 468 – *Les orages en montagne.*

Les orages

Le relief peut :

- soit créer des Cb ou des orages qui n'auraient pas lieu en plaine,
- soit en augmenter la dureté et la violence (plafond, précipitations, volume).

Nous savons, en effet, qu'un soulèvement (ici par le relief) peut saturer certaines couches d'air et, de ce fait, les rendre instables. Souvent, des nuages préorageux en plaine (altocumulus présentant des bourgeonnements, des éléments en forme de tour), annoncent des orages en montagne (fig. 468).

Lors d'un vol par temps orageux, il faut donc éviter les massifs. En effet, le contournement du Cb en montagne peut poser des difficultés liées au relief.

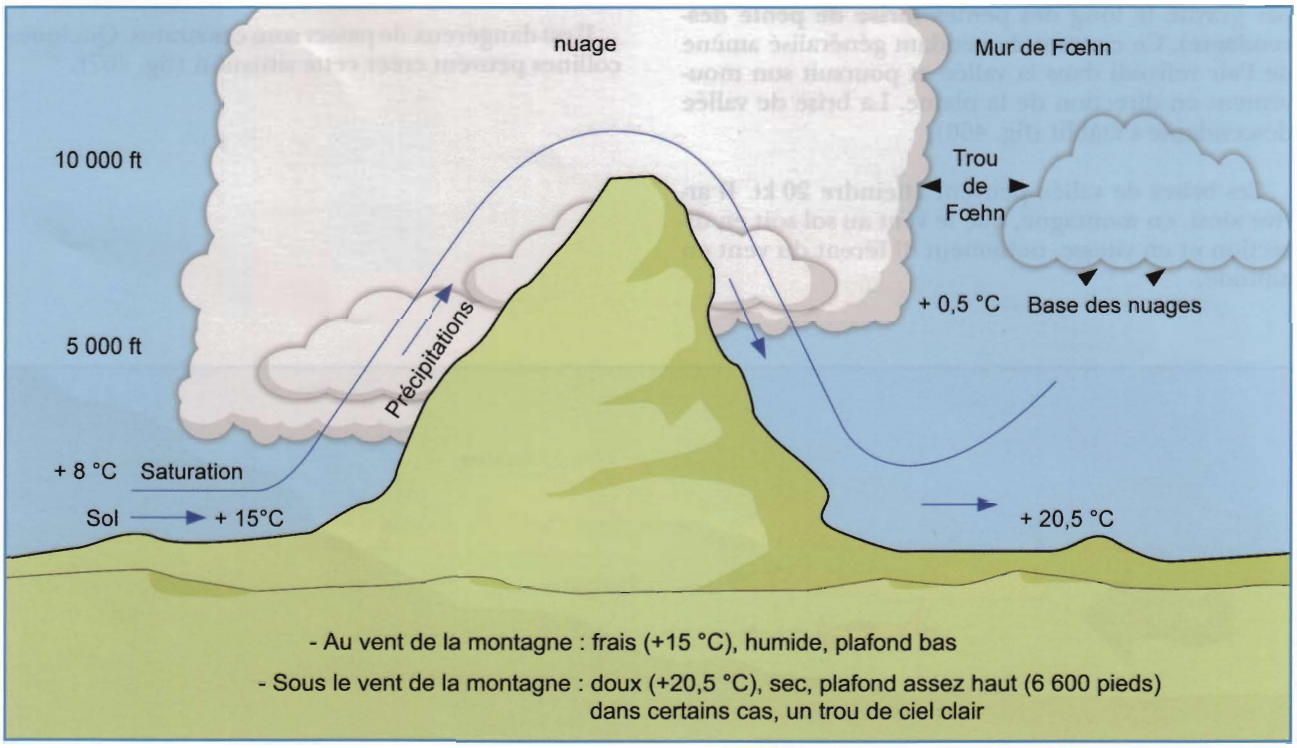


Fig. 469 – *Effet de fœhn.*

La turbulence

Sous le vent de la montagne le vent est turbulent. Cette zone est le siège de rabattants particulièrement inconfortables et pouvant être dangereux à cause des risques de perte d'altitude. Il faut donc choisir un niveau de vol suffisamment élevé pour éviter ou limiter ces inconvénients.

L'effet de fœhn

C'est un phénomène spécifique aux régions de montagne qui explique le temps privilégié de certaines régions (Languedoc, Roussillon, Alpes du Sud, Alsace) et le temps humide d'autres régions (Limousin, Vosges, Morvan).

Pour comprendre ce phénomène, étudions le franchissement d'un obstacle par de l'air humide.

La particule est non saturée. Sa température est + 15 °C. Elle contient 7,3 g de vapeur d'eau par kg d'air sec. Cette particule est soulevée par le relief jusqu'à 10 000 ft. Elle subit donc une détente. Dans un premier temps elle va se refroidir de 3 ° par 1 000 ft. A 2 800 ft, la particule a une température de 8 ° et, à cette température, 7,3 g de vapeur d'eau par kg d'air sec (7,3 g/kg) sont saturants. Un nuage se forme. Le soulèvement va entraîner ensuite la transformation d'une certaine quantité de vapeur d'eau en liquide et un refroidissement de 1,7 °C par 1 000 ft. Au sommet de la montagne, à 10 000 ft, la particule a les caractéristiques suivantes : température – 6 °C ; 3,6 g/kg d'eau sous forme de vapeur ; 3,7 g/kg d'eau liquide sous forme de nuages et de précipitations.

Une partie de l'eau liquide est évacuée sous forme de précipitations (soit 2,3 g/kg). La particule qui redescend contient 5 g/kg d'eau (liquide ou vapeur). En descendant, il y a compression, donc réchauffement. A 6 600 ft toute l'eau liquide s'est vaporisée. C'est la base du nuage. La température est de + 0,5 °C. A partir de ce moment, le réchauffement va être de 3 °C par 1 000 ft, la température au sol est de 20,5 °C (fig. 469).

Le passage du relief assèche et réchauffe la masse d'air : c'est l'effet de fœhn. La photo (fig. 470) nous montre un trou de fœhn vu par dessus.

Ce phénomène est provoqué par toutes les montagnes (Alpes, Massif Central...). Un relief même faible provoque cet effet. Par exemple le massif des Vosges protège fréquemment la plaine d'Alsace par l'effet de fœhn (vents d'ouest dominants)

Retenons que :

- l'activité d'une perturbation arrivant sur les flancs d'un relief, même peu abrupt, est renforcée ;
- après le passage du relief, sous le vent de la montagne, l'activité de la perturbation est très atténuée et les conditions s'améliorent nettement.

Fig. 470 – *Trou de fœhn vu par dessus.*

LA MÉTÉOROLOGIE CÔTIÈRE

Brises de mer et de terre

Les brises de terre et de mer sont dues, pour l'essentiel, à des conditions thermiques de surface : c'est la différence d'échauffement entre la terre et la mer qui génère le phénomène.

Ces brises s'établissent lorsque les mécanismes de rayonnement thermique peuvent jouer efficacement. Les conditions météorologiques d'établissement sont donc :

- sols continentaux secs ;
- ciel clair à peu nuageux ;
- situation générale calme (champ de pression peu contrasté).

La brise de mer

C'est un vent local dirigé **de la mer vers la terre**. Il apparaît **le jour** et atteint son intensité maximum pendant l'après-midi.

Pendant la journée, le sol continental s'échauffe plus rapidement que la mer. Le contraste thermique crée un mouvement de convection et un courant allant de la mer vers la terre (fig. 471).

C'est un vent de dix à quinze nœuds, pratiquement perpendiculaire à la côte. En cas de formation

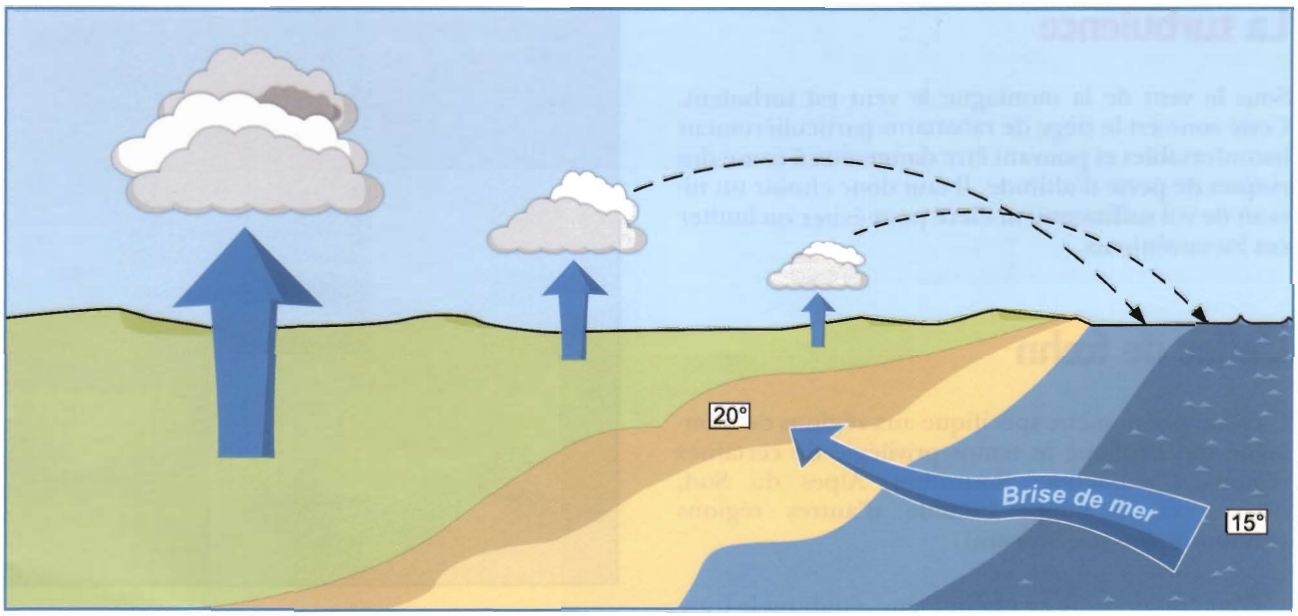


Fig. 471 – *La brise de mer.*

de banc de brouillard en mer, il peut pousser ceux-ci vers les côtes diminuant brusquement la visibilité.

La brise de terre

C'est un vent local dirigé de **la terre vers la mer**. Il apparaît la nuit.

C'est le processus inverse : la nuit, le sol continental se refroidit plus vite que la mer, son rayonnement thermique étant plus important, l'air froid s'écoule par gravité vers la mer (fig. 472).

Sa vitesse est de 5 à 10 nœuds, il est pratiquement perpendiculaire à la côte.

Les brouillards côtiers

On peut les assimiler à des brouillards d'advection. Ils ont lieu en **hiver** quand le vent faible (5 kt) vient de la mer :

- Languedoc-Roussillon vent de SE,
- Aquitaine vent de W,
- Manche vent de NW.

Fig. 472 – *La brise de terre.*

Ce vent amène de l'air doux et humide sur un sol froid. L'air refroidi atteint la saturation, il y a condensation : le brouillard se forme le long de la côte et peut envahir jusqu'à 100 km l'intérieur des terres.

Le brouillard ou les stratus recouvrent alors des zones étendues (de Perpignan à Montpellier par exemple) et y persistent souvent toute une journée. Leur dissipation est liée à un changement de vent (direction ou force).

La formation de ce brouillard (à l'opposé du brouillard de rayonnement) peut survenir à tout moment de la journée et peut donc surprendre par sa soudaineté.

Un autre phénomène côtier est dû à la brise de mer. Elle peut entraîner vers la terre des plaques de brouillard dense formées au-dessus de la mer. Ce phénomène n'est pas rare et a lieu plutôt en été, une fois la brise de mer établie en milieu de journée. Le brouillard s'étend jusqu'à une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres où il se transforme en brume, stratus, puis cumulus. La dissipation est due au changement de régime de vent (donc souvent le soir lorsque la brise de terre s'établit).

Ces brouillards surprennent souvent par leur soudaineté, donc il convient d'être très méfiant. Ces situations sont fréquentes sur la Manche, les Landes et le sud de la Bretagne.

UNITÉ D'INSTRUCTION V.3
LES CAS PARTICULIERS DU VFR

LE « VFR SPÉCIAL »

Dans un espace aérien contrôlé de classe B, C, D et E, les conditions météorologiques de vol à vue (VMC) sont les suivantes :

- une visibilité en vol de 5 kilomètres (en dessous de 10 000 pieds ou le FL 100) ;
- une distance par rapport aux nuages de :
  - 300 mètres verticalement ;
  - 1 500 mètres horizontalement.

Les vols VFR peuvent obtenir des **dérogations dites de « VFR SPÉCIAL »** pour voler à l'intérieur des zones de contrôle (CTR) dans des conditions météorologiques de vol à vue inférieures à ces valeurs. Dans ces conditions et quelle que soit la classe d'espace de la CTR, un vol VFR doit donc obtenir une clairance avant de pénétrer dans une CTR.

Cette clairance est délivrée par la tour de contrôle (TWR) ou par le centre de contrôle d'approche (APP) dans les conditions suivantes :

- elle est délivrée pour pouvoir pénétrer ou évoluer dans la circulation d'aérodrome d'un aérodrome contrôlé situé dans une CTR lorsque les paramètres communiqués font état d'une **visibilité au sol inférieure à 5 km** ou d'un **plafond inférieur à 450 mètres (1 500 pieds)**. C'est donc le contrôleur qui juge si, dans la circulation d'aérodrome, le VFR spécial est en vigueur ou pas ;
- elle est également délivrée sur demande d'un commandant de bord qui doit pénétrer ou évoluer dans une CTR lorsqu'il estime que les conditions VMC rappelées ci-dessus ne sont pas réunies ou ne vont plus l'être. Dans ce cas, c'est donc le pilote qui intervient ; il est alors conseillé de préciser au contrôleur les conditions météorologiques rencontrées qui justifient sa demande car ce dernier peut très bien avoir des conditions, sur l'aérodrome, ne justifiant pas la délivrance d'une clairance VFR spécial.

Les vols VFR spécial sont séparés des vols IFR et bénéficient d'une information de trafic entre VFR spécial.

Une clairance VFR spécial peut être délivrée sous réserve du respect d'une visibilité minimale de :

- 1 500 mètres ou distance parcourue en 30 secondes de vol *(mêmes conditions que sous les surfaces 3 000 ft AMSL ou 1000 ft ASFC (la plus élevée des deux) en espace de classe G* ;
- valeur publiée dans les consignes particulières de l'aérodrome *(rubrique « VFR Spécial »)* ; cette valeur doit permettre de naviguer d'une façon sûre sur les itinéraires sur lesquels la navigation ne peut se faire qu'à l'estime ; elle est donc fonction de la distance entre repères.

La clairance VFR Spécial peut comporter l'obligation de suivre un itinéraire publié sur les cartes d'approche à vue. Lorsqu'un pilote a reçu une telle clairance, il doit s'assurer :

- que la visibilité en vol rencontrée n'est pas inférieure au minimum requis ;
- que la base des nuages permet de respecter les contraintes de niveau éventuellement prescrit sur l'itinéraire. En l'absence de niveau minimal prescrit, c'est le niveau minimal prévu pour les vols VFR qui est applicable.

LE VFR « ON TOP »

Par « on top », qui veut dire en anglais « sur le dessus », on désigne le vol VFR qui s'effectue au-dessus d'une couche nuageuse.

La particularité de ce type de vol est de ne plus avoir la vue du sol, bien que les conditions météorologiques de vol à vue soient réunies. La pratique du VFR « on top » exige donc de pouvoir se guider sans repère au sol, et c'est pourquoi **l'avion doit être équipé d'un moyen de radionavigation (un récepteur VOR ou ADF adapté à la route ou d'un GPS de classe A, B ou C) et d'un moyen de radiocommunication (VHF)**.

Le VFR « on top » n'est possible qu'au-dessus de la surface « S ».

Outre ces exigences, il est capital que vous vous assuriez de pouvoir atteindre votre niveau de croisière

et rejoindre votre destination sans traverser la couche nuageuse.

La préparation d'un vol VFR on top passe donc par l'étude minutieuse de la météorologie, afin d'avoir une bonne idée de l'état de la couche nuageuse tout au long de votre voyage et notamment à l'arrivée. Une fois en vol, le service d'information de vol vous fournira d'utiles renseignements sur la météo de votre destination.

Définition du plafond : hauteur au-dessus du sol ou de l'eau de la plus basse couche de nuage qui au-dessous de 6 000 mètres (20 000 pieds) couvre plus de la moitié du ciel.

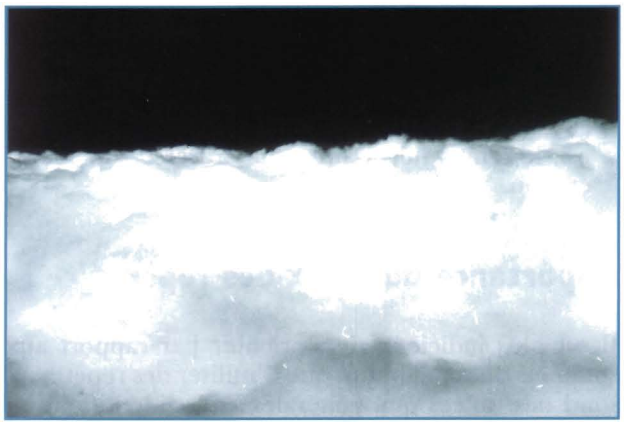


Fig. 473 – *Avion volant à proximité d'une couche nuageuse.*

LE VOL EN RÉGION MONTAGNEUSE

Nous allons étudier les caractéristiques du vol en montagne. Lors de la préparation avant le vol vous devez effectuer une étude détaillée du trajet, rassembler des informations précises sur la situation météorologique. Pendant le vol vous devez appliquer des techniques de cheminement adaptées au vol en montagne et être averti des problèmes physiologiques liés au vol en altitude

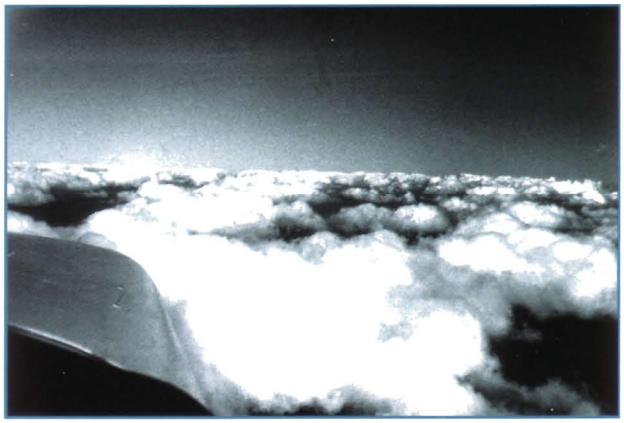


Fig. 474 – *Avion volant à 1000 ft au-dessus de la couche nuageuse.*

Connaissance de la situation météo

Il est indispensable de connaître l'évolution de la situation météo, notamment la direction et la force du vent en altitude, le caractère stable ou instable de la masse d'air, le déplacement des fronts, l'importance de la nébulosité et le type des nuages associes.

Pour ceci il vous faut exploiter :

- les cartes des vents en altitudes,
- les cartes TEMSI,
- les messages TAF et METAR.

Les informations des répondeurs automatiques sont trop souvent insuffisantes.

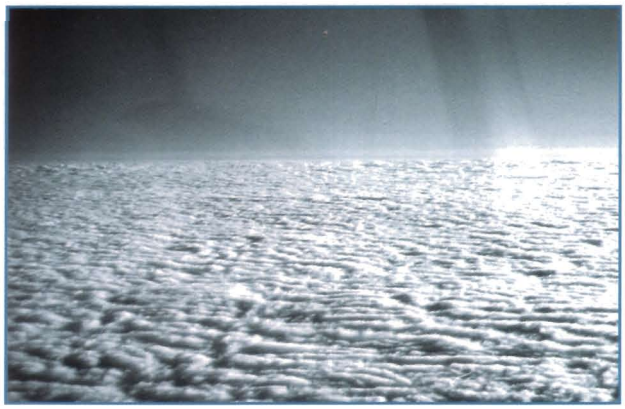


Fig. 475 – *La couche nuageuse se soude : **sachez faire demi-tour**.*

Préparation du trajet

Importance du choix du trajet

Il doit s'effectuer en fonction des massifs et des vallées suivis ou traverses, des performances de l'avion, de la météorologie.

L'étude détaillée porte en particulier sur :

- l'importance et l'orientation des vallées,
- l'altitude de franchissement des cols ou des crêtes, le temps nécessaire pour traverser un massif étendu.

Importance du choix des repères

Il est plus judicieux de s'orienter par rapport aux sommets du relief plutôt que d'utiliser des repères au fond des vallées qui, généralement, s'identifient au dernier moment.

Utilisation de la carte

La carte au 1/500 000 est suffisante pour cheminer en région montagneuse par beau temps, mais lorsque la visibilité est réduite et le plafond bas, la lecture et l'identification des vallées et des cols, deviennent incertaines.

La lecture de la carte doit se faire dans le sens normal, c'est-à-dire le nord vers le haut.

Retourner la carte, nord vers le bas, peut créer une illusion optique et vous faire confondre vallée et crêtes. Les creux vous apparaissent en élévation et inversement.

Par contre pour estimer la position d'un repère par rapport à la route suivie, vous pouvez très bien orienter votre carte.

Le cheminement en région montagneuse

Passage de col

Le franchissement d'un col ne fera jamais perpendiculairement mais en cheminant sur le côté de la vallée et non au milieu ce qui vous permettra de dégager du côté opposé en altérant sa route suffisamment (de l'ordre de 45 ° selon le relief environnant), si vous avez mal estimé votre hauteur, vous subissez une descendance ou que la visibilité de l'autre côté du col est jugée insuffisante pour poursuivre son vol (fig. 476).

Franchissement de ligne de crête

Le franchissement d'une ligne de crête se fera de préférence sous un angle de 45 ° par rapport à la ligne de crête afin de pouvoir vous dégager du relief rapidement en cas de nécessité. Par ailleurs, en abordant la ligne de crête sous cet angle, on peut apprécier sa hauteur par rapport au relief. Si on est sous le niveau de la ligne de crête, les arrières plans descendent sous les premiers plans. Inversement, voir les arrières plans émerger est un signe de sécurité car on vole plus haut que le relief.

Vol face à un relief plus haut

En volant face à un relief plus haut, le pilote débutant a tendance à maintenir la même valeur angulaire en-

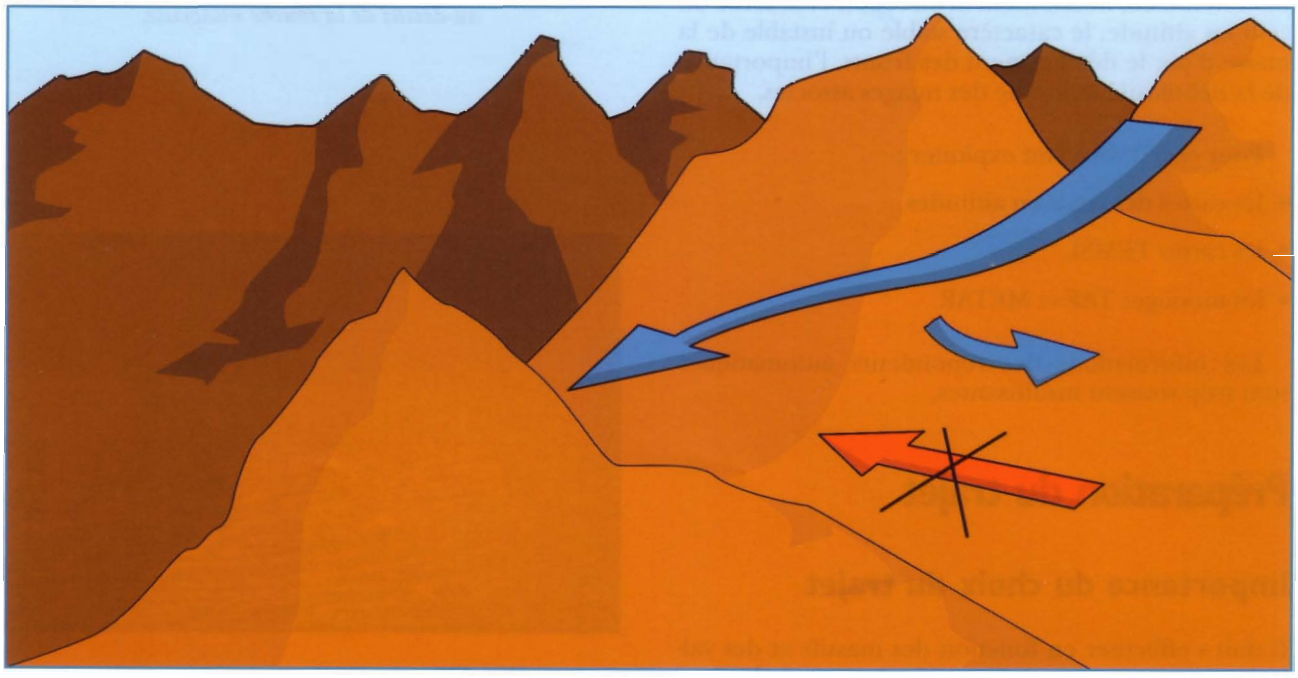


Fig. 476 – *Passage d'un col.*

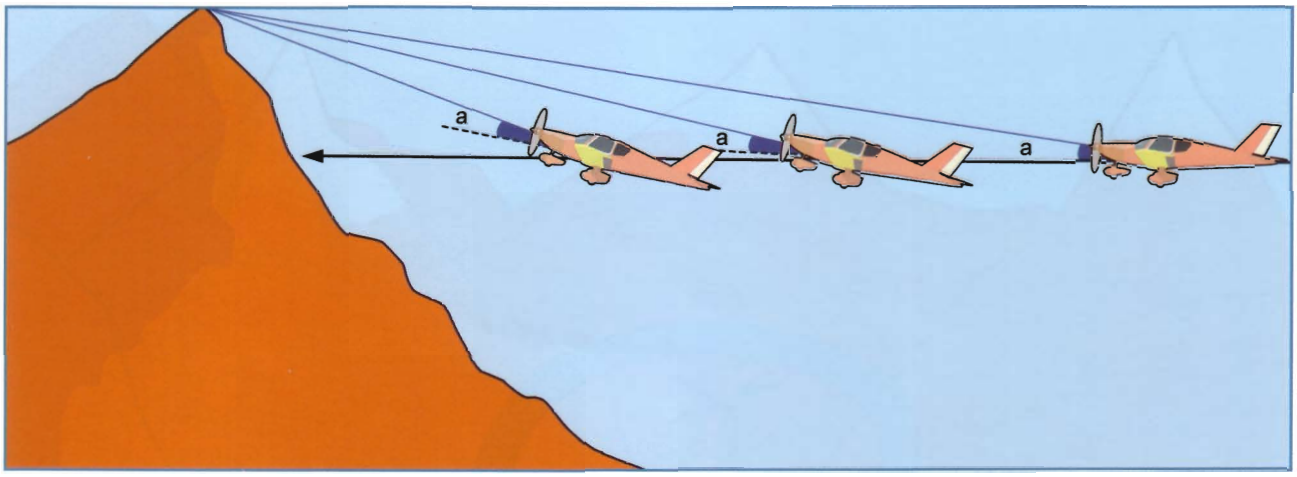


Fig. 477 – *L'assiette et l'incidence augmentent à l'approche du sommet pris comme référence d'horizon.*

tre le capot et le sommet de la montagne. L'assiette de l'avion et son incidence augmentent d'où une diminution de la vitesse (fig. 477).

Faux plat

Le survol d'un plateau dont la variation croissante d'altitude est faible peut entraîner une fausse idée de l'horizontale. Le pilote tend à conserver une trajectoire parallèle au sol d'où une diminution de la vitesse qui, en condition turbulente peut s'avérer dangereuse Par conséquent, une lecture instrumentale fréquente est indispensable (fig. 478).

Vol en vallée étroite et demi-tour

Lorsque vous remontez la vallée (fig. 479), contrôlez toujours son orientation et comparez-la avec votre carte, c'est un moyen sûr d'identification.

En règle générale, serrez un côté de la vallée, ce qui vous permettra, si vous devez faire demi-tour de bénéficier du maximum de place.

Il est inutile de trop serrer le virage, le facteur de charge augmentant vous vous rapprochez du décrochage. Au contraire, estimez le **rayon de virage** possible pour vous retrouver sur l'autre côté de la vallée.

Certains pilotes n'osent pas faire demi-tour dans une vallée, surtout lorsqu'elle est étroite. Ils surestiment l'espace indispensable à leur évolution et ont l'impression que ça ne passera pas.

Nous savons que le rayon de virage de l'avion dépend de sa vitesse propre et de son inclinaison, étudions l'influence de ces deux paramètres (fig. 480).

Nous constatons que les rayons de virage ne sont pas démesurément grands. Il semble intéressant à

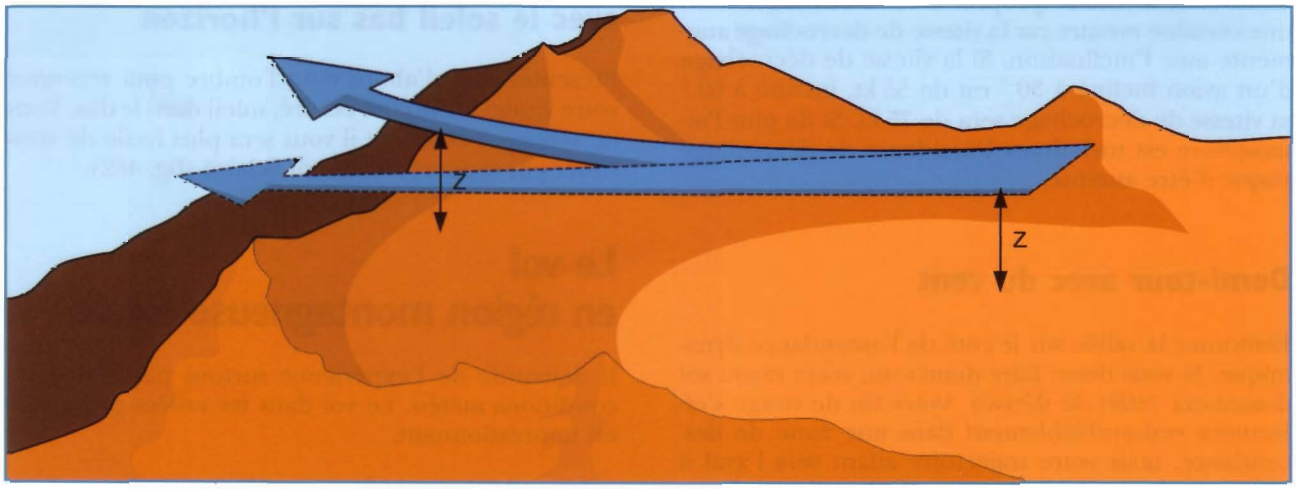


Fig. 478 – *Le piège du faux plat.*

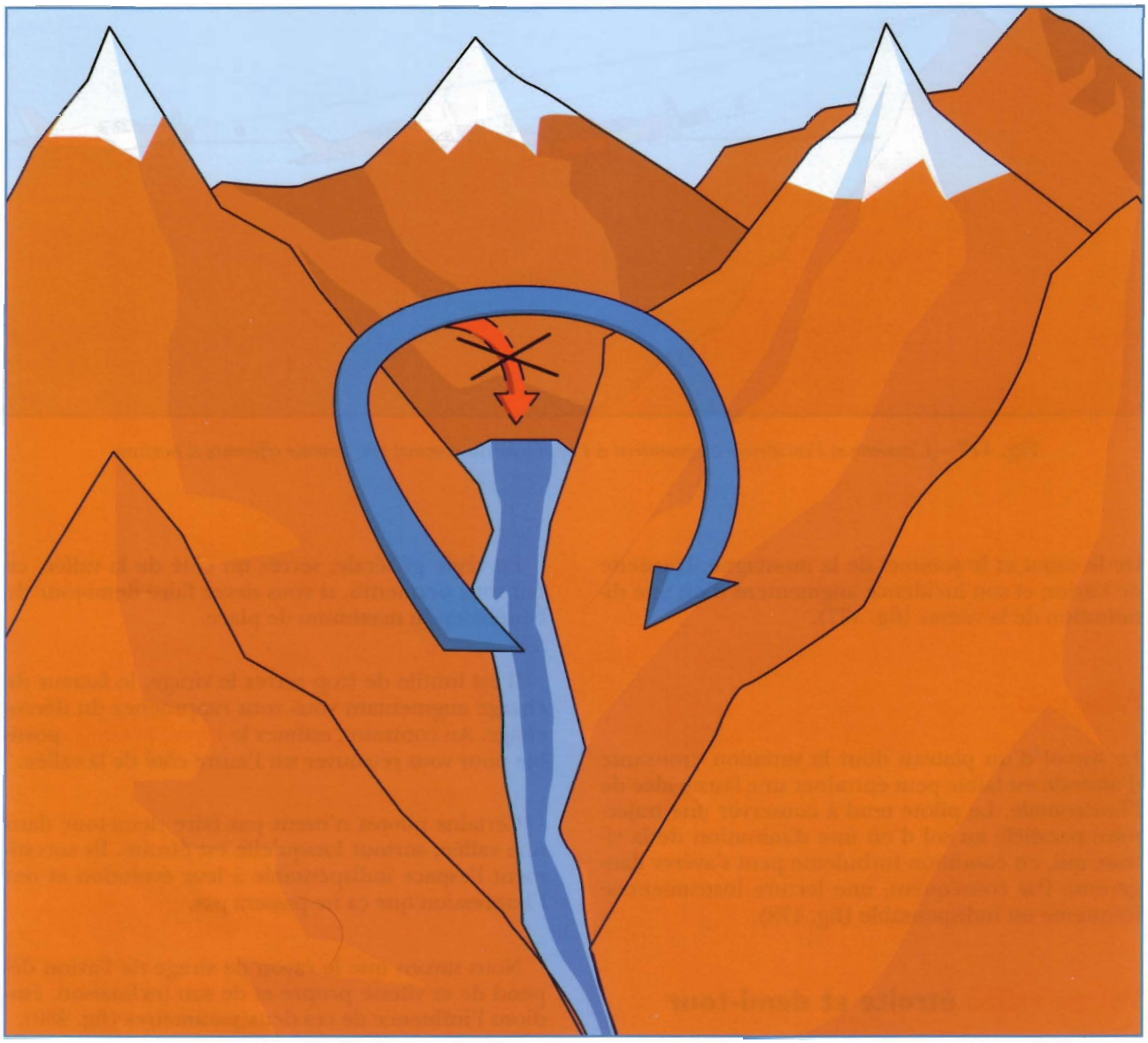


Fig. 479 – *Technique de cheminement dans une vallée.*

la lecture de ce tableau, de serrer son virage tout en diminuant sa vitesse propre. C'est à envisager dans une certaine mesure car la vitesse de décrochage augmente avec l'inclinaison. Si la vitesse de décrochage d'un avion incliné à 30 ° est de 55 kt, incliné à 60 ° sa vitesse de décrochage sera de 75 kt. Si de plus l'atmosphère est turbulente l'incidence de décrochage risque d'être atteinte.

Demi-tour avec du vent

Remontez la vallée sur le côté de l'ascendance dynamique. Si vous devez faire demi-tour, votre rayon sol diminuera (effet de dérive). Votre fin de virage s'effectuera vraisemblablement dans une zone de descendance, mais votre trajectoire allant vers l'aval il vous sera plus facile de dégager. Par la suite rejoignez la zone d'ascendance (fig. 481).

Demi-tour avec le soleil bas sur l'horizon

Présentez-vous d'abord dans l'ombre pour terminer votre virage sur le côté éclairé, soleil dans le dos. Vous ne serez pas ébloui et il vous sera plus facile de vous situer par rapport au versant éclairé (fig. 482).

Le vol en région montagneuse élevée

Il demande de l'expérience surtout par mauvaises conditions météo. Le vol dans les vallées profondes est impressionnant.

La turbulence peut être forte ce qui est physiquement éprouvant. Associée aux syndromes de l'hy-

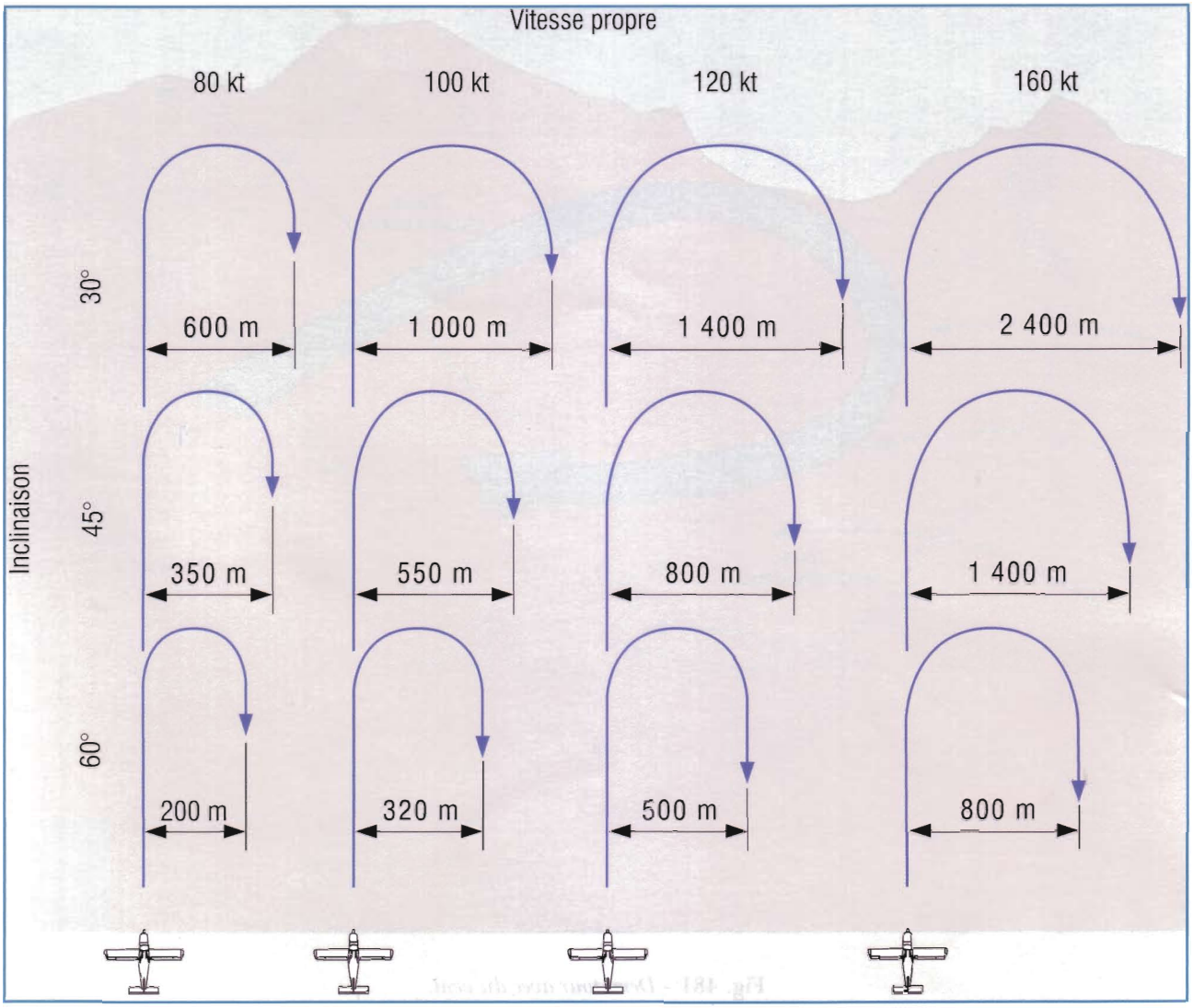


Fig. 480 – *Espace nécessaire au demi-tour.*

poxie (débutant dès 5 000 ft), à une cabine trop ou pas assez chauffée, au risque de passagers malades, le peu d'aisance d'un pilote débutant peut se transformer en panique, parfois en décisions irréversibles.

LE SURVOL DE L'EAU EN VFR

Il est possible de survoler des étendues maritimes en VFR, pour se rendre en Corse par exemple. Ces vols sont soumis à certaines exigences de manière à préserver un haut degré de sécurité.

Équipements spéciaux de survie

Pour bien prendre conscience de la nécessité de l'emport d'équipements de « survie » lors du survol de l'eau, il vous suffit de savoir qu'une minute de vol à 100 kt (1,7 NM ≅ 3 km) correspond à 3 heures de nage dans les meilleures conditions (pas de vent, pas de vague).

Pour vous éviter d'avoir à pulvériser votre record de distance en crawl, la réglementation vous invite à emporter avec vous certains équipements tels que gilets ou canots. Ces équipements sont à juste titre « minimums ». Ils permettent d'attendre l'arrivée des secours.

Le type d'équipement que vous devez emporter est fonction de votre éloignement par rapport à la côte (fig. 483) :

Trois distances sont prises en compte :

- la **distance maximale en plané** est la distance maximale que peut parcourir l'avion, son moteur étant en panne. Au-delà de cette distance, l'aéronef doit comprendre un gilet par personne, aisément accessible ;

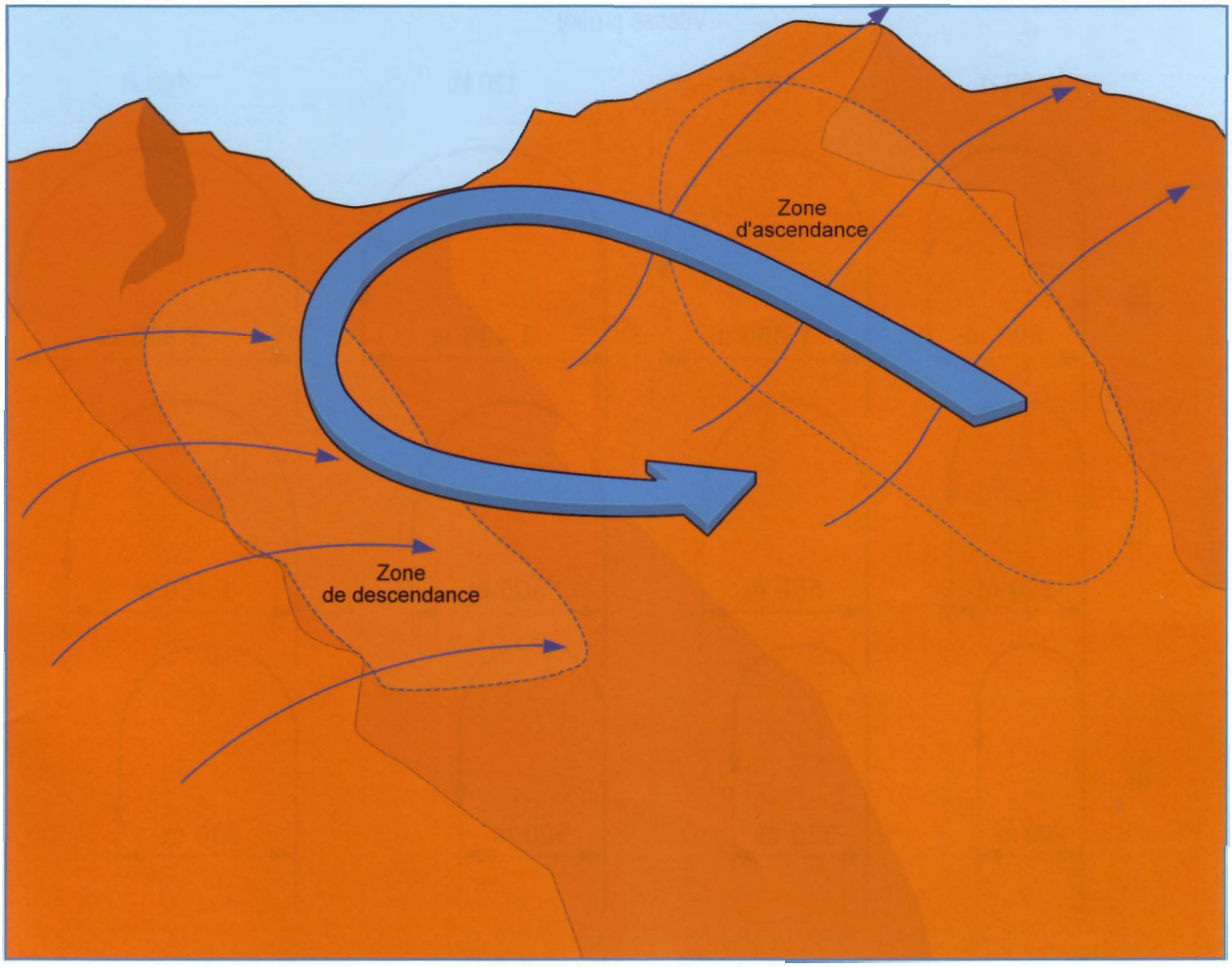


Fig. 481 – *Demi-tour avec du vent.*

- une distance de **50 NM de la côte**. Au-delà, et quelle que soit la distance maximale de plané de l'avion, chaque occupant doit disposer d'un gilet aisément accessible ;
- une distance de **100 NM de la côte**. Au-delà, l'aéronef doit avoir à son bord un émetteur radio étanche et autonome, fonctionnant sur 121,500 MHz et 243 MHz, et suffisamment de canots pour tous les occupants ;
- une distance de **100 NM de la côte pour un monomoteur ou 200 NM pour un multimoteur pouvant poursuivre son vol en cas de panne d'un moteur**, vous devez disposer de :
  - Une balise de survivance, flottable et étanche, aisément et rapidement accessible ;
  - Un ou des canots de sauvetage facilement utilisables et en nombre suffisant pour recevoir toutes les personnes à bord.

À chaque canot de sauvetage, doivent s'ajouter les équipements suivants :

- un miroir de signalisation normalisé grand modèle ;
- deux fusées parachute de couleur rouge ;
- une lampe électrique fonctionnant au contact de l'eau ou à défaut une lampe électrique étanche ;
- un matériel de survie et de signalisation comprenant :
  - un litre d'eau douce par personne à bord ;
  - des sachets ou pains de fluorescéine d'une masse d'au moins 300 grammes, perméables, contenus dans une enveloppe imperméable ;
  - une trousse médicale de premier secours, comprenant des médicaments antalgiques, antinaupathiques, tonicardiaques, du collyre, des produits antiseptiques et un nécessaire à pansements.

Les conditions de dépôt de plan de vol et de suivi des itinéraires publiés permettent aux organismes de recherche et sauvetage (SAR) de vous retrouver plus facilement si vous avez été contraint d'amerrir (en cas de panne moteur, par exemple). En effet, le plan de vol les renseigne précisément sur votre itinéraire, et le suivi précis des itinéraires publiés permet de réduire considérablement les zones de recherche.

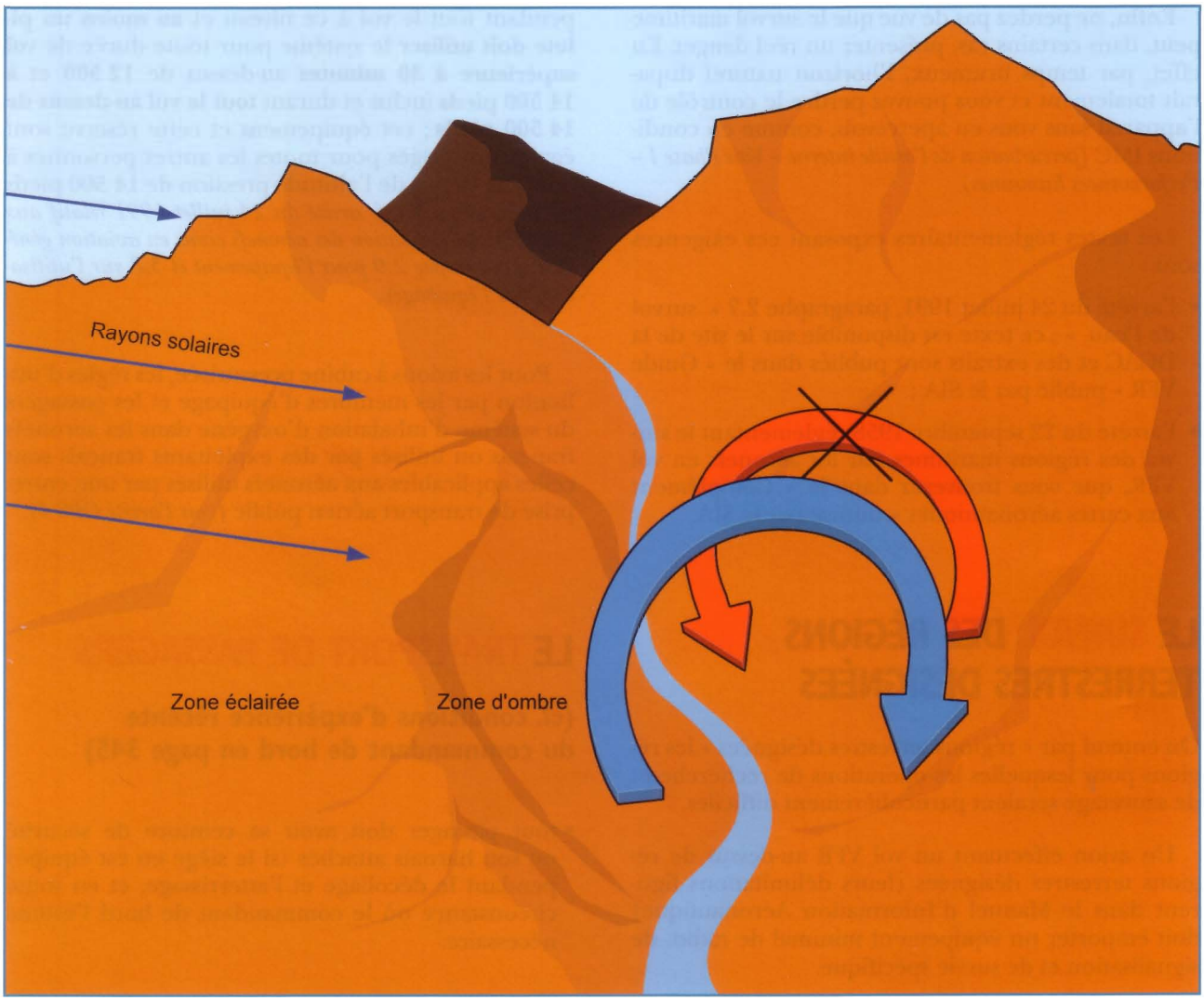


Fig. 482 – *Influence du Soleil.*

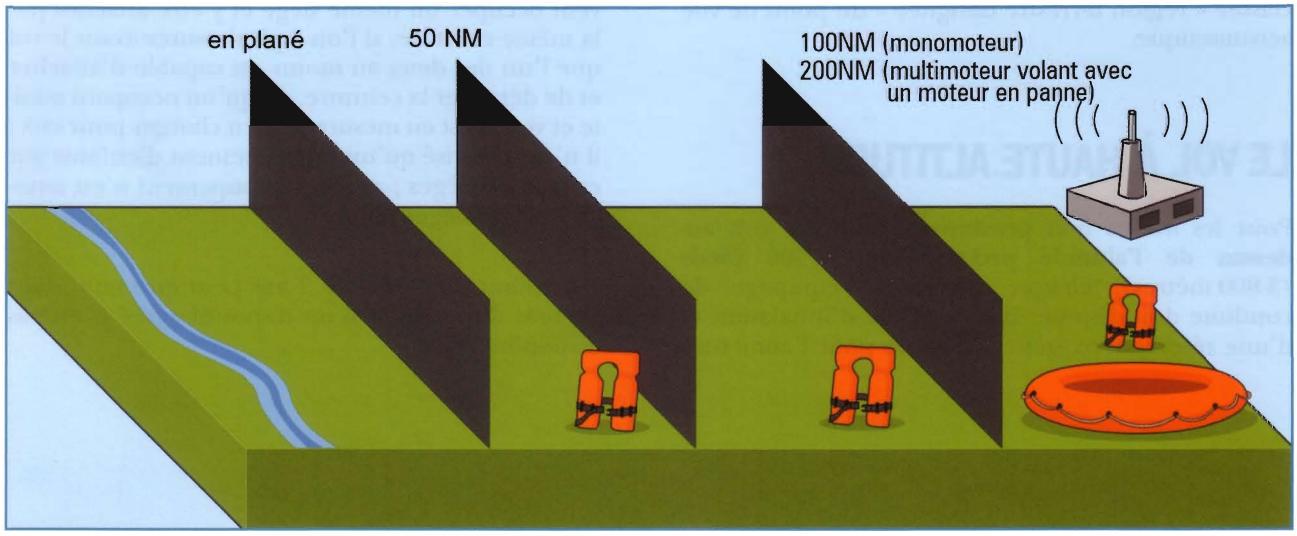


Fig. 483 – *L'équipement nécessaire au survol de l'eau dépend de l'éloignement par rapport à la côte.*

Enfin, ne perdez pas de vue que le survol maritime peut, dans certains cas, présenter un réel danger. En effet, par temps brumeux, l'horizon naturel disparaît totalement et vous pouvez perdre le contrôle de l'appareil sans vous en apercevoir, comme en conditions IMC *(perturbation de l'oreille interne – Voir Phase I – Performances humaines)*.

Les textes réglementaires exposant ces exigences sont :

- l'arrêté du 24 juillet 1991, paragraphe 2.7 « survol de l'eau » ; ce texte est disponible sur le site de la DGAC et des extraits sont publiés dans le « Guide VFR » publié par le SIA ;
- l'arrêté du 22 septembre 1958 réglementant le survol des régions maritimes par les aéronefs en vol VFR, que vous trouverez dans le « Complément aux cartes aéronautiques » diffusé par le SIA.

LE SURVOL DES RÉGIONS TERRESTRES DÉSIGNÉES

On entend par « régions terrestres désignées » les régions pour lesquelles les opérations de recherche et de sauvetage seraient particulièrement difficiles.

Un avion effectuant un vol VFR au-dessus de régions terrestres désignées (leurs délimitations figurent dans le Manuel d'Information Aéronautique) doit emporter un équipement minimal de radio, de signalisation et de survie spécifique.

Outre cet équipement, chaque traversée de telles régions peut faire l'objet d'exigences particulières : dépôt de plan de vol, suivi d'itinéraires imposés, contact radio. Il est nécessaire de prendre connaissance de ces exigences au cas par cas.

Il n'existe en France métropolitaine aucune région classée « région terrestre désignée » du point de vue aéronautique.

LE VOL À HAUTE ALTITUDE

Pour les avions non pressurisés, pour les vols **au-dessus de l'altitude pression de 12 500 pieds** (3 800 mètres), chaque membre d'équipage de conduite doit disposer d'un système d'inhalation et d'une réserve d'oxygène suffisante pour l'alimenter pendant tout le vol à ce niveau et **au moins un pilote doit utiliser** le système pour toute durée de **vol supérieure à 30 minutes** au-dessus de **12 500 et à 14 500 pieds** inclus et durant **tout le vol au-dessus de 14 500 pieds** ; cet équipement et cette réserve sont également exigés pour toutes les autres personnes à bord, au-dessus de l'altitude pression de 14 500 pieds (4 400 mètres) (*cf. arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale, paragraphe 2.9 pour l'équipement et 5.8 sur l'utilisation par l'équipage*).

Pour les avions à cabine pressurisée, les règles d'utilisation par les membres d'équipage et les passagers du système d'inhalation d'oxygène dans les aéronefs français ou utilisés par des exploitants français sont celles applicables aux aéronefs utilisés par une entreprise de transport aérien public *(voir l'arrêté OPS 1)*.

LE TRANSPORT DE PASSAGERS

(cf. conditions d'expérience récente du commandant de bord en page 345)

- tout passager doit avoir sa ceinture de sécurité ou son harnais attachés (si le siège en est équipé) pendant le décollage et l'atterrissage, et en toute circonstance où le commandant de bord l'estime nécessaire.

- Le nombre total d'occupants âgés de plus de 2 ans ne peut excéder le nombre maximal d'occupants et le nombre maximal de sièges prévus dans les documents de navigabilité associés à l'aéronef.

- Sauf dans les cas où il est exigé un harnais de sécurité, deux enfants de 2 ans à moins de 12 ans peuvent occuper un même siège et y être attachés par la même ceinture, si l'on a pu s'assurer avant le vol que l'un des deux au moins est capable d'attacher et de détacher la ceinture, ou qu'un occupant adulte et voisin est en mesure de s'en charger pour eux ; il n'est autorisé qu'un regroupement d'enfants par rangée de sièges ; aucun regroupement n'est autorisé sur les sièges pilote.

- Un enfant de moins de 2 ans peut être tenu dans les bras d'un adulte si un dispositif agréé n'est pas disponible.

INFRACTIONS - ÉVÉNEMENTS LIÉS A LA SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DU TRAFIC AÉRIEN ÉVÉNEMENTS ET INCIDENTS D'AVIATION CIVILE

INFRACTIONS AUX RÈGLES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Qu'entend-t-on par « infraction » ?

On désigne sous ce titre le non-respect d'une des règles de la circulation aérienne. Comme la circulation aérienne est le déplacement des aéronefs au sol (par leurs propres moyens) et en vol, il est possible de commettre une infraction aussi bien en vol qu'au sol, lors des manœuvres précédant le décollage ou succédant à l'atterrissage.

La constatation des infractions

Les infractions sont constatées par les services officiels concernés : Gendarmerie nationale, DGAC, police aux frontières.

La procédure de compte rendu d'infraction

Après constatation de l'infraction, le fonctionnaire ou l'agent de l'Aviation civile remplit un procès-verbal d'infraction et invite le pilote à prendre connaissance du ou des motifs de l'infraction et lui propose de consigner ses explications sur le procès verbal.

Si l'infraction est commise juste après le départ, l'agent l'ayant constaté transmet un message à l'aérodrome d'arrivée et à l'exploitant de l'aéronef (ce peut être votre aéro-club).

Il transmet ensuite le procès verbal au responsable de l'exploitation navigation aérienne de l'aérodrome, au Directeur de l'aviation civile et au chef du Centre régional de la navigation aérienne.

Une instruction poussée est menée et il est décidé par ces autorités de classer le dossier ou de le transmettre à la commission régionale de discipline.

La commission régionale de discipline

Chargé des infractions commises par les navigants privés, elle réunit un certain nombre d'acteurs de l'Aviation civile. Pour la composition de la commission de discipline siégeant dans les DOM et TOM, reportez-vous au Code de l'Aviation civile.

La commission étudie le dossier qui lui a été transmis et émet un avis sur l'opportunité d'une sanction et sur l'importance de cette dernière. C'est le Directeur de l'Aviation Civile qui décide de l'application de la sanction.

Le pilote ayant commis l'infraction sera informé par le rapporteur de la commission des griefs retenus à son encontre, et sera invité à prendre connaissance du dossier. Une convocation pour qu'il comparaisse devant la commission doit lui être adressée au moins quinze jours avant la réunion de la Commission de discipline.

L'intéressé peut se faire assister ou représenter par une personne de son choix qui peut être un navigant, un dirigeant de club, un avocat, etc. Au cas où l'intéressé néglige de comparaître ou de se faire représenter, la commission statue après avoir entendu le rapporteur.

Les sanctions

Elles sont de trois types, dans l'ordre croissant de gravité :

- l'avertissement,
- le retrait temporaire des licences ou des qualifications qui leur sont attachées,
- le retrait définitif de ces mêmes licences ou qualifications.

La Commission de discipline ne propose que des sanctions administratives. Si vous avez commis une faute qui constitue aussi un non-respect du code pé-

nal (infraction, délit ou même crime, dans l'ordre croissant de gravité), vous relèverez aussi de l'autorité judiciaire qui prononcera éventuellement une peine qui peut être :

- une amende,
- une peine d'emprisonnement,
- les deux.

Très souvent, les sanctions prononcées ont pour motif :

- le vol à basse hauteur au-dessus des agglomérations ou le vol rasant en campagne ayant occasionné la destruction de l'aéronef et des dégâts aux tiers ;
- la pénétration de zones réglementées sans clairance lorsque celle-ci est exigée ;
- la négligence et l'imprudence.

ÉVÉNEMENTS LIÉS À LA SÉCURITÉ DANS LE DOMAINE DE LA GESTION DU TRAFIC AÉRIEN

Sont concernés par les dispositions qui suivent tous les événements importants impliquant :

- un vol exécuté en Circulation Aérienne Générale (CAG) ;
- un organisme civil ou de la défense rendant tout ou partie des services de la circulation aérienne à des aéronefs évoluant en CAG.

Événements concernés

Un événement dans le domaine de la gestion du trafic aérien dit « **événement ATM** » est un accident, un incident grave (quasi-collision), un incident susceptible de devenir une collision ou une quasi-collision, ainsi que tout autre dysfonctionnement d'un aéronef ou d'un équipement à bord de l'aéronef ou d'un système utile pour la fourniture d'un service de gestion du trafic aérien, qui présentent un intérêt spécifique pour la gestion du trafic aérien.

Notification des événements par un pilote civil

Lorsqu'un pilote relève qu'un événement ATM a compromis ou aurait pu compromettre la sécurité il le notifie selon la procédure suivante :

- **notification par radio** à l'organisme avec lequel il est en contact ou, à défaut, à l'organisme de la circulation chargé d'assurer les services de la circulation aérienne dans l'espace aérien dans lequel il évolue ;
- **notification à l'issue du vol**, par tout moyen disponible, si la notification par radio n'a pu être faite à l'organisme directement concerné ou , à défaut, à tout autre organisme qui retransmet les éléments à l'organisme concerné ;
- **transmission d'un compte rendu** (sur l'imprimé prévu à cet effet) dans les meilleurs délais (et au plus tard sous deux semaines) à la Direction des services de la Navigation Aérienne/ Direction des Opérations (**DAST/DO**).

Le type d'événement est précisé dans le compte rendu. Il peut s'agir :

- d'un **AIRPROX** : expression désignant la proximité d'aéronefs avec une situation dans laquelle, de l'avis d'un pilote ou du personnel des services de la circulation aérienne , la distance entre aéronefs ainsi que leurs positions et vitesses relatives ont été telles que la sécurité des aéronefs en cause peut avoir été compromise ;
- d'un événement de **procédure** : événement ayant mis en cause la sécurité par non respect des procédures ATM publiées en vigueur ou du fait de procédures non adaptées à la situation ;
- d'un événement lié aux **installations** : situation compromettant la sécurité par l'indisponibilité ou défaillance des services ATM.

Suivi des notifications

Lorsqu'un événement ATM a été notifié, le service prestataire :

- recueille toutes les données nécessaires au fin d'analyse de l'événement ;
- procède à une analyse initiale et prend les premières mesures correctives nécessaires ;
- établit un dossier complet pour les événements de quasi- collision et transmet qui est transmis la commission compétente.

Commission de sécurité de la circulation aérienne (CSCA)

Pour les événements concernant un organisme du contrôle de la circulation aérienne et un aéronef civil en CAG.

Commission mixte de sécurité de la gestion du trafic aérien (CMSA)

Pour les événements concernant un organisme du contrôle de la circulation aérienne civil ou un organisme du contrôle de la circulation aérienne de la défense et un aéronef évoluant selon les règles de la circulation aérienne générale (CAG).

Ces commissions ont pour mission :

- d'approfondir l'analyse de certains événements de la circulation aérienne, à l'issue des enquêtes menées par la DSNA (direction des services de la navigation aérienne) et, éventuellement, le BEA (bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile) ;
- d'analyser certains des événements qui échappent à la compétence de la DSNA et du BEA ;
- de réaliser des analyses thématiques à partir de ces événements ;
- d'indiquer en conclusion de ces travaux les améliorations qu'elle propose en vue d'éviter le renouvellement d'événements de la circulation aérienne liés à la sécurité et de renforcer la sécurité du trafic aérien.

A cette fin, elle a accès à l'ensemble des événements de la circulation aérienne où la sécurité pourrait avoir été compromise.

Elle peut demander des analyses complémentaires aux services compétents de la DGAC et peut se faire communiquer toute pièce qu'elle estime nécessaire pour mener à bien ses travaux.

Un expert désigné par les fédérations représentatives de l'activité sportive est présent dans ces deux commissions.

ÉVÉNEMENTS ET INCIDENTS DE L'AVIATION CIVILE

Pour répondre au défi de l'accroissement attendu de l'activité aérienne, l'OACI a développé une approche complémentaire, dite « proactive », fondée sur la notification des incidents, considérée comme plus à même de maintenir les risques d'accident à un niveau acceptable. Cette approche a fait l'objet d'une directive européenne relative « aux comptes rendus d'événements dans l'aviation civile ».

En France, l'obligation de notifier les événements a été intégrée dans le Code de l'aviation civile et fait l'objet de deux arrêtés du 17 août 2007. Ils fixent la liste des événements et d'incidents d'aviation civile.

L'objectif de ces textes n'est pas de déterminer les fautes ou les responsabilités des uns ou des autres; leur seul but est d'améliorer la sécurité aérienne en empêchant que des incidents du même type ne se reproduisent ou dégénèrent en accident.

Quels incidents notifier ?

D'une manière générale, tout événement susceptible d'avoir un impact sur la sécurité doit être déclaré ; une liste d'événements a été annexée à l'arrêté du 17 août 2007 ; vous êtes toutefois encouragé à notifier des incidents qui n'y figurent pas si vous jugez que cela peut être utile à l'amélioration de la sécurité.

Vous pouvez notifier un incident, vous êtes protégé ; aucune sanction ne pourra être infligée à une personne qui a fait l'objet d'une déclaration spontanée ; aucune poursuite ne sera engagée contre vous sauf évidemment s'il s'avère que c'est de manière intentionnelle et répétée que vous avez enfreint les règles de sécurité. Par ailleurs, la loi protège votre identité et votre nom ne sera jamais divulgué par les autorités (procédure qui rappelle celle en vigueur pour le Recueil d'Événement Confidentiel « REC »).

Comment notifier un incident ?

Lorsque vous êtes impliqué dans un incident, vous devrez remplir un imprimé établi à cet effet ; si vous n'avez pas d'imprimé à votre disposition, vous pourrez trouver le modèle sur le site internet de la DGAC (http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/atu_gd/secu3/index.htm).

Vous compléterez cette fiche de la manière la plus précise possible, de façon à ce que le déroulement des faits soit facilement compréhensible.

Vous remettrez la fiche complétée à votre employeur (l'aéroclub si c'est votre cas) qui devra, à son tour, la retransmettre (de préférence par courrier électronique) à l'autorité compétente sous trois jours, hors accidents ou incidents graves qui eux devront être transmis sans délai au Bureau d'Enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA).

Pour plus d'informations notamment sur la liste d'événements, vous pouvez vous reporter au Fascicule à l'attention des exploitants d'aéronefs disponible sur le site de la DGAC.

LES SERVICES D'ALERTE

Le service d'alerte est fourni :

- à tous les aéronefs ayant déposé un plan de vol,
- aux aéronefs dont la présence est connue des organismes de la circulation aérienne.

Les renseignements relatifs à un aéronef en difficulté sont rassemblés par le CCR de la FIR concernée et transmis au **RCC (Centre de Coordination et de Sauvetage)**. Ce dernier assure le service de recherche et de sauvetage (SAR).

Fig. 484

LES PHASES D'URGENCE

Elles sont destinées à informer le centre de coordination et de sauvetage des inquiétudes plus ou moins grandes des organismes de la circulation aérienne sur le sort d'un aéronef.

Les phases sont dénommées respectivement :

- incertitude (ou incerfa),
- alerte (ou alerfa),
- détresse (ou détresfa).

Rappelez-vous que la non-clôture d'un plan de vol déclenche automatiquement les phases d'urgence.

LES MESSAGES D'URGENCE ET DE DÉTRESSE

L'urgence

L'urgence désigne en aéronautique toute situation où des difficultés contraignent un aéronef à atterrir, sans nécessiter de secours immédiat (par exemple des ratés dans le moteur, ou des avaries dans la cellule, etc.). Dans ce cas, les signaux utilisés pour transmettre un message d'urgence aux organismes chargés de la gestion de la circulation aérienne sont :

- l'allumage et l'extinction répétés des phares d'atterrissage ;
- l'allumage et l'extinction répétés des feux de position, effectués de manière à ce que le signal se distingue de celui des feux à éclats.

L'urgence désigne aussi toute situation dans laquelle un aéronef a un message très urgent à transmettre concernant la sécurité d'un aéronef, navire ou autre véhicule, ou la sécurité de toute personne à bord ou en vue. Le message, transmis en radiotéléphonie, est alors précédé des mots « PANNE, PANNE », prononcés dans la mesure du possible trois fois... Le signal peut aussi être transmis en code morse (à l'aide d'une lampe torche, d'impulsions sur un micro de radio, etc.), le message est alors précédé des trois lettres X X X (– • • – – • • – – • • –).

La détresse

En termes aéronautiques, la détresse est une situation dans laquelle il existe une menace de danger grave et imminent, et qu'un secours immédiat est demandé (feu moteur, etc.). Plusieurs signaux existent pour transmettre un message de détresse :

- un signal transmis en code morse, formé du groupe SOS (• • • – – – • • •) ;
- un signal émis en radiotéléphonie et constitué par le mot « MAYDAY », prononcé dans la mesure du possible trois fois ;
- des fusées ou bombes émettant des feux rouges, tirées l'une après l'autre à de courts intervalles ;
- une fusée éclairante rouge à parachute.

LA BALISE DE DÉTRESSE

(Cf. Arrêté du 28 août 1978 relatif à l'obligation d'emport de radiobalises de détresse fonctionnant automatiquement à l'impact)

L'emport d'une radiobalise de détresse fonctionnant automatiquement à l'impact (RBDA) est obligatoire.

En cas de déclenchement (manuel ou automatique), elle émet sur deux fréquences 121,500 et 243 Mhz un signal radio pouvant être capté par un aéronef muni d'un système de repérage radiogoniométrique.

Sont exemptés de l'emport de cette balise :

- les planeurs,
- les aéronefs volant sous CNRA,
- les aéronefs en vol local (25 NM maximum de l'aérodrome de rattachement).

Afin d'éviter des recherches inutiles à la suite de mise en fonctionnement intempestive de la balise, vous devez, après la mise en route et avant l'arrêt du moteur, vérifier que la balise de détresse de votre avion n'est pas en émission ; pour cela effectuez une écoute à l'aide de la radio de votre avion (s'il en est pourvu), calée sur 121,500 Mhz *(AIP partie GEN 3.6 Recherche et Sauvetage, ou guide VFR).*

INTERCEPTION

Note

Vous devez avoir à bord, à portée de main, un document décrivant les signaux utilisés en cas d'interception ; bien que ce genre de document ne soit obligatoire que pour les vols vers l'étranger, il est plus que recommandé qu'il soit toujours à bord car vous n'êtes pas à l'abri d'une interception au cours d'un vol de voyage comme, par exemple, à la suite d'une erreur de navigation vous faisant pénétrer dans un espace qui vous est interdit.

Pour répondre à cette exigence, ces signaux ainsi que les expressions à utiliser en phraséologie sont publiés dans le « Complément aux cartes aéronautiques » publié par le SIA afin de vous permettre d'en disposer rapidement si nécessaire en cours de vol.

La procédure d'interception en vol est une opération menée à destination d'un aéronef qui se trouve en situation irrégulière, par exemple parce qu'il survole un territoire au-dessus duquel il n'a pas été autorisé à voler.

L'interception est conduite par un aéronef intercepteur qui se rend près de l'aéronef intercepté, de manière à lui signifier par des signaux qu'il est intercepté et éventuellement pour le contraindre à le suivre et à se poser sur un aérodrome où des contrôles pourront être opérés.

Mesures à prendre par l'aéronef intercepté

En cas d'interception, vous devez :

- suivre les instructions de l'aéronef intercepteur en interprétant les signaux visuels ;
- aviser, si possible, l'organisme compétent des services de la circulation aérienne ;
- essayer d'établir un contact avec l'intercepteur ou avec un organisme approprié de contrôle d'interception en lançant un appel général sur la fréquence d'urgence 121.500 mHz, en indiquant votre immatriculation et la nature de votre vol ;
- sauf instruction contraire de l'organisme compétent des services de la circulation aérienne, afficher le code 7700 au transpondeur si vous en êtes équipé.

Si vous recevez par radio des instructions d'une source quelconque qui sont contraires aux instructions reçues de l'intercepteur, demandez des éclaircissements tout en continuant à suivre les instructions de l'intercepteur.

Signaux et radiocommunications pendant l'interception

Les signaux à utiliser en cas d'interception et les expressions à utiliser par radio en cas d'interception sont prévus respectivement dans l'appendice 1, §.2 et dans l'appendice 2, §.3, des RDA. Reportez vous au « Complément aux cartes aéronautiques » cité dans la note ci-dessus.

LE VOL AUX INSTRUMENTS

Sensibilisation aux trajectoires IFR

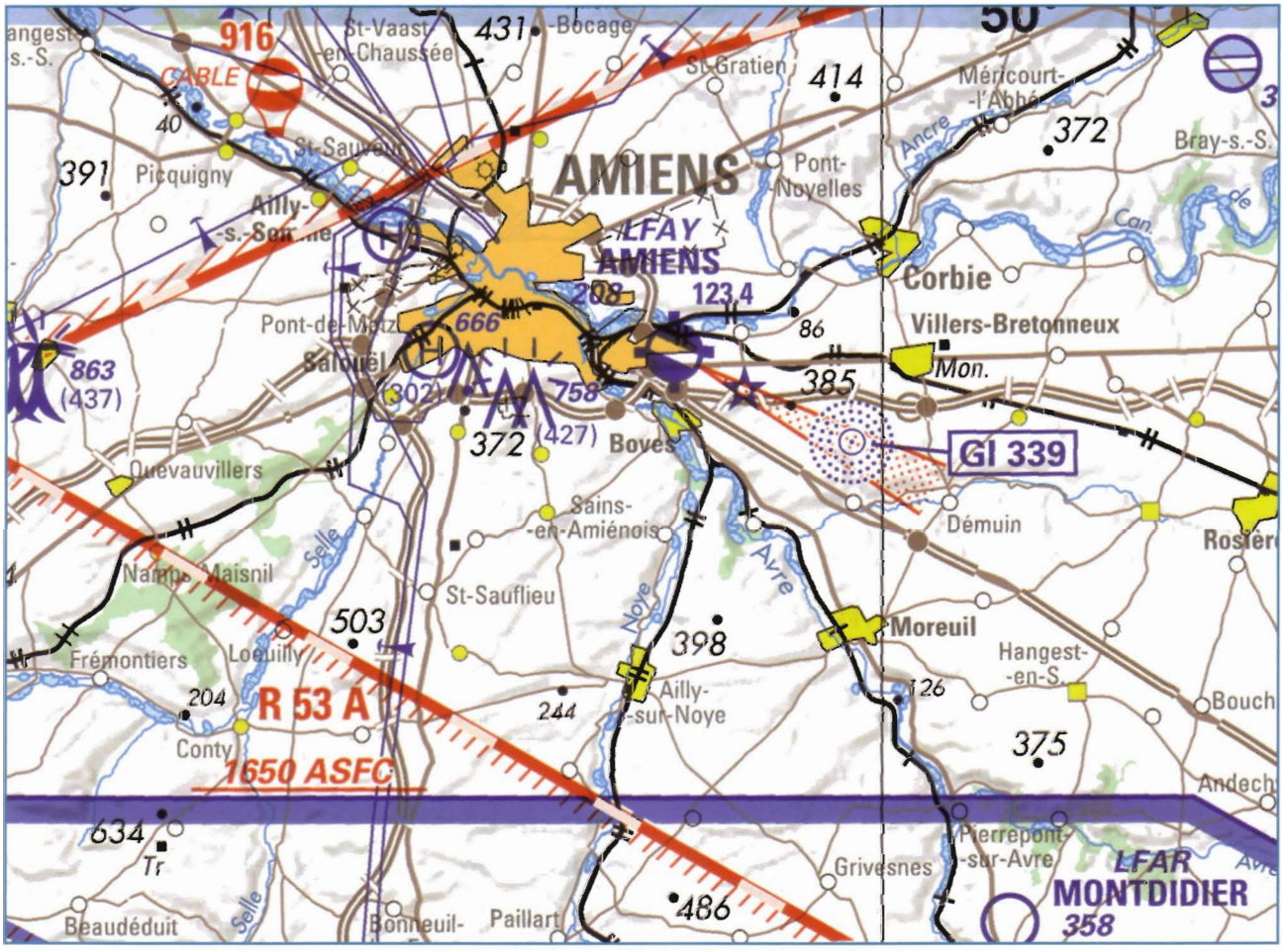
Tous les aérodromes ne permettent pas d'accueillir des aéronefs évoluant selon les règles de vol aux instruments (IFR).

La présence d'une procédure de départ ou d'arrivée des aéronefs volant aux instruments est indiquée sur les cartes aéronautiques 1/500 000 et 1/1 000 000 par la présence d'un symbole triangulaire dès lors que l'aérodrome se trouve hors d'une zone contrôlée ou d'un espace réglementé :

Attention

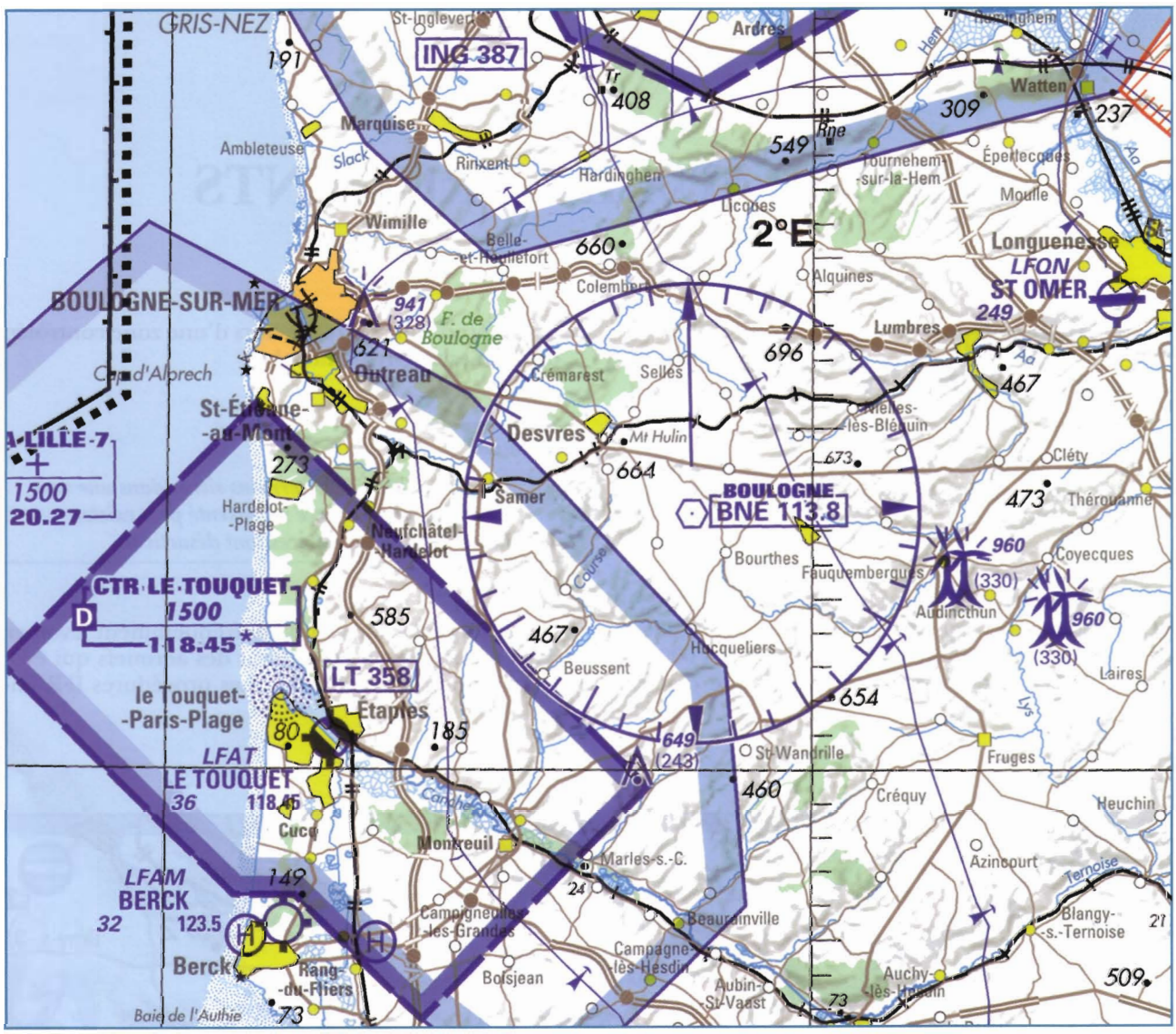
L'activité IFR sur les terrains situés dans une zone contrôlée ou un espace réglementé peut exister même lorsque ces espaces sont désactivés.

Nous pouvons cependant fréquemment évoluer dans un espace où cohabitent des aéronefs qui évoluent suivant les règles IFR. Les procédures IFR im-



Carte IGN 1:500 000 OACI © IGN - Paris - 2007 – Autorisation n° 21070455 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 485



Carte IGN 1:500 000 OACI © IGN - Paris - 2007 – Autorisation n° 21070455 – Ne pas utiliser pour effectuer un vol

Fig. 486

posent une lecture vigilante des instruments de radionavigation pour le suivi des trajectoires imposées.

Ainsi, l'attention des pilotes volant en IFR est moins utilisée pour la surveillance de l'extérieur que celle des pilotes volant en VFR.

La séparation des trafics IFR et VFR n'est assurée par les organismes chargés de la circulation aérienne que dans certains types d'espace, où le trafic est dense.

Dans d'autres, seule la présence de trafics IFR dans les trajectoires de départ ou d'arrivée est indiquée par radio (ce qui nécessite l'utilisation de celle-ci), et dans certains cas, aucune information autre que celle donnée par le pilote IFR lui-même n'est disponible.

Il est donc essentiel de pouvoir anticiper la présence éventuelle et les trajectoires d'un avion évoluant en IFR pour mieux le localiser et maintenir avec lui une séparation suffisante.

Précautions à prendre

Note

Dans le texte qui suit, par organisme ATS on entend un service de contrôle d'approche (APP), de contrôle d'aérodrome (TWR) ou d'information de vol d'aérodrome (AFIS).

Sur un aérodrome doté d'un organisme ATS

Les vols en IFR peuvent occuper un large volume autour des aérodromes accessibles en IFR. En espace aérien contrôlé, vous devez maintenir les conditions

VMC et avoir une clairance si la classe de cet espace aérien contrôlé l'exige ; de plus, vous devez avoir une clairance « VFR Spécial » si vous allez pénétrer dans une CTR, quelle que soit sa classe, si l'organisme de la circulation aérienne a mis en vigueur les règles du « VFR Spécial » sur son aérodrome ou que vous estimez ne pas pouvoir maintenir les conditions VMC de l'espace aérien contrôlé ; en espace de classe « G », il est fortement conseillé de contacter l'organisme ATS de l'aérodrome dès lors qu'une activité IFR possible est signalée pour cet aérodrome notamment lorsque les conditions météorologiques ne sont pas excellentes ; il faut donc être particulièrement vigilant notamment lorsqu'on évolue sous la surface « S ». Notez que dans la plupart des cas, les consignes particulières publiées dans les cartes VAC imposent la radio, y compris en dehors des horaires ATS, si l'aérodrome reste accessible aux vols IFR en dehors de ces horaires.

L'organisme ATS vous fournit des informations sur la position des aéronefs. Si l'aérodrome est contrôlé (APP ou TWR) vous devrez respecter les clairances qui vous sont transmises ; si vous avez affaire à un AFIS, il vous appartient de prendre vos dispositions afin de ne pas gêner l'IFR lorsque ce dernier est prioritaire *(voir les règles de priorité page suivante).*

Sur un aérodrome non doté d'un organisme ATS

En l'absence d'organisme ATS, les pilotes en VFR ou en IFR rendent compte de leur position par des messages transmis en auto-information. Sur ces aérodromes la radio est également exigée si l'aérodrome est accessible aux vols IFR, ceci est rappelé dans les consignes particulières publiées pour l'aérodrome. La sécurité est donc assurée grâce à la bonne compréhension des messages transmis ; il est donc nécessaire que les pilotes volant en VFR connaissent un minimum de termes utilisés par les pilotes volant en IFR *(voir la phraséologie page suivante).*

Trajectoires utilisées en IFR

Au départ :

Après une première montée initiale dans l'axe de décollage, les départs IFR peuvent se faire dans toutes les directions en montée vers le niveau de croisière.

A l'arrivée :

A l'arrivée le vol IFR rejoint le point de début d'approche (IAF :Initial approach Fix), matérialisé par un moyen radioélectrique ou une intersection de radiales VOR ou arc DME identifiée par un point à 5 lettres (exemple « MERU » pour les arrivées sur Pontoise). Ce ralliement permet d'arrivée dans un circuit d'attente à l'altitude minimale d'attente qui peut être inférieure à 3 000 ft AMSL, ce qui n'est pas sans incidence sur la sécurité des vols évoluant en VFR (*voir « Précautions à prendre » ci-dessus*). la procédure d'approche comporte généralement un éloignement pour s'aligner en finale à l'issue de laquelle elle se termine par un atterrissage direct ou une

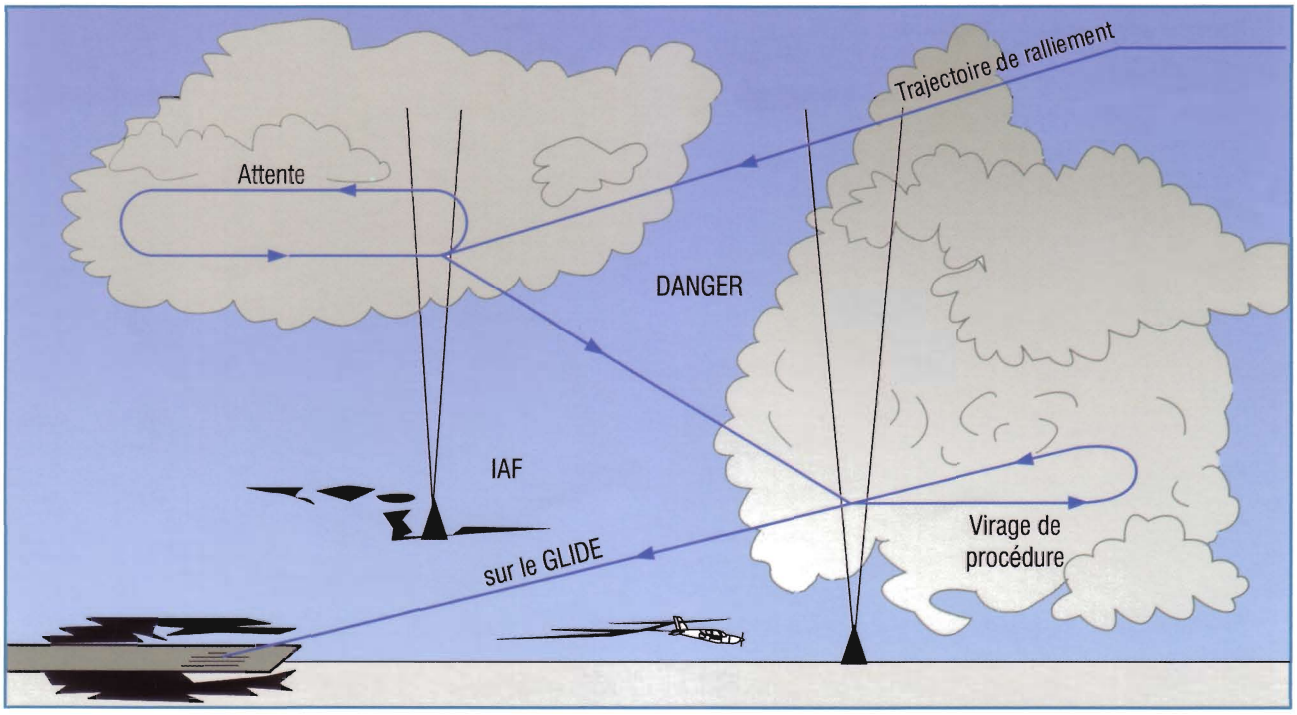


Fig. 487 – *Un exemple de trajectoire IFR.*

manœuvre à vue pour se poser sur la piste en service si les conditions de vent ne permettent pas l'atterrissage sur la piste vers laquelle l'approche aux instruments est effectuée ;

Il existe deux type de manœuvres à vue :

- la manœuvre à vue libre (MVL) : le vol IFR est conduit comme un vol VFR et s'intègre normalement dans la circulation d'aérodrome ;
- la manœuvre à vue imposée (VPT pour Visual manœuvring using Prescribed Track) : le vol IFR doit respecter une trajectoire fixée à l'avance le long de laquelle les obstacles ont été pris en compte pour déterminer la hauteur de décision de poursuivre l'approche et de remettre les gaz si les références visuelles ne sont pas acquises ; en VPT, le vol IFR ne peut donc manœuvrer librement.

Règles de priorité

Vous devez accorder la priorité à un vol IFR :

- qui fait une approche aux instruments directe sur la piste en service ;
- qui exécute une manœuvre à vue imposée (VPT).

En l'absence d'organisme ATS en service sur l'aérodrome, une procédure d'approche aux instruments doit impérativement se terminer par une manœuvre à vue libre (MVL) au cours de laquelle le vol IFR évolue comme un vol VFR sans priorité particulière du fait de son régime de vol.

Phraséologie particulière pour les IFR

En IFR, le pilote se signale au passage des points caractéristiques de la procédure notamment les moyens radioélectriques ou les points à 5 lettres.

Lorsque l'aérodrome est équipé d'un ILS, le pilote se signale :

- « Sur le glide » ou « Sur les axes » : il débute alors l'approche finale et se trouve approximativement à 3 minutes du seuil de la piste desservie par l'ILS ;
- « Passant l'OUTER MAKER » : il est alors à environ 2 minutes du seuil de la piste.

Pour les procédures du type « NDB » ou « VOR » dites « approches classiques »; le pilote se signale :

- « En virage de procédure » : il s'agit du dernier virage de la procédure ; il rejoint alors la longue finale et se trouve approximativement à 4 minutes du seuil de la piste ;
- « En finale » : il est alors à environ 3 minutes du seuil de piste.

LE PILOTAGE SANS RÉFÉRENCE VISUELLE EXTÉRIEURE

D'une manière générale, piloter un avion, c'est afficher une assiette et une inclinaison. En vol de jour, on maîtrise ces deux paramètres en utilisant comme référence l'horizon naturel. Lorsque la visibilité est mauvaise et que l'horizon naturel n'est pas très visible (présence de brume), l'horizon artificiel vous permet de contrôler l'attitude de votre avion.

Technique du pilotage au vol aux instruments : le circuit visuel

L'instrument fondamental que le pilote observe le plus régulièrement est **l'horizon artificiel** (fig. 488). C'est l'instrument qui permet le contrôle de l'attitude de l'avion (tangage et roulis).

Fig. 488 – *L'horizon artificiel est l'instrument principal du pilotage aux instruments*

Note

Les quelques cas de vol aux instruments étudiés ci-après donnent une indication sur la manière de procéder. Il n'y a pas de dogme du circuit visuel. L'organisation de la prise d'information sur les instruments dépend de chaque individu, du contexte et de la maîtrise de son propre stress.

Fig. 489 – *Le circuit visuel qui permet le contrôle des instruments est centré sur l'horizon artificiel.*

Les autres instruments sont dits secondaires : ils servent autant à confirmer les indications de l'horizon artificiel qu'à délivrer une information de cap, d'altitude, etc. L'horizon artificiel est le centre d'un circuit visuel qui doit être parcouru « en étoile » : cela signifie que vous ne devez jamais regarder successivement deux instruments secondaires sans repasser par l'horizon artificiel (fig. 489).

Le **circuit visuel** s'organise différemment en fonction des différentes phases du vol.

Fig. 490 – *En palier en ligne droite, les instruments secondaires utilisés sont le conservateur de cap et l'altimètre.*

Le vol rectiligne en palier

Les deux instruments secondaires utilisés dans le contrôle du vol en palier sont **le conservateur de cap** et **l'altimètre** (fig. 490). Le conservateur de cap sert à maintenir une trajectoire moyenne rectiligne par rapport à l'air, en maintenant un cap constant. L'altimètre permet de maintenir, une altitude constante : c'est le vol en palier.

De temps en temps, le variomètre, qui mesure la vitesse verticale, peut être inclus dans le circuit visuel. Mais attention : il affiche toujours avec retard les informations de vitesse verticale. Il ne devra donc pas être utilisé comme moyen de pilotage,

Le vol rectiligne en montée

Dans ce cas, les deux instruments secondaires sont **le conservateur de cap**, toujours pour assurer une trajectoire moyenne rectiligne par rapport à l'air, et **l'anémomètre** (fig. 491). En effet, le paramètre qui contrôle la montée en avion est la vitesse.

Fig. 491 – *En montée rectiligne, les instruments secondaires utilisés sont le conservateur de cap et l'anémomètre.*

On consulte l'altimètre de temps à autre pour savoir quelle est sa position verticale et à quel moment il faut mettre un terme à la montée (parce que l'on a atteint l'altitude que l'on souhaitait rejoindre par exemple).

Ici, le variomètre n'a pas sa place dans le circuit visuel. Au mieux, il permet de confirmer que l'avion est bien en montée. Mais la vitesse verticale n'est pas un paramètre que l'on pilote en montée, c'est un paramètre subi.

Le vol rectiligne en descente

En descente, contrairement à la montée, on surveille la vitesse verticale pour contrôler le taux de chute de l'avion grâce au **variomètre**. Si on souhaite suivre une trajectoire rectiligne, on surveille aussi le **conservateur de cap**. On contrôle aussi la vitesse de l'avion en surveillant **l'anémomètre**. De même qu'en montée, on contrôle de temps en temps l'altimètre.

Fig. 492 – *En vol rectiligne en descente, les instruments secondaires utilisés sont le conservateur de cap, le variomètre et l'anémomètre.*

Le virage en palier

Le demi-tour sans visibilité extérieure est une manœuvre qui doit être connue du pilote VFR, c'est en effet un moyen efficace de sortir d'un nuage dans lequel on est malencontreusement entré.

Lorsque l'on se trouve sans repère extérieur, de fausses sensations dues à l'oreille interne rendent dé-

Fig. 493 – *Le circuit visuel du virage en palier.*

licat le contrôle de l'inclinaison de l'avion. C'est la raison pour laquelle il ne faut **jamais dépasser une inclinaison de 30 °** lors d'un virage sans visibilité.

Outre l'horizon artificiel qui tient, rappelons-le, la place principale dans le circuit visuel, les deux instruments permettant de contrôler le virage en palier sont le **conservateur de cap** qui permet de constater le bon défilement des caps et le moment où l'on souhaite sortir du virage (à un cap choisi à l'avance), et l'**altimètre** et le **variomètre** qui permettent de détecter tout engagement dans une descente ou une montée. De temps en temps, on vérifie que l'altitude est correcte à l'aide de l'altimètre et que la symétrie du vol est assurée en surveillant l'indicateur de dérapage (bille).

Prévention des collisions avec le sol (CFIT : Controlled Flight Into Terrain)

Ce type de collision avec le sol survient notamment en cas de perte de références visuelles extérieures alors que le pilote garde le contrôle de l'avion ; pour un vol VFR, il a pour origine le non respect des conditions de vol à vue et d'une altitude minimale de sécurité ; le pilote est souvent un pilote expérimenté, parfois qualifié IFR qui fait preuve d'un excès de confiance en soi et en ses instruments notamment le GPS. Mais, sans un avion IFR, sans une qualification IFR ou même avec une qualification IFR mais sans un entraînement régulier, vous pouvez avoir un faux sentiment de sécurité. En conséquence, en cas de perte de références visuelles extérieures, appliquer les dispositions suivantes :

Conduite à tenir en cas de perte des références extérieures

En cas de perte des références visuelles extérieures, n'insistez pas en espérant retrouver de bonnes conditions de vol un peu plus loin. Sans tarder, vous devez chercher à sortir de cette situation et la meilleure décision à prendre consiste à retourner sur vos pas : un demi-tour s'impose.

Comment s'y prendre ?

Vous devez :

- décider du sens de virage en fonction de l'environnement connu : relief, contraintes d'espaces ;
- mettre en mémoire le cap de sortie de virage pour garantir de revenir sur une route inverse de la route initiale ;
- effectuer un virage en palier à faible inclinaison (20 ° maximum) pour ne pas subir un facteur de charge et conserver une meilleure maîtrise de la trajectoire ; une inclinaison au taux standard, c'est à dire à une inclinaison qui permet d'effectuer un demi-tour en une minute est recommandée.

L'inclinaison pour un virage au taux standard correspond à une inclinaison, en degré, de l'ordre de 15 % de la vitesse en kt (exemple : 15 ° pour une vitesse de 100 kt) et votre rayon de virage, en mètres, est alors de l'ordre de 10 fois votre vitesse en kt (exemple : 1 000 mètres de rayon pour une vitesse de 100 kt).

Vous devez donc vous entraîner au pilotage sans références extérieures ; votre aptitude à exécuter une manœuvre pour retrouver des bonnes conditions météorologiques est vérifiée au cours de l'épreuve en vol en vue de la délivrance de la licence PPL(A).

Objectif de la phase :

Pour exécuter un vol à vue de nuit, vous devez être détenteur d'une « habilitation au vol de nuit » qui nécessite une formation complémentaire à celle prévue au programme du PPL (A) ; elle a pour objectif l'acquisition des compétences nécessaires pour pouvoir effectuer un vol à vue de nuit en toute sécurité sans limite d'horaires autres que ceux des aérodromes accessibles à ce genre d'activité. Elle donne notamment la possibilité de permettre la poursuite de nuit d'un vol entrepris de jour mais qui, pour des raisons imprévues, ne peut arriver à destination avant la nuit aéronautique.

VOL DE NUIT

LE VFR DE NUIT

Voler de nuit en VFR est tout à fait envisageable. Les règles applicables au VFR de jour restent applicables, seules quelques règles sont complétées ou remplacées.

On passe du VFR de jour au VFR de nuit lorsque la « **nuit aéronautique** » débute, c'est-à-dire à l'heure du coucher du soleil plus 30 minutes (aux latitudes tempérées).

Exemple :
Si le soleil se couche à 18 h 27' UTC,
la nuit aéronautique débute à 18 h 57' UTC.

On passe du VFR de nuit au VFR de jour à la fin de la nuit aéronautique, qui se termine à l'heure du lever du soleil moins 30 minutes (aux latitudes tempérées).

Exemple :
Si le soleil se lève à 5 h 44' UTC,
la nuit aéronautique s'achève à 5 h 14' UTC.

ASPECTS RÉGLEMENTAIRES DU VFR DE NUIT

Les dispositions relatives aux règles de circulation aérienne applicables en VFR de nuit font l'objet de l'Appendice 5 à l'Annexe 1 de l'Arrêté du 3 mars 2006 relatif aux règles de l'air et aux services de la circulation aérienne (RDA et SCA).

Définition

Vol local : vol circulaire sans escale effectué :

- à l'intérieur des limites latérales d'une zone de contrôle (CTR) associée à un aérodrome ;
- ou, en l'absence de zone de contrôle, à 12 kilomètres (6,5 milles marins) au plus de l'aérodrome.

Vol de voyage : vol autre qu'un vol local.

Aérodromes homologués

Un vol VFR de nuit est effectué au départ et à destination d'aérodromes homologués pour ce type d'activité, cette homologation est signalée dans la rubrique « *VFR de nuit* » publiée en « Informations diverses » accompagnant la carte VAC. Pour être homologué pour les vols en VFR de nuit, un aérodrome doit satisfaire aux exigences réglementaires (dégagements, balisage) prévues par l'Arrêté du 28 août 2003 relatif aux conditions d'homologation et procédures d'exploitation des aérodromes (dit « Arrêté CHEA »).

Pour ces aérodromes, les éventuelles consignes à respecter sont portées à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique (voir les « *Consignes particulières* » propres à chaque aérodrome publiées dans les VAC).

Lorsqu'un aérodrome est dit homologué « avec limitations », il est réservé aux seuls pilotes autorisés par le directeur de l'aviation civile ou son représentant ; ces pilotes prennent alors connaissance des consignes locales fixant les règles particulières d'utilisation de cet aérodrome.

Conditions météorologiques

Un vol VFR de nuit est effectué dans les conditions météorologiques suivantes :

- Pour un vol local :
  - conserver la vue du sol et de l'eau ;
  - hauteur de la base des nuages égale ou supérieure à 450 mètres (1 500 pieds) ;
  - visibilité égale ou supérieure à 5 kilomètres.
- Pour un vol de voyage :
  - conserver la vue du sol ou de l'eau ;
  - hauteur de la base des nuages égale ou supérieure à 450 mètres (1500 pieds) au-dessus du niveau de croisière prévu ;
  - visibilité égale ou supérieure à 8 kilomètres entre les aérodromes de départ, de destination et de dégagement éventuel.
    Toutefois, un vol peut être poursuivi vers l'aérodrome de destination ou de dégagement si la visibilité transmise par l'organisme de la circulation aérienne de cet aérodrome ou par un système de transmission automatique de paramètres (STAP) est inférieure à 8 kilomètres mais supérieure ou égale à 5 kilomètres ;
  - pas de précipitation ou orage prévus entre les aérodromes de départ, de destination et de dégagement éventuel.

Pour un vol local ou de voyage, en l'absence de station météorologique, de système de transmission automatique de paramètres (STAP) ou d'organisme

de la circulation aérienne sur l'aérodrome de départ, le pilote évalue lui-même la visibilité pour les besoins du décollage.

Plan de vol

Plan de vol déposé

Un plan de vol déposé (FPL) est communiqué au moins 30 minutes avant l'heure estimée de départ du poste de stationnement ou transmis à l'organisme de la circulation aérienne intéressé, 30 minutes au moins avant l'heure de coucher du soleil à l'aérodrome de destination pour un vol de jour devant se poursuivre de nuit.

Cas particuliers

Un plan de vol n'est pas exigé pour les vols suivants ; les éléments de vol appropriés sont communiqués par radio, à l'organisme de la circulation aérienne concerné :

- vols locaux ;
- vols entre deux aérodromes pour lesquels le service du contrôle d'approche est assuré par le même organisme du contrôle de la circulation aérienne, dans les limites de l'espace aérien relevant de son autorité ;
- vols entrepris de jour qui, pour des raisons imprévues, se terminent de nuit, si une liaison radiotéléphonique est établie de jour avec l'organisme de la circulation aérienne de l'aérodrome de destination ou de dégagement.

Itinéraires, niveau minimal

Sauf pour les besoins du décollage, de l'atterrissage et des manœuvres qui s'y rattachent, un vol VFR de nuit est effectué :

- pour les vols de voyage :
  - sur des itinéraires portés à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique sauf si une clairance permet de déroger au suivi de ces itinéraires. Dans ce dernier cas, le pilote reste responsable du franchissement des obstacles ;
  - en l'absence d'itinéraires, à une hauteur minimale de 450 mètres (1 500 ft) au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 km autour de la position estimée de l'aéronef. Cette hauteur est portée à 600 mètres (2 000 ft) dans les régions où le relief s'élève à une altitude de plus de 1 500 mètres (5 000 ft).
- pour les vols locaux, sauf consignes locales particulières, à une hauteur minimale de 300 mètres (1 000 pieds) au-dessus de l'obstacle le plus élevé dans un rayon de 8 km autour de la position estimée de l'aéronef.

Espaces et services rendus

Un vol VFR de nuit peut être effectué en espaces aériens contrôlés C, D ou E gérés par des centres de contrôle d'approche (APP) ou des tours de contrôle (TWR) et en espace aérien non contrôlé ; en espace contrôlé, les clairances sont délivrées afin d'assurer :

- une séparation avec les vols IFR ;
- une information de trafic entre vols en VFR de nuit.

Le vol VFR de nuit peut évoluer en zone réglementée après autorisation préalable de l'organisme gestionnaire. Le vol VFR de nuit peut être soumis à obligation de respecter des itinéraires portés à la connaissance des usagers par la voie de l'information aéronautique.

Radiocommunications

Vol local sans organisme de la circulation aérienne

Un pilote en vol VFR de nuit évoluant en vol local, assure une veille radiotéléphonique. En l'absence d'organisme de la circulation aérienne, il indique en auto-information, au premier appel d'un autre pilote sur la fréquence, sa position, son altitude et ses intentions.

Autres aspects réglementaires

Emport de carburant

Pour le vol de nuit, la réserve finale est égale à la quantité de carburant nécessaire pour voler pendant 45 minutes au régime de croisière économique. Lorsque l'aérodrome de destination doit être utilisé avec une télécommande de balisage (PCL) il faut prévoir en plus le carburant nécessaire pour rejoindre un aérodrome de dégagement. Cet aérodrome de dégagement doit être doté d'un organisme de la circulation aérienne en fonction à l'heure prévue d'arrivée à moins que l'aéronef soit équipé de deux émetteurs/récepteurs VHF.

La règle particulière pour l'utilisation d'un aérodrome avec une PCL, fait l'objet de la Consigne Opérationnelle de Type 2 N ° 92-2-01 du 01/09/1992.

Balisage lumineux de l'aérodrome

En l'absence d'un organisme ATS sur un aérodrome doté d'une télécommande de balisage (PCL), le balisage doit être allumé, par le pilote, dès que l'avion circule sur l'aire de manœuvre et tant que l'aéronef évolue à moins de 6,5 milles marins de l'aérodrome.

L'ÉQUIPEMENT DE L'AVION

L'Arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale (paragraphe 2.6.3) fixe la liste des équipements exigés en VFR de Nuit. Votre aéronef doit être équipé de :

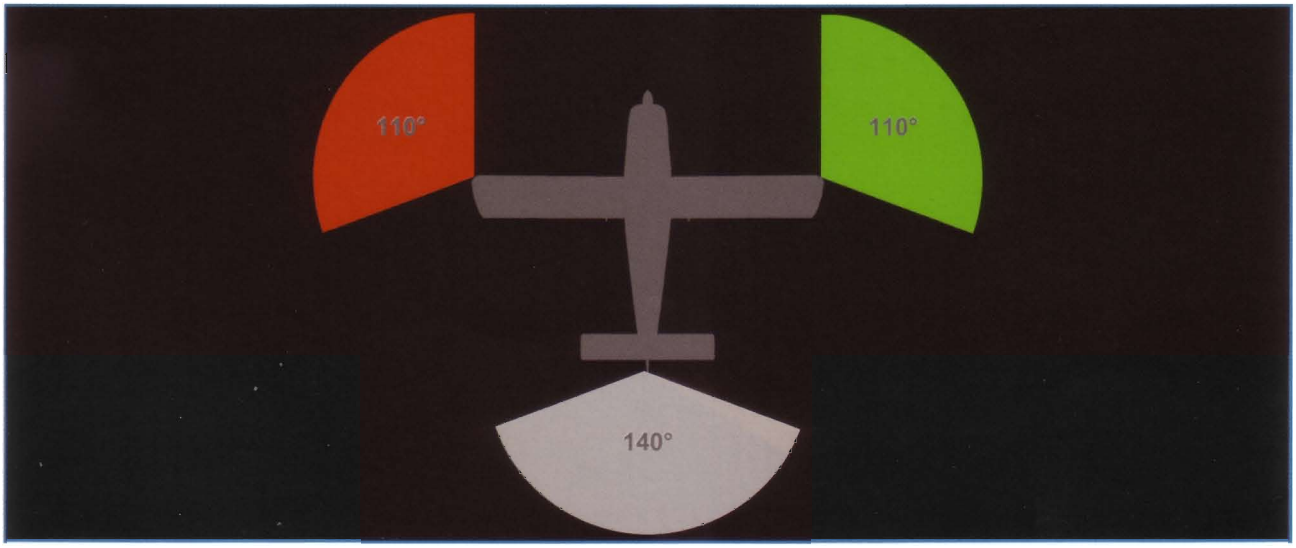


Fig. 494 – *Feux de navigation.*

- un anémomètre ;
- un altimètre sensible et ajustable d'une graduation de 1 000 pieds (304,80 mètres) avec un indicateur de pression barométrique de référence en hectopascal ;
- un variomètre ;
- un indicateur gyroscopique de roulis et tangage (horizon artificiel) ;
- un deuxième horizon artificiel ou un indicateur de taux de virage avec un indicateur intégré de dérapage (indicateur bille-aiguille) alimenté indépendamment du premier horizon ;
- un indicateur de dérapage si l'aéronef est équipé de deux horizons artificiels ;
- un indicateur gyroscopique de direction (conservateur de cap) ;
- un VOR ou un ADF automatique en fonction de la route prévue ou un GPS homologué de classe A, B ou C ;
- une lampe électrique autonome ; elle permet de pouvoir continuer à lire les instruments de bords en cas de panne électrique ; il est utile de prévoir un système de fixation (autour du cou par exemple) ;
- un jeu de fusibles ;
- un système de feux de navigation et de feux anticollision ; ils permettent grâce à leur couleur et leur disposition, de matérialiser la trajectoire des autres aéronefs (fig.494 et 495) ;
- un phare d'atterrissage (fig.496) ;
- un dispositif d'éclairage des instruments de bord et des appareils indispensables à la sécurité ;
- une montre marquant les heures et minutes (montre-bracelet acceptée).

Par ailleurs, l'emport d'un transpondeur est exigé dans les conditions prévues au paragraphe « *Obligations d'emport de transpondeur* » à la page 350.

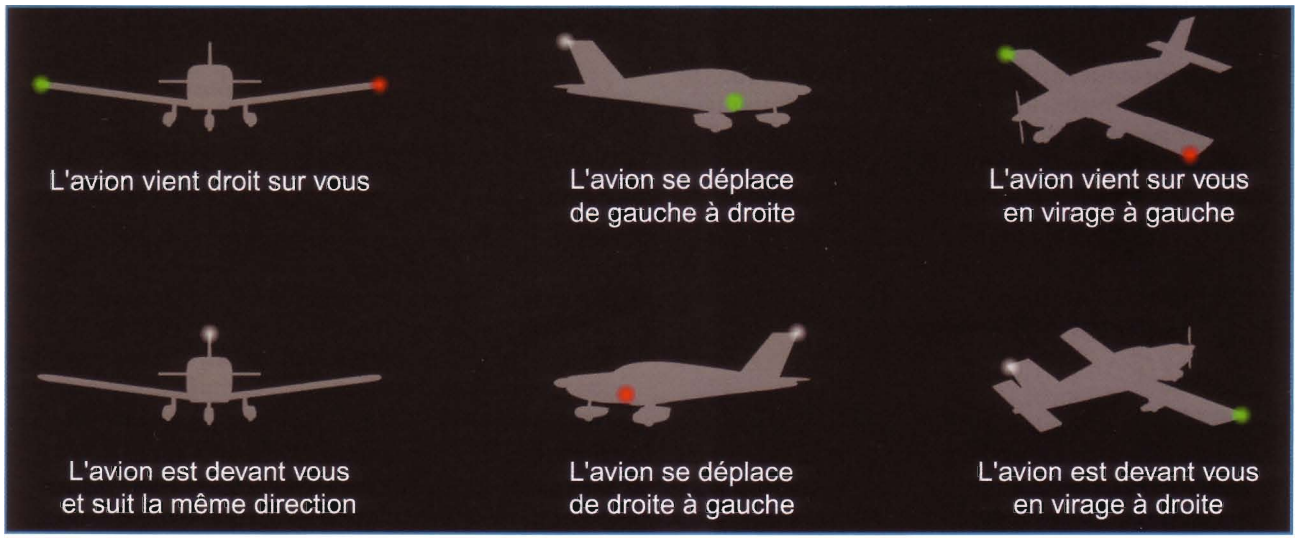


Fig. 495 – *Feux de navigation.*

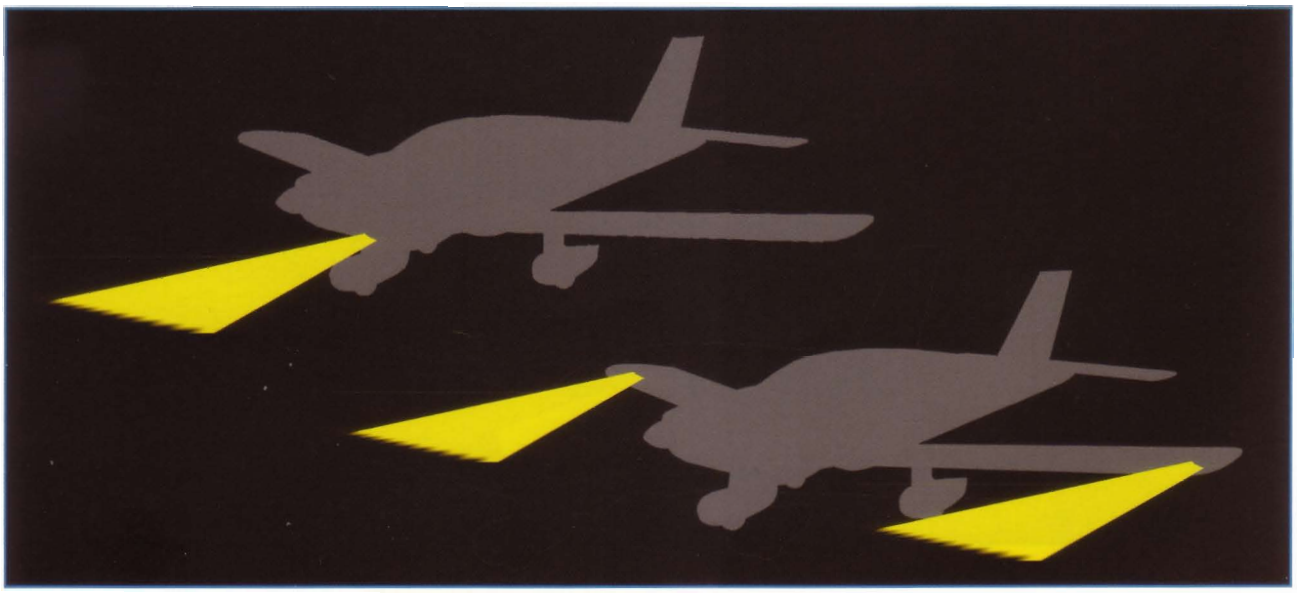


Fig. 496

LA MÉTÉOROLOGIE NOCTURNE

Voyons ici les différences existant entre les phénomènes météorologiques se produisant de jour et de nuit.

Les stratus et les brouillards

Ils sont plus fréquents la nuit que le jour et ont l'inconvénient d'être plus difficiles à déceler, surtout s'ils sont en bancs isolés. Si, à l'heure prévue du décollage ou de l'atterrissage, la température ambiante est très proche de la température du point de rosée (≅ 1 °C), les risques de brouillard existent dans l'heure qui suit, ces risques étant d'autant plus grand que la différence est plus faible. Notez que par nuit claire, la température peut chuter de 2 °C par heure, et ceci 2 ou 3 heures après le coucher du soleil.

Vous remarquerez sans doute que, lorsque le brouillard se forme, les villes fortement illuminées restent visibles par transparence, mais un halo se forme autour d'elles : c'est un indice de brouillard.

Si la visibilité verticale peut paraître satisfaisante pour tenter une approche, la visibilité oblique et a fortiori horizontale peut être pratiquement nulle et rendre l'atterrissage impossible (fig. 497).

Les orages

De nuit, l'absence de soleil supprime tout mouvement convectif. Néanmoins, certains cumulo-nimbus formés le jour par convection peuvent rester actifs jusqu'à minuit.

Il n'en est pas de même des cumulo-nimbus liés à la présence d'un front orageux et qui peuvent être actifs à n'importe quelle heure du jour ou de la nuit.

En VFR de jour, ces phénomènes sont repérables de loin, surtout si les cumulo-nimbus sont déjà bien formés. Il est en rarement de même la nuit, surtout en l'absence de lune.

La turbulence

Du fait de la disparition des mouvements convectifs, la turbulence est toujours beaucoup plus faible la nuit que le jour. Seuls subsistent les mouvements liés aux orages ou à l'action du vent sur le relief.

La modification des conditions météorologiques en route

Avant de débuter un vol de nuit, vous vous êtes assuré que les conditions météorologiques sont suffisantes tout au long du parcours. Mais il peut arriver qu'elles évoluent plus rapidement que prévu.

Aussi, de nuit, vous devez être particulièrement attentif à tous les signes annonciateurs d'un changement de conditions météorologiques. Il est extrêmement facile de pénétrer involontairement dans une couche nuageuse par nuit très noire : les nuages sont noirs sur fond noir. Il existe cependant quelques signes qui peuvent vous aider à éviter d'entrer involontairement dans une masse de nuages :

- Quand vous allez vers une couche de nuages, il semble qu'un voile translucide est lentement tiré devant et sous l'avion, les lumières jusque-là visibles clignotent puis disparaissent. De plus, un halo

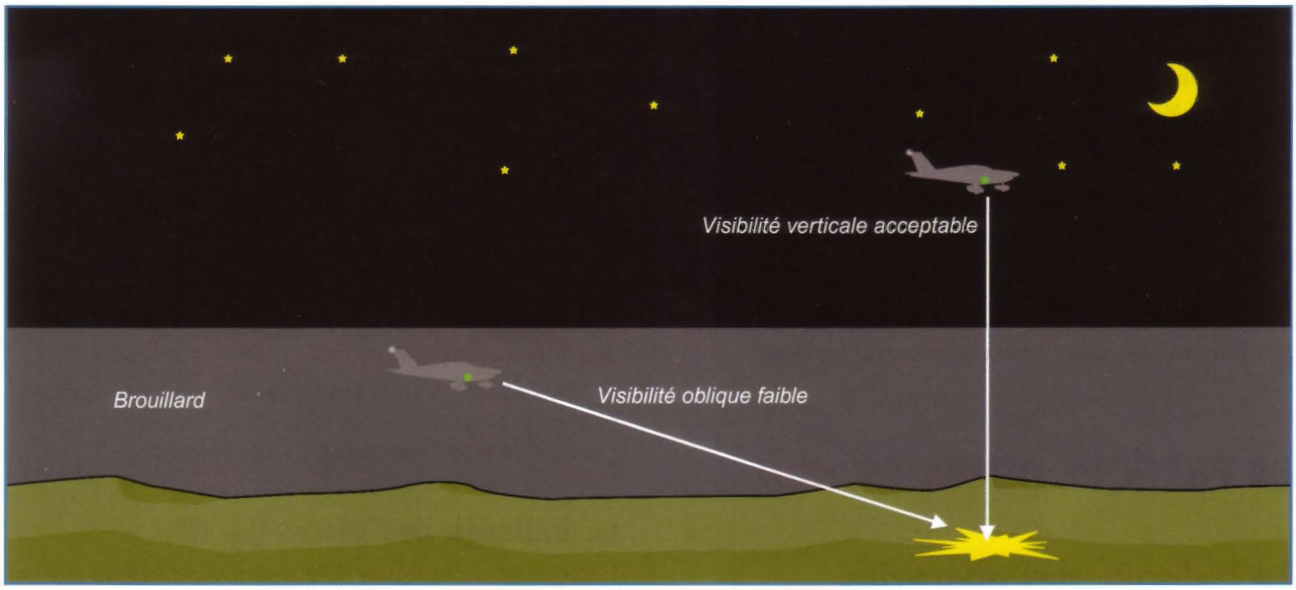


Fig. 497

se forme autour des feux de navigation : l'avion vient d'entrer dans un nuage.

- On peut détecter l'existence des conditions IMC en allumant le phare d'atterrissage pendant un bref instant. En effet, par nuit très claire, le faisceau lumineux du phare est à peine diffusé par les particules de l'air. Mais s'il y a de la brume ou si des nuages sont sur le point de se former (changement des caractéristiques de l'air), on note une diffusion lumineuse importante. Et si vous pénétrez dans une couche de nuages, le faisceau du phare d'atterrissage n'est plus directionnel, mais diffusé dans toutes les directions.

Lorsque vous réalisez que vous êtes entré dans un nuage, vous devez calmement mais immédiatement effectuer un demi-tour à inclinaison standard : vous allez de cette manière ressortir à coup sûr du nuage.

Il faut noter que dans une couche nuageuse, les feux anticollision et à éclats sont la source de fausses sensations. Il est préférable de les couper tant que les conditions de vol à vue ne sont pas retrouvées.

La visibilité et la Lune

La visibilité de nuit est totalement différente selon que la Lune brille ou non. En effet, par une nuit de pleine lune, le relief est éclairé, la vue du sol est relativement distincte et le repérage des nuages éventuels plus aisé. Les références instrumentales (horizon artificiel) ne servent alors que d'aide au contrôle de l'appareil, en supplément des références extérieures.

A l'inverse, par une nuit sans lune ou lorsque le ciel est couvert, il est difficile de distinguer le relief et les nuages. L'utilisation des références instrumentales constitue alors le moyen primaire de contrôle de l'avion : les instruments remplissent un rôle essentiel.

LE PILOTAGE DE NUIT

La vision de nuit

Dans le chapitre *« Performances et limitations humaines – La vision »*, nous avons vu que la vision par faible luminosité était assurée par les cellules de la rétine appelées « bâtonnets ». De nuit, la vision est donc assurée par les bâtonnets.

Fig. 498 – *L'horizon artificiel est l'instrument principal du pilotage sans visibilité.*

Les bâtonnets sont spécialisés dans la vision des mouvements et des contrastes, mais ne permettent pas de discerner les couleurs et les détails fins. En outre, ils se trouvent surtout sur la périphérie de la rétine, mais très peu au centre. La vision de nuit se caractérise donc par une vision en nuances de gris, sans couleur, surtout sensible aux mouvements. Elle est dite « périphérique » : les éléments visibles ne sont détectés que sur les bords du champ de vision, mais pas au centre.

La vision de nuit est considérablement diminuée par l'alcool, le tabac, et certains médicaments.

LA PRATIQUE DU VOL DE NUIT

Le balisage des obstacles

Les obstacles fixes

Les obstacles pouvant présenter un danger pour la circulation aérienne au sol ou en vol sont balisés. Le balisage de nuit est constitué de feux rouges d'intensité moyenne. Dans certains cas, afin d'assurer une meilleure protection, des phares de danger sont installés en plus ou à la place des feux d'obstacle. Ils émettent une série d'éclats rouges de forte intensité.

Les obstacles balisés situés au voisinage des aérodromes sont indiqués sur les cartes d'aérodrome.

Les obstacles mobiles

Le balisage lumineux des véhicules évoluant sur l'aire de manœuvre est constitué par des feux d'obstacles à éclat de couleur :

- jaune pour les véhicules de service ;
- rouge pour les véhicules de secours ;
- bleu pour les véhicules de police.

Le balisage lumineux des aérodromes

Différents systèmes lumineux sont installés sur les aérodromes pour vous aider à identifier les pistes, les voies de circulation, les aires de trafic et l'environnement de l'aérodrome.

Nous allons définir les types de balisages que vous pouvez rencontrer, mais tous les aérodromes ne sont pas équipés de l'ensemble de ces systèmes.

Le balisage des pistes (fig. 499)

L'exemple de le figure 499 ci-dessous correspond au balisage type d'une piste utilisable à vue, c'est à dire, utilisable uniquement par références extérieures de jour comme de nuit pour une piste avec un seuil décalé dans un sens, ici pour la RWY 08.

Délimitation de piste

- Les feux de bord de piste sont des feux blancs espacés de 60 mètres au plus, servant à délimiter la piste de nuit, ou de jour par mauvaise visibilité. Ce balisage peut être :un balisage de bord de piste haute intensité (HI),
- un balisage de bord de piste basse intensité (BI).
- Pour les pistes dotées de procédures d'approche de précision (type approche ILS), en fin de piste, les feux de bords de piste peuvent être de couleur jaune sur les 600 derniers mètres ou sur le dernier tiers de la piste si sa longueur est inférieure à 1 800 mètres.

Les feux peuvent être des feux omnidirectionnels (c'est généralement le cas d'un balisage BI), ou bi-

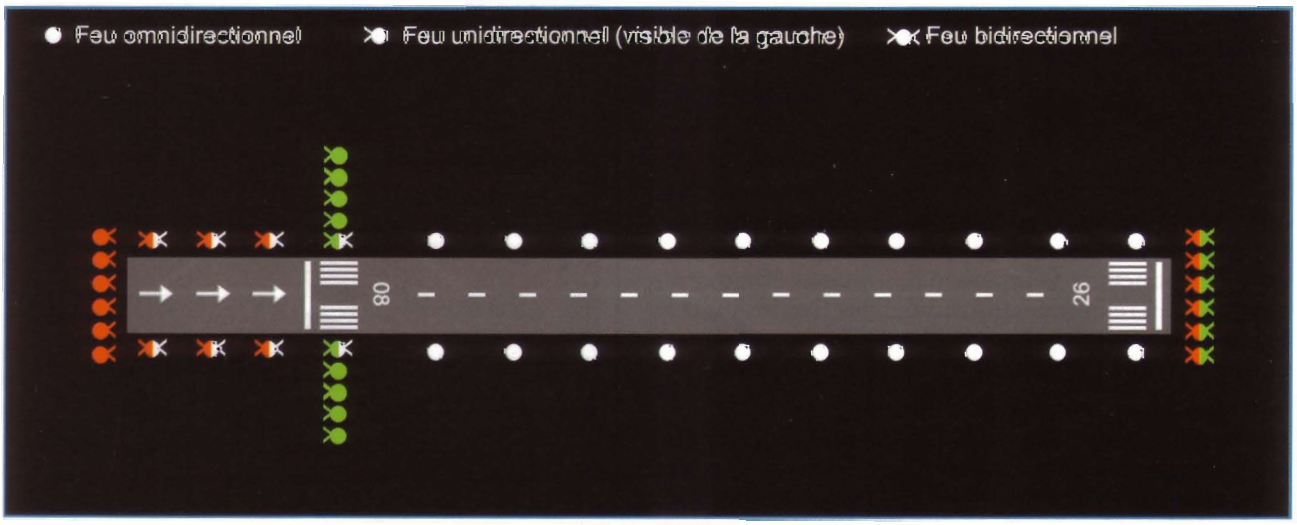


Fig. 499 – *Schéma d'un balisage de piste.*

directionnels et peuvent être de couleurs différentes selon le sens (cas des feux de bord de piste le long d'un seuil décalé utilisable dans l'autre sens de la piste : feux blancs en RWY 26 et rouges en RWY 08 dans l'exemple de la figure 499).

Feux de seuil de piste

Les feux de seuil de piste marquent le début de la partie utilisable à l'atterrissage de la piste. Ils sont implantés aux deux seuils de la piste. La rangée de feux de seuil comprend au moins six feux verts. Elle peut être complétée par des feux à éclats blancs installés de part et d'autre du seuil.

Les seuils décalés (DTHR : Displaced THReshold) sont balisés de nuit comme des seuils ordinaires si la piste est équipée de feux encastrés sinon le DTHR est matérialisé par des barres de cinq feux verts unidirectionnels vus dans le sens de l'atterrissage uniquement (à l'atterrissage en RWY 08 dans l'exemple de la figure 499). La partie de la piste qui précède le DTHR est donc balisé par des feux de bord de piste rouges comme indiqué ci-dessus.

Feux d'extrémité de piste

Ces feux matérialisent la fin de la partie de la piste utilisable au roulage à l'atterrissage ou au décollage ; ils sont de couleur rouge.

Ces feux sont couplés avec les feux de seuil de piste utilisable dans l'autre sens s'il n'existe pas de DTHR dans ce sens (c'est le cas en RWY 26 dans l'exemple de la figure 499).

Autres balisages

Une manche à vent éclairée doit être visible à l'approche.

Sur les aérodromes utilisables en IFR, d'autres équipements peuvent être installés en fonction du type d'approche aux instruments pour lesquels la piste est homologuée (approches aux instruments classiques, de précision de catégorie 1, 2 ou 3.).

On peut trouver notamment :

- un balisage HI de l'axe de piste codée en couleur afin de rappeler aux pilotes une notion de distance restante utilisable ;
- un balisage axial des voies de circulation (feux verts) ;
- des feux de zone d'impact sous la forme de plusieurs barrettes de feux blancs encastrés sur les 900 premiers mètres de la piste ;
- un balisage de l'axe des sorties de piste (feux alternativement verts et jaunes) ;
- des barres d'arrêts (feux unidirectionnels rouges encastrés) destinés à renforcer les points d'arrêt, télécommandées ou fixes selon l'usage.

Sur les aérodromes homologués uniquement pour le VFR de nuit par contre, l'exploitation d'une piste peut être autorisée sous certaines conditions après la mise en place de feux autonomes (balises portatives) pour délimiter les bords de piste.

Le balisage des voies de circulation et des aires de trafic

Les voies de circulation et les aires de trafic sont délimitées par des feux bleus ou éventuellement par des balises réfléchissantes bleues.

Les aides lumineuses à l'approche

Les lignes d'approche

De haute et basse intensité, elles sont destinées à faciliter au pilote le passage de références instrumentales à des références extérieures au cours de l'approche au moment de la sortie de la couche nuageuse et poursuivre ainsi l'approche et l'atterrissage en sécurité. Elles ne sont pas d'une utilité fondamentale pour le pilote volant en VFR de nuit.

Les autres aides visuelles

Le **PAPI** est une aide très précieuse en approche finale. On le trouve couramment sur les aérodromes pouvant recevoir des vols de nuit. Le PAPI peut être installé non seulement comme installation de confort mais aussi pour neutraliser un obstacle qui n'est pas balisé ou un gabarit routier ou ferré (cas d'une route ou d'une voie ferrée passant à proximité de l'entrée de piste. En cas de neutralisation d'obstacle, l'utilisation de la piste de nuit peut être interdite en cas d'indisponibilité du PAPI ; il y a donc lieu de bien connaître les consignes particulières publiées sur les cartes VAC ainsi que les NOTAM avant d'utiliser un aérodrome de nuit. Attention aussi à la pente matérialisée par un PAPI qui peut être nettement plus forte que la pente couramment utilisée : il faut alors bien respecter la pente indiquée par l'aide visuelle.

Mise en œuvre du balisage
(cf. Atlas VAC GEN 53)

Sur les aérodromes dotés d'un organisme de la circulation aérienne, le balisage nécessaire aux opérations en cours est mis en œuvre par ces organismes.

En l'absence d'un organisme de la circulation aérienne, le balisage est mis en œuvre :

- soit par une personne habilitée par l'autorité compétente (accès à la commande pour un balisage électrique ou la mise en place de balises portatives) ;
- soit par le pilote si l'aérodrome est doté d'une télécommande de balisage (**PCL : Pilot Controlled Lighting**).

Lors du déclenchement par PCL (3 coups d'alternat en 5 secondes sur la fréquence utilisée dans la circulation d'aérodrome), les systèmes tels que la piste,

la ligne d'approche, les PAPI, les feux d'obstacles, les manches à vent, les voies de circulation, les aires de trafic sont mis en œuvre en basse intensité pour une période de 15 minutes, période qu'il faut renouveler si nécessaire en temps utile. Si l'aérodrome en est équipé, des équipements supplémentaires comme les feux à éclats, ou le passage en haute intensité sont télécommandés en donnant 5 coups d'alternat (toujours en 5 secondes) et peut être commandé directement en donnant les 5 coups ; le retour à la première situation se fait en donnant à nouveau 3 coups d'alternat. Le balisage doit être en fonction :

- avant que l'aéronef circule sur l'aire de manœuvre,
- tant que l'aéronef évolue à moins de 6,5 NM de l'aérodrome.

En cas de panne du balisage, il est nécessaire d'attendre 10 secondes environ avant de relancer un ordre de mise en marche (temps de démarrage du groupe électrogène de secours).

Le balisage peut être éteint en donnant 7 coups d'alternat mais un tel ordre ne peut être donné qu'après s'être assuré de l'absence d'autres utilisateurs sur la fréquence.

Procédure d'exploitation des aérodromes

Aérodromes dotés d'une alimentation électrique de secours

Pour être homologué sans restriction, le balisage électrique doit être normalement secouru avec un temps minimum de commutation du groupe de secours de 15 secondes. En cas de panne du secours, l'activité VFR de nuit peut être maintenue dans les conditions prévues pour un aérodrome non doté d'une alimentation électrique de secours.

Aérodromes non dotés d'une alimentation électrique de secours

Ces aérodromes peuvent être ouverts au VFR de nuit pour les pilotes autorisés (pilotes basés sur l'aérodrome en général) sous réserve qu'une consigne locale prévoit le dégagement vers un aérodrome accessible et normalement secouru. Cette consigne fixe notamment les conditions météorologiques minimales afin d'assurer le dégagement vers l'aérodrome prévu conformément aux dispositions de l'arrêté relatif au VFR de nuit Avion *(cf. page 409)*.

Aérodromes dont le balisage lumineux de piste est assuré par des balises autonomes

Ces aérodromes ne sont ouverts qu'au VFR de nuit local et VFR de nuit de voyage pour les pilotes autorisés. (pilotes basés sur l'aérodrome en général).

La mise en œuvre de l'avion

La visite pré-vol

Vous devez l'effectuer de la manière habituelle, mais de préférence sur une aire bien éclairée et en s'aidant d'une lampe torche.

Vous devez en particulier vous assurer du bon fonctionnement des différents dispositifs d'éclairage (éclairage du tableau de bord, feux de position, phares, feux d'anticollision, feux à éclats, etc.) et de la présence à bord de fusibles de rechange.

La propreté des vitres et du pare-brise est encore plus importante que de jour. Veillez donc à ce qu'ils soient parfaitement propres.

La familiarisation avec la cabine

Vous devez parfaitement connaître la cabine de votre avion, l'instrumentation, la position des divers contacts, disjoncteurs et commandes de façon à être capable, en cas de panne d'éclairage, de les utiliser de la même façon que s'ils étaient éclairés.

La mise en route du moteur

De nuit, de plus grandes précautions doivent être prises lors de la procédure de mise en route du moteur. Il est en effet très difficile pour les personnes au sol de déterminer si vous êtes sur le point de mettre le moteur en marche.

Aussi, en plus de la vérification habituelle de l'absence de personnes devant l'appareil et près de l'hélice, vous devez allumer les feux de position et d'anticollision, ce qui signifie que vous allez mettre le moteur en route.

Lorsqu'il fait très froid et d'une manière générale lorsqu'il est nécessaire d'économiser l'énergie électrique des batteries, on allume la lampe torche afin de signaler que le moteur va être mis en marche.

Le roulage

Dès que le moteur tourne et que les différentes vérifications sont effectuées (vitesse de rotation correcte, pression d'huile correcte), les équipements électriques peuvent être mis en fonctionnement. Cependant, le phare de roulage reste éteint jusqu'à ce que vous soyez près à débuter le roulage.

Les performances des faisceaux lumineux des phares de roulage montés sur les avions légers sont très inférieures à celles des phares d'automobile (faisceau plus étroit, portée plus faible). Ainsi, l'éclairage du parking et des voies de circulation de part et d'autre de l'avion est quasiment nul. La vitesse de roulage doit donc être très faible de nuit, particulièrement sur les aires de stationnement encombrées. De plus, l'évaluation des distances est plus difficile de nuit et nécessite une certaine adaptation pour rouler en ne disposant pour seul éclairage que du phare de roulage.

Si vous utilisez de nuit un aérodrome qui ne vous est pas familier, il est prudent de demander des conseils ou des instructions sur les procédures de roulage : vous pourriez en effet facilement emprunter une voie en construction ou en travaux sans vous en rendre compte.

C'est au cours du roulage et principalement dans les virages que vous devez vérifier le bon fonctionnement des instruments gyroscopiques (l'horizon artificiel, le conservateur de cap, l'indicateur de virage).

Le départ et l'arrivée

Le décollage et la montée initiale

Les phares d'atterrissage sont allumés juste avant le décollage.

Bien qu'il n'y ait aucune difficulté particulière à effectuer un décollage de nuit, le premier décollage peut donner une impression visuelle déconcertante à cause de l'absence de références visuelles extérieures dès que l'avion a quitté le sol. C'est particulièrement vrai sur les aérodromes éloignés de toute zone urbanisée, donc éclairée.

La procédure recommandée est d'utiliser les références instrumentales : dès que vous avez décollé, vous affichez l'assiette de montée (donnée dans le manuel de vol) sur l'horizon artificiel. Vous contrôlez ensuite que l'avion est bien en montée à l'aide de l'altimètre et du variomètre. Vous adaptez enfin votre assiette pour que la vitesse de l'avion soit celle qui est indiquée pour la montée dans le manuel de vol de l'avion.

La montée initiale a pour objet de vous dégager des obstacles (grues, collines, bâtiments, etc.) qui sont aux abords de la piste. Vous devez donc impérativement poursuivre votre montée après le décollage jusqu'au moment où vous avez atteint une altitude dite « de sécurité », qui est l'altitude qui vous permet d'assurer la hauteur minimale de survol en VFR de nuit (1 000 ft en vol local, 1 500 ft en voyage, sauf si vous rejoignez un itinéraire publié où la hauteur minimale de survol peut être plus basse).

L'approche et l'atterrissage

Si l'aérodrome est équipé d'un indicateur visuel de pente PAPI qui matérialise le plan de descente, l'approche ne pose pas de problème particulier.

Dans le cas contraire, le plus grand soin doit être apporté aux procédures qui permettent d'effectuer un circuit d'aérodrome rigoureux et standardisé et de maintenir le bon angle de descente en approche finale. Il convient en particulier de contrôler le plan de descente en utilisant simultanément altimètre et variomètre. Il est recommandé de viser un point situé au-delà du seuil de piste comme point d'impact.

De nuit, l'air est souvent calme et la turbulence et le vent sont souvent absents près du sol, ce qui rend le pilotage plus facile pendant l'approche finale. Mais les impressions visuelles dues à l'obscurité donnent l'impression que l'on se trouve trop haut sur le plan de descente, ce qui pousse le pilote à adopter une pente d'approche trop faible. En outre, lorsqu'on se trouve en courte finale proche de l'arrondi, la partie de la piste qui est éclairée par les phares d'atterrissage semble plus haute que le trou noir qui l'entoure, ce qui pousse, surtout au début, à effectuer un arrondi trop tôt qui se termine alors souvent par un atterrissage dur.

La navigation de nuit

La préparation

Elle s'effectue comme pour un vol de jour. Vous devez en plus vérifier deux points importants :

- Les aérodromes de départ, d'arrivée et de dégagement doivent être accessibles aux heures prévues d'arrivée : en effet, de nombreux aérodromes sont homologués pour le VFR de nuit, mais ne sont pas ouverts en permanence. D'autres, bien qu'équipés de télécommande de balisage, ne sont pas accessibles au-delà d'une certaine heure afin de limiter les nuisances sonores ; il y a donc lieu d'étudier les consignes particulières des aérodromes.
- Le trajet que vous avez choisi doit être en conformité avec la réglementation relative au VFR de nuit en tenant compte, le cas échéant, des itinéraires publiés pour ce type de vol dans l'AIP et repris dans le *« Complément aux cartes aéronautiques »* diffusées par le SIA.

Les repères

Les meilleurs repères visuels sont sans aucun doute les villes. Les autoroutes et les routes importantes sont aussi d'excellents repères. Mais dans certaines régions, leur densité peut être telle que la confusion est aisée : prenez toujours le soin de bien vérifier l'orientation de la route que vous croyez identifier. Certains points caractéristiques tels que rivières ou montagne se découpant dans le ciel sont utilisables la nuit, mais uniquement lorsque le sol est éclairé par la Lune.

Les moyens de radionavigation

De nuit, vous pouvez utiliser les VOR sans problème. Par contre, le radiocompas peut-être sujet à d'importantes erreurs. En effet, il faut savoir que les signaux radioélectriques sont absorbés ou réfléchis selon le niveau de ionisation des diverses couches ionisées qui existent dans la haute atmosphère et la fréquence utilisée.

Ainsi les ondes moyennes (MF) utilisées pour les ADF sont absorbées de jour par les couches « D » et « E » situées respectivement à une altitude comprise entre 50 et 80 km pour la première et 100 à 125 km pour la seconde) ; mais ces couches disparaissent lorsque le rayonnement solaire est masqué par la terre ; les ondes moyennes sont alors réfléchies par la couche « F » située généralement autour de 250

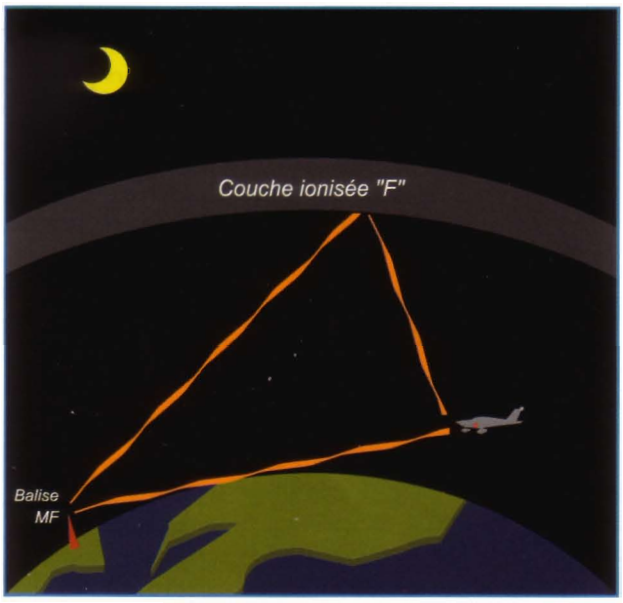


Fig. 500 – *De nuit, la propagation des ondes électriques peut être perturbée par l'ionosphère.*

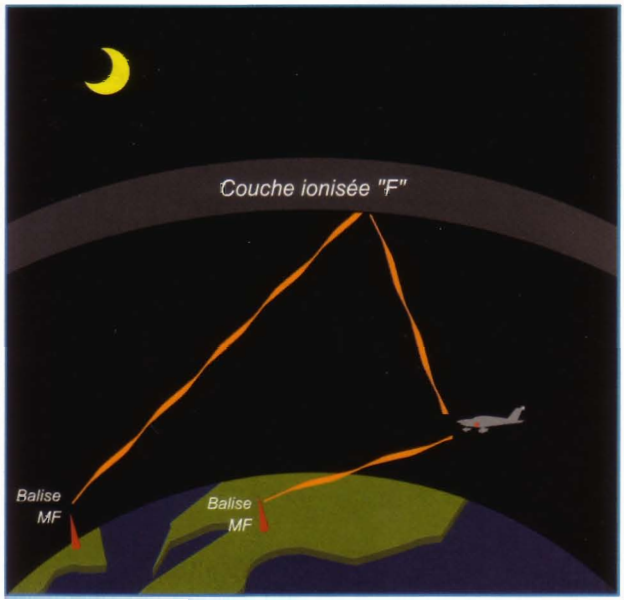


Fig. 501 – *Deux balises de même fréquence peuvent être reçues en même temps.*

à 300 km (durant le jour, cette couche se scinde en deux pour former les couches F1 et F2).

De ce fait, la nuit, vous pouvez recevoir l'onde directe et l'onde de surface comme rappelé au paragraphe *Limite d'utilisation et précision du radio compas dans l'UI III.3 à la page 237* mais aussi l'onde d'espace par réflexion pouvant venir de balises très éloignées qui peuvent fonctionner sur la même fréquence que le moyen que vous voulez utiliser (fig. 500 et 501). Ces multiples réceptions affectent bien entendu la précision de l'indication donnée par votre radiocompas et cette dernière est vite inexploitable.

Les procédures d'urgence

Panne d'éclairage

Du tableau de bord

Utilisez l'éclairage de secours ou l'éclairage cabine s'ils existent ou, à défaut, la lampe électrique autonome.

Des phares d'atterrissage

En courte finale, diminuez le taux de chute (200 ft/min) en adoptant une assiette plus cabrée et en ajustant la puissance. Le maintien de la bonne trajectoire d'approche et l'évaluation de la hauteur se font par l'observation des rampes de délimitation de bord de piste. Ne réduisez les gaz qu'au moment de l'impact. Ne cherchez pas à arrondir car vous risqueriez de faire un palier trop haut se terminant par un atterrissage dur.

Panne radio

Poursuivez votre vol suivant les indications notées au plan de vol. Si votre aérodrome de destination bénéficie d'un service de contrôle, effectuez en dehors des trajectoires d'approche un ou plusieurs tours complets, phares allumés.

Exécutez alors les instructions qui vous sont données par le service de contrôle aux moyens des signaux lumineux.

Panne de génération électrique

Coupez tous les équipements électriques non indispensables pour la poursuite immédiate du vol.

Fig. 502 – *L'ampèremètre, ici à zéro central, permet de contrôler que l'alternateur fonctionne bien.*

N'utilisez la radio que dans les phases où elle est nécessaire. Déroutez-vous vers l'aérodrome ouvert au trafic de nuit le plus proche, dans la mesure où vous êtes certains de cette ouverture à l'heure estimée d'atterrissage. En effet, une panne d'alternateur ou de génératrice prend, de nuit, une ampleur particulière : quand la batterie sera vidée, tout s'éteindra dans l'avion. Il est donc nécessaire de surveiller le bon fonctionnement de l'alternateur ou de la génératrice à l'aide de **l'ampèremètre** (fig. 502).

Deux types d'ampèremètres sont utilisés : l'ampèremètre à zéro central et l'ampèremètre à zéro décalé.

L'ampèremètre à zéro central

Il se lit de la manière suivante :

- Fonctionnement normal : l'aiguille se trouve à zéro ou sensiblement du côté positif (à droite du zéro) ;
- La batterie se décharge : l'aiguille part franchement du côté négatif (à gauche du zéro).

L'ampèremètre à zéro décalé

Il indique l'intensité du courant fourni par l'alternateur.

- Fonctionnement normal : plus vous utilisez de consommateurs électriques (instruments, lumières, etc.), plus l'aiguille dévie vers la droite.
- Panne d'alternateur : l'aiguille reste sur zéro.

INDEX

Les mots indexés se trouvant dans le texte sont signalés en **rouge**.

Note de l'éditeur

Nous vous proposons de nous signaler par courrier postal ou à ***auteurs@cepadues.com*** *tout ajout dans cet index qui vous semblerait judicieux, toute erreur, fautes de typographie ou d'orthographe ; nous aurons l'occasion de vous en remercier.*

A

ABAS (Airborne Based Augmentation System) 359
accident 31
activation du plan de vol 366
ADF (Automatic Direction Finder) 241
aérodrome 153
aérodrome non contrôlé 153–165
aérologie 212
AESA (Agence Européenne de Sécurité Aérienne) 28
AFIS (Aerodrome Flight Information Service) 153
aides lumineuses 415
ailerons 87
AIP (Aeronautical Information Publication) 27
AIRAC 31
aire à signaux 158
aires de trafic, mouvement, manœuvre, atterrissage 154
AIRPROX 394
AIRWAY (AWY) 280
alignement 234
alimentation 113
allongement 83
allumage 116
alphabet 166
alternateur 93
altimètre 99
altimétrie 99
amerrissage forcé 343
AMSL (Above Mean Sea Level) 194, 287
anémomètre 96
anticollision 411
anticyclone 175
APAPI 219
approche 209, 417
arrêt du moteur 132
arrondi 214
ASDA (Accelerate Stop Distance available) 155
ASFC (Above SurFaCe) 194
assiette 134
assistance météorologique 316
ATIS (Automatic Terminal Information Service) 151, 317
ATIS/S (ATIS sans protection, utilisable qu'au sol) 153
ATIS/V (ATIS à portée réduite sur aérodrome à trafic VFR) 153
atmosphère type 73
ATPL (Air Transport Pilot Licence) 28
attention (l') 50
atterrissage 214
atterrissage de nuit 417
atterrissage forcé 342
atterrissage hors aérodrome 340
audition 47
auto-information 153
avertisseur de décrochage 204
AWY (AIRWAY) 280
axe de lacet 247

B

balisage 414
balise de détresse 397
barotraumatismes 44
BEA (Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'Aviation Civile) 31
becs 206
BFO 241
BIA (Bureau d'Information Aéronautique) 292
bilan carburant 367
bille 107, 147
bille-aiguille 107
bord d'attaque 76
bord de fuite 76
brevet de base 13
brise de mer 381
brise de pente et de vallée 378
brise de terre 382
brouillard 379, 382, 412
brouillard d'advection 328
brouillard de rayonnement 327
brume (Br) 325
buffeting 204

C

calage 111
calages altimétriques 100
cap 108
capsule anéroïde 100
carburant 114, 255, 367
carburateur 119
carburateur (givrage) 321
carnet de route 346
carnet de vol 132
cartes aéronautiques 193
cartes d'aérodromes 244
cartes (de navigation) 186
cartes VAC (Visual Approach Chart) 244
casserole 147
CAVOK (Cloud And Visibility OK) 306
CEAC (Conférence Européenne de l'Aviation Civile) 28
centrage 251
Centre d'Information de Vol (FIC) 279
certificat médical 40
CFIT (Controlled Flight Into Terrain) 405
check-list 130
cheminement 225, 386
circuit carburant 112
circuit d'aérodrome 156
circuit de piste à basse hauteur 221
circuit électrique 93
circuit visuel 403

circulation aérienne 170, 277, 393
Circulation Aérienne Générale (CAG) 170
Circulation Aérienne Militaire (CAM) 170
circulation au sol 155
cisaillement de vent 217, 323
clairance 151, 283
classes d'espace aérien 290
cliquetis 119
clôture du plan de vol 366
CMSA (Commission Mixte de Sécurité de la gestion du trafic Aérien) 394
collationnement 151, 167
commandant de bord 171, 345
commande de richesse du mélange 128
commandes de vol 69
commission de discipline 393
compas 104, 192
compensateur 145
compensation 105, 192
Compétences linguistiques 169
condensation 266
conditions d'expérience récente 346
conditions météorologiques en VFR de nuit 409
convection 268
convention de Chicago 34
coordonnées géographiques 185
corde du profil 78
courbure du profil 88
CPL (Commercial Pilot Licence) 28
CSCA (Commission de Sécurité de la Circulation Aérienne) 394
CTA (Control Traffic Area) 280
CTR (Control Traffic Région) 282
cumulo-nimbus (Cb) 273
CWY (ClearWaY) 155

D

DAC (Direction de l'Aviation Civile) 30, 33
DAST (Direction des Affaires Stratégiques et Techniques) 29
DCS (Direction du Contrôle et de la Sécurité) 30
déclinaison magnétique 198
décollage 146, 417
décrochage 85, 204
délégations territoriales 30
densité 74
dépassement d'un aéronef 173
dépôt du plan de vol 365
dépression 175
dérapage 147, 149
dérive 64, 201, 295
dernier virage 156
description de l'avion 60
détonation 119
détresse 397
déviation du compas 192
devis carburant 367
dièdre 61, 149
Direction Générale de l'Aviation civile (DGAC) 29
directionnel 108
division de l'espace aérien 279
DME (Distance Measuring Equipment) 352
documents officiels 31, 346
dorsale 175
dossier de vol 306
DRE (Direction de la Régulation Économique) 29
DSNA (Direction des Services de la Navigation Aérienne) 30

E

échelle 188
effet de sol 82, 148, 218
effets de l'altitude 43
effets des accélérations 44
effets secondaires des gouvernes 148
égarement 226
EGNOS (European Geostationnary Overlay System) 359
EGT 129
empennage 64
emplanture 61
emport de carburant 367
emport de documents 346
envergure 61
équilibration 47
équilibre 246
erreurs de représentation 58
erreurs humaines 56
erreur systématique 225
espace JAA 28
estime 226
étape de base 164
état de surface 84
événement ATM 394
Événements et incidents de l'aviation civile (Notification) 395
évitement de mauvais temps 228
extrémité de piste 415

F

facteur de charge 141
facteurs humains 43
fatigue 53
faux plat 387
FCL (Flight Crew Licencing) 28
feux de navigation 411
feux de seuil de piste 415
fiche de pesée 253
finale 156
finesse 85
FIR (Flight Information Region) 279
fœhn 381
foudre 324
foyer 249
front 298
front chaud 300
front froid 300
front froid secondaire 303
fuselage 62

G

Galiléo 359
GBAS (Ground Based Augmentation System) 359
gelée blanche 320
gestion de ses propres ressources 51
gisement 241
givrage 319
givrage du carburateur 120
glide 351
GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) 355
GNSS (Global Navigation Satellite System) 356
gonio 243

gouverne de direction 64, 89
gouverne de profondeur 64, 88
GP (Glide Path) 351
GPS (Global Positioning System) 355
grade 124
gradient de vent 217
grain 324
grêle 324
GSAC (Groupement pour la Sécurité de l'Aviation Civile) 30
GUND (Geoid UNDulation) 356
gyroscope 105

H

hectopascal (hPa) 100
hélice 110
hélice à calage fixe 111, 126
hélice à calage variable 111, 127
horizon artificiel 105, 411
HSI (horizontal Situation Indicator) 355
huiles 124
humidité 266
hygiène de vie 48
hypersustentation 204
hypoxie d'altitude 43

I

IAC (Instrument Approach Chart) 31
IFR (Instruments Flight Rules) 171
illusions sensorielles 48
ILS (Instrument Landing System) 351
IMC (Instrument Meteorological Conditions) 171
incidence 78, 84, 134
incidents de la circulation aérienne 393
incidents techniques 418
inclinaison 90, 141
incursion de piste 156
indicateur de virage 107
indicatifs d'appel 166
information aéronautique temporaire 292
information de vol 277
infractions aux règles 393
instruments de bord 96
intégration dans la circulation d'aérodrome 163
interception 346, 398
interruption volontaire du vol 340
isobare 74, 102
isogones 192, 199
isotherme 74

J

JAA (Joint Aviation Authorities) 28
JAR (Joint Airworthiness Requirements) 28

K

Karman 62

L

lacet inverse 149
langues à utiliser 169
latitude 185
LDA (Landing Distance Available) 214
lenticulaires 378
licence de pilote privé avion 38
lignes d'approche 415
lisibilité des messages 168
localizer 351
locator 240
LOC (localizer) 351
longerons 61
longitude 185
longueurs déclarées 154

M

magnétos 117
manche à air 158, 178
manche (le) 66
manette des gaz 119
maniabilité 249
manuel de vol 258
marge 305
marge statique 253
mille marin 97
markers 352
masse 251
masses d'air 273
masse volumique 83, 179
mayday/mayday 167
mélange 112
mémoires 50
méridiens 184
METAR (aviation routine weather report in aeronautical code) 306
météorologie côtière 381
météorologie de montagne 377
météorologie nocturne 412
mise en route 131, 416
mission Aviation Légère 29
moments 246
montagneuse 385
montée à pente max 293
montée à Vz max 293
morse 166
moteur 126

N

navigation 183
NDB (Non Directional Beacon) 240
nervures 61
niveau de vol 287
nœud 97
nord magnétique 198
nord vrai 198
NOTAM (NOtice To Air Men) 260, 292
notion d'erreur 56
nuages 268
nuisances 346
nuit aéronautique 198, 409
numéro de piste 154

O

OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) 27
OBS (Omni Bearing Selector) 235
occlusion 298, 304
octane 123
OLIVIA (Outil en Ligne d'Intégration et de Visualisation d'Informations Aéronautiques) 292, 316, 365
orage 323, 409
orientation à l'aide d'une carte 190
orthodromie 184

P

palier 134
palonniers 66
pan pan/pan pan 167
PAPI (Precision Approach Path Indicator) 219, 415
parallèles 184
PCL (Pilot Controlled Lighting) 415
penne 61
pente 134, 209
perception 45
performances 206
performances et limitations 259
performances intellectuelles 49
perturbations 298
phraséologie 166, 402
pieds 100
pilotage sans visibilité 403
pitot 97
plan 5 % 209
plan de vol 361
point de rosée 266
polaire 85
portance 79, 136
poste de pilotage 66
PPL (Private Pilot Licence) 28
précipitations 324
premier et second régime 207
préparation du vol 370
pression 74, 175
pression de calage 100
pressions 102
prévention des collisions 170, 405
prévention des incursions 156
priorité 402
priorité des messages 167
prise de décision et jugement 52
prolongement d'arrêt (SWY : StopWaY) 155
prolongement dégagé (CWY : ClearWaY) 155
proprioception 48
PTE 223
PTL 223
PTU 224
Publications d'Informations Aéronautiques (AIP) 31
puissance utile 206
puissance nécessaire 207

Q

QDM (relèvement magnétique de la station par l'avion) 228
QDR (relèvement magnétique de l'avion par une station) 228
QFE (calage altimétrique au niveau de l'aérodrome) 100
QNH (calage altimétrique ramené au niveau moyen de la mer) 101

R

rabattants 323, 377
radar 347
radial 228
radiocompas 240
radionavigation 228
radiotéléphonie 166
RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) 357
raisonnements 51
rayon d'action 207
rayon de virage 141, 387
rayonnement solaire 278
RCA (Réglementation de la Circulation Aérienne) 170, 345
RCC (Rescue Coordination Center) 396
recherche et sauvetage 397
REC (Retour d'Expérience Confidentiel) 31
redevance d'atterrissage 346
refroidissement du moteur 123
régions d'information de vol (FIR) 279
règles de l'air 170
règles d'emport du carburant 367
renouvellement de la licence 13
repères 226
représentation mentale 49
réserves de carburant 367
respect des règles de l'air 345
ressource 143
résultante aérodynamique 77, 82, 140
richesse du mélange 128
RMI (Radio Magnetic Indicator) 242
rotation 147
rotors 323, 377
roulage 71, 131, 416
roulis 247
route 198
RPB (Référence Pare-Brise) 134, 212
rythme circadien 54

S

sanctions 393
SAR (Search And Rescue) 279
saturation 266
saumon 61
sauvetage d'urgence 396
SBAS (Satellite Based Augmentation System) 359
Schengen 165
secteur chaud 300
SEFA (Service d'Exploitation de la Formation Aéronautique) 30
SEP (classe monomoteur à pistons) 38
service d'alerte 279
Service de contrôle 277
seuil décalé (DTHR : Displaced THReshold) 154
SFC (SurFaCe) 194
SIGMET (avis de phénomène dangereux) 310
signaux de circulation au sol 162
signaux de circulation d'aérodrome 157
situations délicates 333
SIV (service d'information de vol) 277
SNA (Services de la Navigation Aérienne) 30, 33
sommeil 53
SPECI (message d'aggravation ou d'amélioration météo) 309
squelch 166
SSR (Secondary Surveillance Radar) 348
stabilité 249

stabilité (MTO) 267
STAP (Système de Transmission Automatique des Paramètres) 164
statique 94
statut des aérodromes 165
stratosphère 73
stratus (St) 271, 328, 379, 412
stress 54
SUP AIP 292
surface alaire 83
surface frontale froide 298
surface isobare 74, 102
surfusion 319
survol 171, 392
survol de l'eau 389
symétrie du vol 147

T

T 160
tableau de bord 67
TAF (aérodrome forecast) 310
tangage 88, 247
taxiway 154
température 74, 315
temps de conscience utile 44
TEMSI (carte du temps significatif) 313
TEND (tendance de la prévision d'atterrissage) 309
thalweg 175
TMA (TerMinal control Area) 280
TMG (classe planeur motorisé à dispositif incorporé) 38
TODA (Take-Off Distance Available) 155
TO-FROM 235
TORA (Take-Off Run Available) 155
tourbillon marginal 80
tour de contrôle 151
train d'atterrissage 65
traîne 302
traînée 79
traînée induite 80, 148
trajectoire 198
transformation adiabatique 267
transition (niveau, couche, altitude) 288
transpondeur 348
transport de passagers 346, 392
trim 146
tropopause 73
troposphère 73
turbulence 322, 381, 412
turbulence de sillage 82, 336

U

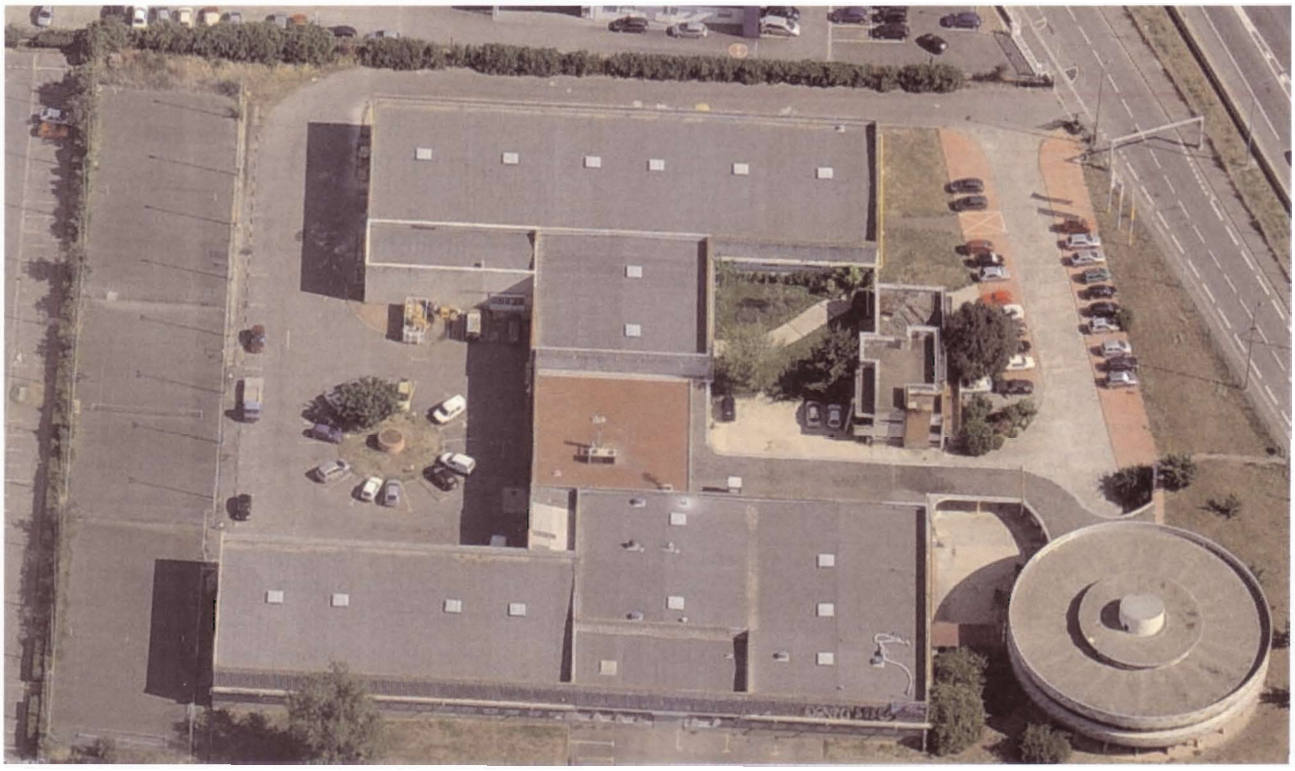
UTC (Universal Time Coordinated) 195

V

VAC (Visual Approach Chart) 31
variomètre 103
VDF (VHF Directional Finding) 243
vent 175, 315
vent arrière 156
vent effectif 200
vent relatif 76
vent traversier 156, 200, 295
verglas 319
VFO (Velocity Flaps Operating) 99
VFR de nuit 409
VFR on TOP 371
VFR spécial 384
VFR (Visual Flight Rules) 170
VHF (Very High Frequency) 166
vigilance 53
virage 141, 404
virage engagé 333
visibilité 325, 403, 409, 413
vision 45
visite pré-vol 130, 416
vitesse (aérodynamique) 79, 84
vitesse air 199
vitesse conventionnelle 98
vitesse de décrochage 99, 205
vitesse de manœuvre VA 72
vitesse/incidence 84, 136
vitesse indiquée 98
vitesse propre 98, 199
vitesses limites (VNO : Velocity Normal Operating, VNE : Velocity Never Exceed, VFE : Velocity Flaps Extended) 99
vitesses (triangle des) 202
VLE (Velocity Landing gear Extended) 99
VLO (Velocity Landing gear Operating) 99
VMC (Visual Meteorological Conditions) 171
VNE (Velocity Never Exceed) 98
VNO (Velocity Normal Operating) 98
vol de nuit 409, 414
vol en descente 139, 404
vol en montée 138, 404
vol en palier 404
vol en région montagneuse 385
vol en vallée 387
volet (hypersustentation) 205
vol local (en vol VFR de nuit) 409
VOLMET (meteorological information for aircraft in flight) 317
vol moteur réduit 222
vols internationaux 165
vortex 299
VOR (VHF Omnidirectional Range) 234
vrille 333
V_z max 208

Z

zones à statut particulier 283



Imprimé en FRANCE par Messages SAS
111, rue Nicolas-Vauquelin – 31100 Toulouse

Coordonnées GPS en WGS 84
N 43 ° 34' 43,2"
E 001 ° 24' 21,5"

MANUEL DU PILOTE D'AVION PPL (A)

12e édition

Cette douzième édition du système de formation du pilote privé avion est par essence perfectible, donc évolutive.

Seule la manière dont vous l'utiliserez et plus particulièrement l'ensemble de vos remarques et de vos suggestions lui permettront de vivre.

Alors écrivez-nous !

Nom et adresse postale du lecteur :

Tél. : .....

Fax : .....

Courriel : .....

CETTE PAGE DOIT ÊTRE ENVOYÉE À :

Cépaduès-Éditions
111, rue Nicolas-Vauquelin
31100 Toulouse

Fax : 05 61 41 79 89
Courriel : auteurs@cepadues.com

CHAPITRE	PARAGRAPHE	OBSERVATIONS

CHAPITRE	PARAGRAPHE	OBSERVATIONS

ALTIMÉTRIE

MESURES DITES « TRANSITOIRES » EN VIGUEUR DEPUIS LE 1ER JANVIER 2007

Des nouvelles règles de l'air (RDA) sont en vigueur depuis le 1er janvier 2007 ; elles prévoient, au paragraphe 4.7, que les vols exécutés au-dessus de la surface 900 mètres (3000 ft) au-dessus de la surface adoptent des niveaux publiés dans l'Appendice 3 des RDA en fonction de sa route magnétique (Règle semi-circulaire). Ce tableau prévoit des niveaux de vol et des altitudes selon que l'on se trouve au-dessus ou au-dessous de l'altitude de transition (TA), TA qui, à l'exception des TMA n'est pas, pour l'instant, encore publiée en France ; en attendant sa publication, les dispositions suivantes et reportées sur le schéma ci-dessous sont en vigueur.

Lorsque qu'une TA est publiée, vous devez appliquer la règle ci-dessous :

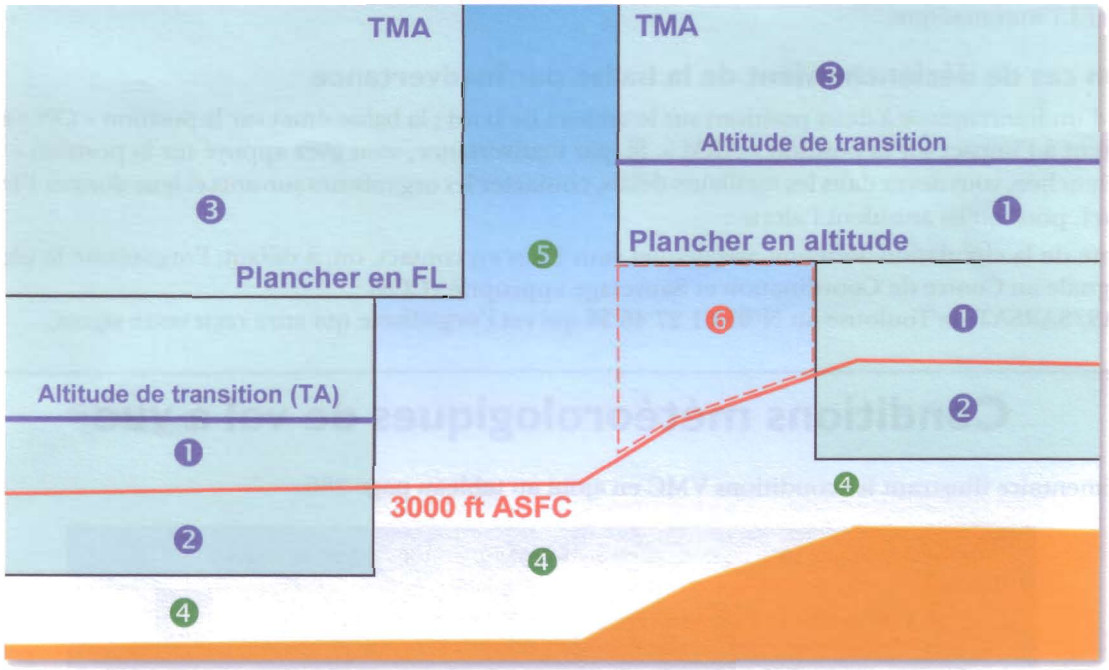
- *les vols VFR exécutés* ***à et sous l'altitude de transition se font en altitude****, donc avec le calage altimétrique QNH ; la règle semi-circulaire doit être respectée au-dessus de 3000 ft ASFC* ❶*, l'altitude est libre au-dessous* ❷ *;*
- *les vols VFR exécutés* ***au-dessus de l'altitude de transition se font en niveau de vol selon la règle semi-circulaire****, donc avec le calage altimétrique standard 1013.25 hPa* ❸.

NOTE : cette situation est conforme à la règle prévue par les RDA.

En l'absence de TA, une mesure transitoire a fait l'objet de la Circulaire d'Information Aéronautique (AIC A 21/06) qui prévoit que :

- *les vols VFR exécutés* ***à et sous la surface de 3000 ft ASFC se font en altitude libre****, donc avec le calage altimétrique QNH* ❹ *;*
- *les vols VFR exécutés* ***au-dessus de la surface de 3000 ft ASFC se font en niveau de vol selon la règle semi-circulaire****, donc avec le calage altimétrique standard 1013.25 hPa* ❺*, avec toutefois l'exception suivante :*

  - les vols VFR exécutés au-dessus de 3000 ft ASFC sous un espace aérien dont la limite inférieure est définie en altitude se font en altitude selon la règle semi-circulaire, donc au calage altimétrique QNH ❻ *afin de pouvoir respecter le plancher de l'espace situé au-dessus et éviter ainsi des incursions dans des espaces sans clairance lorsque qu'une clairance est exigée.*



BALISE DE DÉTRESSE

NOUVEAU TEXTE POUR LA PAGE 397

« Cf. arrêté du 26 mars 2008 relatif à l'obligation d'emport, aux fins de recherche et sauvetage des aéronefs, d'une balise de détresse fonctionnant sur 406 MHz ».

Équipements

Le terme générique **ELT** pour « émetteur de localisation d'urgence » désigne un équipement qui émet des signaux distinctifs sur des fréquences désignées et qui, selon l'application dont il s'agit, peut être mis en marche automatiquement à l'impact, on parle alors d'ELT automatique (**ELT[A]**), ou être mise en marche manuellement. Un ELT peut être l'un ou l'autre des appareils suivants :

../..

Manuel du pilote d'avion © Cépaduès-Editions 2008

- **ELT(AF)** : ELT automatique fixe ;
- **ELT(AP)** : ELT automatique portatif ;
- **ELT(AD)** : ELT automatique largable, le largage et la mise en route pouvant être automatiques ou manuels ;
- **ELT(S)** : ELT de survie rangé de façon à faciliter son utilisation en cas d'urgence par des survivants ;

auxquels s'ajoute la **PLB** (Balise de localisation personnelle), balise autonome et portable mise en marche manuellement par des survivants.

Toute balise ELT ou PLB doit être capable d'émettre simultanément sur les fréquences 121.5 MHz et 406 MHz, être codée (conformément à l'Annexe 10 OACI pour les ELT) et être enregistrée auprès des organismes nationaux chargés de lancer les opérations de recherches et sauvetage.

Obligation d'emport

L'emport d'une balise de tresse (ELT ou PLB) est obligatoire pour tout avion à l'exception :

- des CNRA (Certificat de navigabilité restreint d'aéronef),
- des CDNR (Certificat de navigabilité restreint d'aéronef sans responsabilité de navigabilité),
- des CNRAC (Certificat de navigabilité restreint d'aéronef de collection),
- des CNSK (Certificat de navigabilité spécial d'aéronef en kit,
- des ULM,
- des aéronefs évoluant dans la circulation d'aérodrome.

Les avions doivent être dotés d'au moins un ELT d'un type quelconque ou, à défaut, d'une PLB avec récepteur GNSS incorporé ; ayant reçu un numéro d'approbation du COSPAS/SARSAT, organisme de repérage par satellite des balises de détresse, à l'exception de la série 700 de numéros COSPAS/SARSAT identifiant des balises à usage spécial ne répondant pas à toutes les exigences techniques et à tous les essais spécifiques par COSPAS/SARSAT.

Le cas échéant, lorsque l'aéronef n'est pas équipé d'un ELT automatique, le commandant de bord doit s'assurer que tous les passagers ont reçu, en temps opportun, les informations sur l'emplacement et l'utilisation de la balise de détresse (ELT de survie ou PLB) conformément aux dispositions prévues par l'arrêté du 24 juillet 1991 relatif à l'utilisation des aéronefs civils en aviation générale (Cf. § 4.1.5.2). Toute balise à déclenchement manuel (ELT[S] ou PLB) doit être rangée de manière à être facilement et rapidement accessible.

Les avions dont le certificat de navigabilité individuel a été délivré pour la première fois après le 1er juillet 2008 sont dotés d'au moins un ELT automatique.

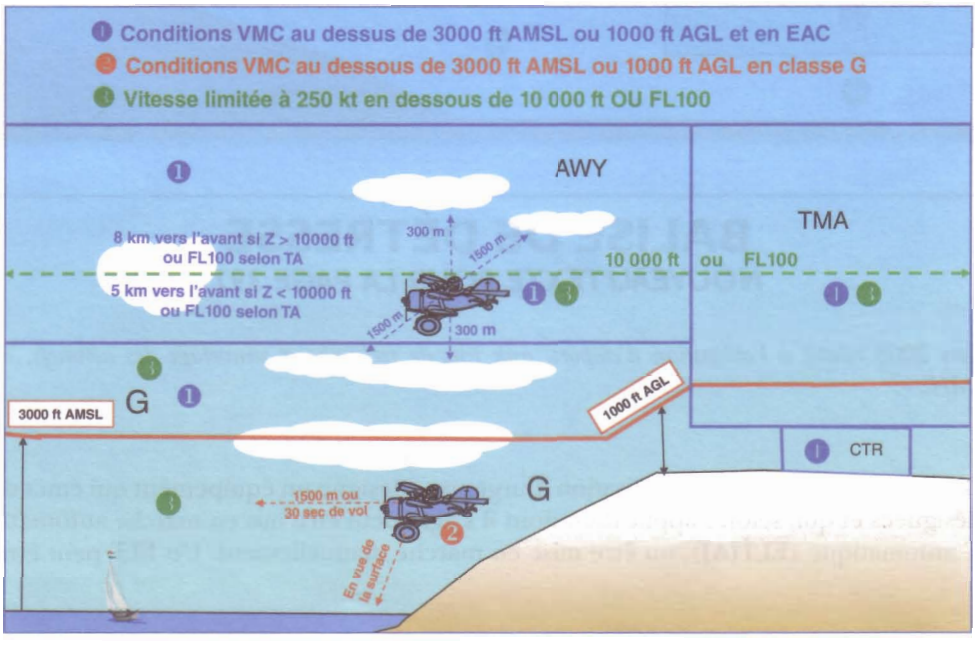
Que faire en cas de déclenchement de la balise par inadvertance

Vous disposez d'un interrupteur à deux positions sur le tableau de bord ; la balise émet sur la position « ON » et se déclenche automatiquement à l'impact sur la position « ARM ». Si, par inadvertance, vous avez appuyé sur la position « ON » et que la balise s'est déclenchée, vous devez dans les meilleurs délais, contacter les organismes suivants et leur donner l'immatriculation de votre aéronef, pour qu'ils annulent l'alerte :

- l'organisme de la circulation aérienne avec lequel vous êtres en contact, ou, à défaut, l'organisme le plus proche pour qu'il le signale au Centre de Coordination et Sauvetage approprié (CCS) ;
- le COSPAS/SARSAT de Toulouse au N°**05 61 27 46 36** qui est l'organisme qui aura reçu votre signal.

Conditions météorologiques de vol à vue

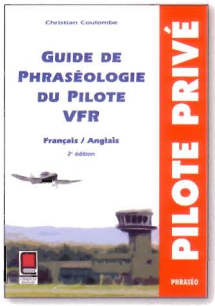
Figure complémentaire illustrant les conditions VMC en ajout au tableau page 286.



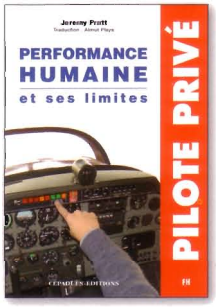
www.cepadues.com

Réf. 675

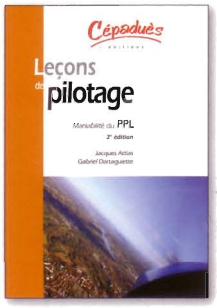
Réf. 725



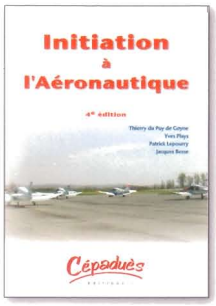
Réf. 640



Réf. 630



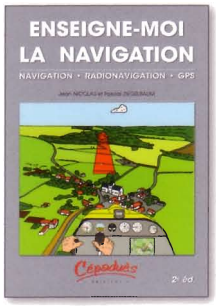
Réf. 815



Réf. 680

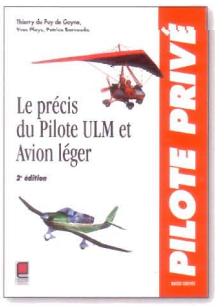
Réf. 597

Réf. 573

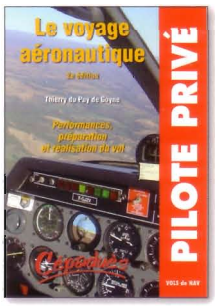


Réf. 783

Réf. 627

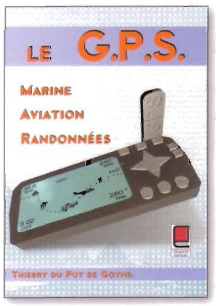


Réf. 619



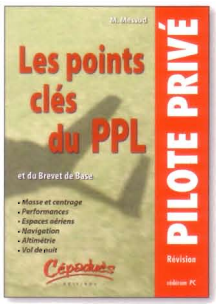
Réf. 738

Réf. 521

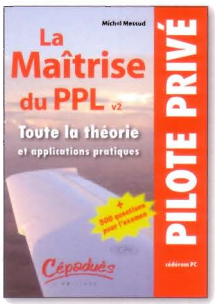


Réf. 532

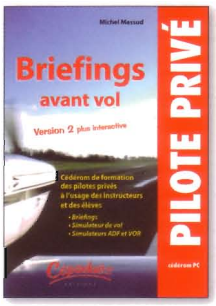
Réf. 539



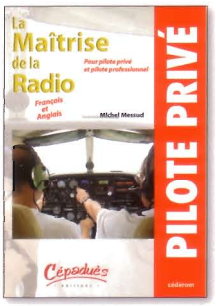
Réf. 78400 (cédérom PC)



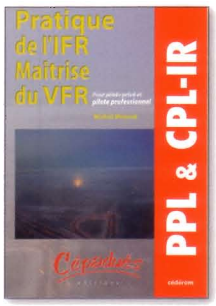
Réf. 83000 (cédérom PC)



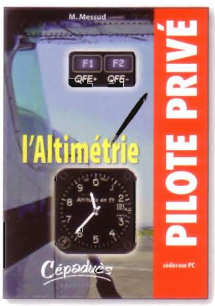
Réf. 81100 (cédérom PC)



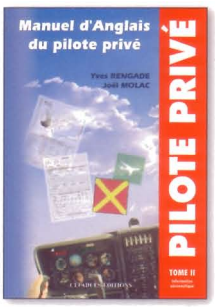
Réf. 66900 (cédérom PC)



Réf. 69000 (cédérom PC)



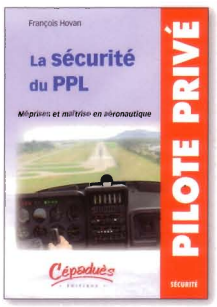
Réf. 74600 (cédérom PC)



Réf. 616

Réf. 507

Réf. 674



Réf. 732

manuel du pilote d'avion

Licence de pilote privé d'avion PPL(A)

12e édition

Progressif, pédagogique, garant d'un apprentissage réussi car efficace et gratifiant, ce manuel vous présente les données théoriques, techniques et pratiques indispensables, les connaissances et savoir-faire nécessaires.

Aux remerciements qui vont à l'équipe des premières éditions de ce manuel et à Bruno DEBIESSE, qui en a été chef de projet, s'ajoutent ceux destinés aux contributeurs des dernières éditions : Jacques Besse, Jean-Louis Daroux, Jean-Paul Fièque, Gérard Lafond, Patrick Lepourry, Michel Messud, François Mougery, Daniel Gay et particulièrement Roger Coatmeur. Enfin, vous tous, lecteurs qui nous avez adressé vos critiques et suggestions soyez remerciés.

Nous engageons les Instructeurs à nous faire part de leurs propositions d'améliorations, nous les prendrons en considération.

www.cepadues.com

Réf. 84001
ISBN : 978.2.85428.840.7