

Serge BONNET - Jacques VERRIÈRE

LA MÉCANIQUE DU VOL DE L'AVION LÉGER



CÉPADUÈS ÉDITIONS

TABLE DES MATIERES

I -	LE VOL DE L'AVION LEGER	1
1.	Introduction	1
2.	Comment vole un avion ?	2
2.1	L'avion et les autres véhicules aériens	2
2.2	Portance et traînée en vol en palier	6
3.	Pilotage et qualités de vol	12
3.1	Contrôle de l'attitude	12
3.2	Pilotage de la trajectoire	16
3.3	Stabilité	18
II -	NOTIONS D'AERODYNAMIQUE	23
1.	Introduction	23
2.	Phénomènes fondamentaux	24
2.1	Conservation du débit	24
2.2	Pressions, relation pression-vitesse	25
2.3	La viscosité et ses conséquences	26
3.	Aérodynamique du profil d'aile	31
3.1	Définitions	31
3.2	Origine de la portance	35
3.3	Origine de la traînée	38
3.4	Evolution des coefficients aérodynamiques avec l'incidence - Polaire	40
3.5	Influence de la cambrure et de l'épaisseur	45
3.6	Profils d'avions légers	47
4.	L'aile et l'avion	48
4.1	Définitions géométriques	48
4.2	Influence de l'allongement	50

4.3 Les ailes des avions légers	54
4.4 Polaire de l'avion complet	55
5. Pour aller plus loin	57
5.1 Nombre de Mach et nombre de Reynolds	57
5.2 Trièdres et efforts aérodynamiques	59

X **III - ALTITUDE ET VITESSE** 63

1. Introduction	63
2. L'atmosphère standard OACI	64
2.1 Notion d'atmosphère standard internationale	64
2.2 Valeurs numériques de l'atmosphère standard	64
3. L'altimètre	67
3.1 Altitude-pression et niveau de vol	67
3.2 L'altimètre est un baromètre	68
3.3 Altitude et performances : altitude-densité	71
4. Notions de vitesse	72
4.1 Vitesse propre et vitesse-sol	72
4.2 Le noeud : unité de vitesse aéronautique	73
4.3 Vitesse indiquée	74
5. Pour aller plus loin	79
5.1 Valeurs numériques de l'atmosphère standard	79
5.2 Erreur de température	80
5.3 Expression de la vitesse conventionnelle	82

IV - GOUVERNES ET COMMANDES DE VOL 83

1. Gouvernes et commandes de vol	83
1.1 Commandes de vol primaires et secondaires	83
1.2 Braquage d'une gouverne de bord de fuite	84
1.3 Gouvernes principales	84
2. Efficacités et effets secondaires	86
2.1 Efficacités de gouvernes	86
2.2 Effets secondaires	88

3. Efforts aux commandes, moments de charnière	91
3.1 Notion de moment de charnière	91
3.2 Compensation aérodynamique	92

V - LE GROUPE MOTOPROPULSEUR 99

1. Introduction	99
1.1 Performances et motorisation	99
1.2 Puissance et consommation	99
2. Performances du moteur à pistons	101
2.1 Le moteur d'avion léger	101
2.2 Puissance motrice	102
2.3 Consommation	104
3. Fonctionnement de l'hélice	106
3.1 Efforts sur une pale d'hélice	106
3.2 Puissance propulsive	109
4. Le groupe motopropulseur et l'avion	113
4.1 Rendement de l'hélice avionnée	113
4.2 Influence du groupe motopropulseur sur l'aérodynamique	113
5. Pour aller plus loin	117
5.1 Coefficients de traction et de puissance	117
5.2 Nombre de Mach en extrémité de pale	119

VI - LE VOL RECTILIGNE 121

1. Introduction	121
2. Equilibre en palier	122
2.1 Vol en palier rectiligne stabilisé	122
2.2 Equilibre des forces	122
2.3 Puissance nécessaire au vol en palier : P_n	124
2.4 Diagramme des puissances, premier et second régime. ...	127
2.5 Evolution du diagramme des puissances avec masse, altitude et température.	132

3.	Montée et descente	134
3.1	Généralités	134
3.2	La montée	139
3.3	La descente	143
4.	Equilibre longitudinal et stabilité	146
4.1	Equilibre des moments	146
4.2	La polaire équilibrée	148
4.3	Stabilité statique longitudinale	150
5.	Pour aller plus loin	155
5.1	Précisions sur la puissance nécessaire	155
5.2	Précisions sur la vitesse ascensionnelle	156
5.3	Notion de hauteur totale et de vitesse ascensionnelle totale	158
5.4	Rôle de l'empennage dans l'équilibre et la stabilité	160
5.5	Avions sans empennage et formules canard	165
5.6	Justification d'approximations usuelles	167

VII - LES EVOLUTIONS DE TRAJECTOIRE 169

1.	Introduction	169
1.1	Evolutions élémentaires	169
1.2	Limites du facteur de charge	169
1.3	Pilotage en ressource et en virage	170
2.	Evolutions dans le plan vertical	170
2.1	Les manœuvres longitudinales	170
2.2	Facteur de charge en ressource	171
2.3	Limites du facteur de charge en ressource	176
2.4	Pilotage en ressource	182
3.	Le virage symétrique	183
3.1	Facteur de charge en virage symétrique	183
3.2	Facteur de charge maximal en virage	189
3.3	Braquage des gouvernes en virage	192
4.	Pour aller plus loin	193
4.1	Composantes du facteur de charge	193
4.2	Stabilité sous facteur de charge	197
4.3	Stabilité dynamique longitudinale	202

VIII - LES LIMITES DU DOMAINE DE VOL 207

1. Introduction.	207
2. Limites basses vitesses : décrochage	208
2.1 Le décrochage symétrique.	208
2.2 Sécurité du vol à basses vitesses	212
2.3 Dispositifs aérodynamiques basses vitesses.	215
3. Vitesses maximales	220
3.1 Pourquoi limiter la vitesse indiquée.	220
3.2 VNO et VNE	221
3.3 Autres limitations de vitesse	221
3.4 Visualisation du domaine de vitesse sur l'anémomètre ..	222
4. Plafond, altitude maximale.	223
4.1 Plafond de propulsion	223
4.2 Altitude maximale de vol	223
5. Domaine de chargement : masse et centrage	224
5.1 Généralités	224
5.2 Limitations de masse.	224
5.3 Limites de centrage.	225
6. Pour aller plus loin	226
6.1. Vitesse minimale théorique et vitesse de décrochage. ...	226
6.2 Facteur de charge en turbulence	227
6.3 Domaine de vol en manœuvre et en rafale.	230

IX - LE PILOTAGE LATERAL 233

1. Introduction.	233
2. Vol rectiligne en dérapage	234
2.1 Effets du dérapage sur les coefficients aérodynamiques latéraux.	234
2.2 La « glissade » : vol rectiligne en dérapage	238
2.3 Roulage au sol par vent traversier	242

3. Pilotage latéral en virage	244
3.1 Effets des rotations en roulis et lacet sur les coefficients aérodynamiques	244
3.2 Braquage des gouvernes en virage établi	246
3.3 Mises en virage et sorties de virage	249
4. Pour aller plus loin.	251
4.1 Expressions linéaires des coefficients aérodynamiques latéraux	251
4.2 Stabilité statique latérale	253
4.3 Stabilité dynamique : roulis hollandais	256
4.4 Pilotage latéral aux grandes incidences : l'autorotation ou vrille	257
4.5 Stabilité latérale à grande incidence	264
X - LE DECOLLAGE ET L'ATTERRISSAGE	267
1. Introduction.	267
2. Le décollage	268
2.1 Définitions	268
2.2 Le roulement au décollage	268
2.3 Rotation et envol	271
2.4 Performances de décollage	275
2.5 Sécurité au décollage	281
3. L'approche et l'atterrissage	283
3.1 Définitions	283
3.2 L'approche finale	284
3.3 L'arrondi	288
3.4 La phase sol à l'atterrissage	290
3.5 La distance d'atterrissage	294
3.6 Sécurité à l'atterrissage	299
XI - PERFORMANCES EN CROISIERE	301
1. Introduction.	301
2. Choix du régime moteur en croisière	301
2.1 Pourquoi choisir un régime moteur ?	301
2.2 Consommation horaire en croisière	302

2.3 Vitesse, consommation et coût	304
2.4 Conséquences pratiques	308
3. Pour aller plus loin : autonomie et distance franchissable ...	309
3.1 Autonomie d'un avion à hélice	309
3.2 Distance franchissable d'un avion à hélice	311
XII - TURBULENCE ET GIVRAGE	315
1. Introduction.	315
2. La turbulence et ses conséquences.	316
2.1 La turbulence atmosphérique.	316
2.2 La turbulence de sillage	321
3. Gradients de température.	323
4. Le givrage et ses conséquences	324
4.1 Origines du givrage.	324
4.2 Les conséquences du givrage	324
4.3 Givrage du carburateur	327
XIII - LE BIMOTEUR LEGER	329
1. Introduction.	329
2. Pilotage latéral en panne moteur	330
2.1 Vol rectiligne à dérapage nul	330
2.2 Vol bille centrée	333
2.3 Vitesse minimale de contrôle (VMC)	334
3. Performances en panne moteur	337
3.1 Conséquences sur le bilan propulsif	337
3.2 Importance de la mise en drapeau	338
3.3 La panne moteur à basse altitude.	339
3.4 Aspects réglementaires	339
CONSTANTES ET FACTEURS DE CONVERSION	341
INDEX	343