

André PEYRAT-ARMANDY

les
avions de transport
modernes et futurs



tekhnea

Table des matières

Avant-propos	13
Chapitre 1 – Notions de base	
1.1 Aérodynamique	19
1.1.1 Le principe de la sustentation, expression des forces aérodynamiques, équations simplifiées du vol en palier, exemple du vol en palier : A 320	19
1.1.2 Notion de couche limite, traînées de frottement et de pression, décrochage	32
1.1.3 Polaires et finesse de l'avion	41
1.1.4 Écoulement autour d'une aile droite ou avec une flèche modérée, notion de traînée induite, influence de l'allongement de l'aile.....	46
1.1.5 Écoulement autour d'une aile élancée ou delta	54
1.1.6 Écoulements transsonique et supersonique	58
1.1.6.1 Description	58
1.1.6.2 Expression de la traînée d'un avion et évolution des coefficients aérodynamiques avec le Mach, notions de plafonds de sustentation, opérationnel et de propulsion	71
1.1.6.3 Définitions de nombres de Mach caractéristiques.....	85
1.2 Propulsion	87
1.2.1 Principe du moteur à réaction : expression de la poussée et du rendement.....	87
1.2.2 Critères d'amélioration du rendement global des réacteurs	93
1.2.2.1 Amélioration du rendement de propulsion, le réacteur à cycle variable.....	93
1.2.2.2 Amélioration du rendement thermique.....	99
1.2.3 Exemples.....	101
1.2.3.1 Monoflux Olympus 593.....	101
1.2.3.2 Double flux ou turbofan CFM 56-5A et Trent.....	102
1.2.4 Principe du turbopropulseur	105
1.2.5 Rôle des entrées d'air et des tuyères	109
1.3 Mécanique du vol	116
1.3.1 Axes de manœuvre et rôle des gouvernes.....	116
1.3.2 Définition et propriétés du foyer de l'avion	121
1.3.3 Conditions de stabilité et de maniabilité, traînée d'équilibrage, problèmes de l'avion supersonique (Concorde).....	130
1.3.4 Domaine de vol (A 300 B et Concorde)	136

Chapitre 2 – Architecture et comportement des avions de transport

2.1	Avions subsoniques	145
2.1.1	Architecture	145
2.1.2	Comportement des ailes à flèche modérée et de grand allongement	153
2.1.2.1	Critères de flèche, épaisseur relative, allongement	153
2.1.2.2	Le phénomène d'autocabrage.....	163
2.1.2.3	Le superdécrochage	165
2.1.2.4	Remèdes aux décollements en bout d'aile	167
	A. Dispositifs à caractère palliatif	167
	B. Géométrie évoluée de l'aile	171
	C. Les becs de bord d'attaque	174
2.1.2.5	Forme générale de l'aile.....	175
2.1.3	Dispositifs hypersustentateurs	176
2.1.3.1	Hypersustentation classique	176
2.1.3.2	Hypercirculation.....	189
2.1.4	Autres dispositifs	198
2.1.4.1	Ailerons internes.....	198
2.1.4.2	Spoilers.....	199
2.1.4.3	Aérofreins.....	200
2.1.4.4	Inverseurs de poussée	201
2.1.5	Qualités de stabilité ; amortisseur de lacet	205
2.1.6	Planches sur l'aménagement des gouvernes et performances des avions B 747, A 310 et Falcon 50.....	213
2.2	Avion supersonique de transport Concorde	218
2.2.1	Architecture	218
2.2.2	Comportement de l'aile gothique	223

Chapitre 3 – Progrès aérodynamiques et technologiques

3.0	Préambule	233
3.1	Progrès aérodynamique	237
3.1.1	Introduction.....	237
3.1.2	Profil, aile et avion supercritiques	238
3.1.2.1	Historique et définition du profil supercritique.....	238
3.1.2.2	L'aile supercritique	242
3.1.2.3	Optimisation de l'avion en supercritique	248
3.1.2.4	Exemples : Falcon 50 et 900 – Airbus A 310 et A 320....	249
3.1.3	Contrôle de la couche limite	255
3.1.3.1	Action sur la couche limite laminaire.....	257
	A. Écoulement naturellement laminaire (E.N.L.).....	257
	B. Écoulement laminaire contrôlé (E.L.C.).....	258
	C. Écoulement laminaire hybride (E.L.H.).....	259
3.1.3.2	Réduction du frottement turbulent (écoulement turbulent contrôlé : E.T.C.).....	263

3.1.3.3	Action sur les décollements.....	266
3.1.3.4	Possibilités d'application	268
3.1.4	Ailettes de bout d'aile ou <i>winglets</i>	269
3.2	Progrès technologiques	277
3.2.1	Introduction.....	277
3.2.2	Concept contrôle actif généralisé C.A.G	278
3.2.2.1	Principes	278
3.2.2.2.	Évolution des commandes de vol	283
A.	Commandes de vol mécaniques.....	283
B.	Commandes de vol hydromécaniques (servo- commandes à entrée mécanique).....	284
C.	Commandes de vol électrohydrauliques (servo- commandes à entrée électrique ; exemple : Concorde)	286
D.	Commandes de vol électrohydrauliques informatisées ; (exemple : Mirage 2 000)	290
3.2.2.3.	Concept C.A.G.	294
3.2.2.4.	Exemples d'application du C.A.G.	296
A.	Contrôle de la stabilité longitudinale (Mirage 2 000, Rafale A, Airbus A 310-300, A 300-600 R et A 320).	296
B.	Contrôle de la cambrure des profils de l'aile	310
C.	Contrôle direct des forces de portance et latérales	315
a)	Pilotage de la trajectoire.....	315
b)	Absorption des rafales.....	319
D.	Contrôle des charges de manœuvre et de rafale (Lockheed Tristar 1011-500, A 320).....	320
3.2.2.5.	Commentaires.....	324
3.2.3	Les techniques numériques.....	327
3.2.3.1	Aspect calculateur	327
3.2.3.2.	Aspect transmission des signaux.....	329
3.2.3.3	Aspect architecture : EFIS des A 310 et A 320.....	334
3.2.4	Évolution du poste de pilotage et de l'avionique	336
3.2.4.1	Facteurs et processus de l'évolution du poste de pilotage	336
3.2.4.2.	Les centrales inertielles et les centrales d'attitude et de cap ; systèmes de radionavigation	339
A.	Principe de fonctionnement des centrales inertielles à cardans.....	339
B.	Principe de fonctionnement des centrales inertielles à composants liés.....	345
C.	Centrales A.D.I.R.S et A.D.I.R.S/GPS	351
D.	Principe des centrales d'attitude et de cap	352
E.	Systèmes de radionavigation.....	352
a)	Systèmes terrestres de navigation : stations VOR/DME ; système OMEGA.....	353
b)	Système utilisant des satellites : systèmes GPS ; concepts GNSS et FANS.....	355

3.2.4.3.	Les nouveaux postes de pilotage	359
	A. Historique	359
	B. Poste de pilotage de l'A 310.....	362
	a) Écrans de pilotage et navigation (EFIS).....	362
	b) Écrans de contrôle des systèmes (E.C.A.M.).....	372
	C. Poste de pilotage du Boeing 767.....	375
3.2.4.4.	Visualisation tête haute	376
	A. Origines et principes de base	376
	B. Exemple de visualisation "tête haute" A 320.....	380
3.2.4.5	Avionique de l'A 320.....	386
	A Présentation	386
	B. Architecture	389
	C. Modes de pilotage.....	393
	a) Pilotage et gestion du vol automatiques.....	393
	b) Pilotage manuel.....	399
	c) Pilotage électrique manuel de secours	396
	d) Pilotage mécanique manuel de secours.....	396
	D. Commentaires	397
3.2.4.6	Évolution à court terme de l'avionique.....	399
3.2.4.7	Synthèse du concept C.A.G. et de l'avionique.....	407
3.2.4.8.	Récapitulation des sigles évoqués (§ 3.2.4)	412
3.2.5	Les matériaux composites.....	414
3.2.5.1	Description – fabrication – caractéristiques.....	414
3.2.5.2	Exemples : A 320, A 340 et Boeing 777	422
3.2.5.3	Évolution	426
3.2.6	Conception et fabrication assistées par ordinateur : C.F.A.O.	434

Chapitre 4 – Perspectives d'avenir

4.1	Généralités	443
4.2	Évolution des avions de transport subsoniques : aérodynamique, structure, propulsion, avionique.....	447
4.2.1	Critères d'évolution	447
4.2.2	Amélioration du rendement aérodynamique.....	448
4.2.3	Diminution de la masse structurale.....	449
4.2.4	Réduction de la consommation spécifique des moteurs	453
4.2.4.1	Double flux classiques ou turbofans	453
4.2.4.2	"Propfan" – "Superfan" – "Contrafan" – "Crisp"	456
4.2.4.3	Exemples d'utilisation de propfans : avion de transport logistique et tactique européen et Antonov 70	472
4.2.4.4	Synthèse de l'évolution des réacteurs subsoniques.....	475
4.2.5	Évolution prévisible de l'avionique.....	477
4.2.5.1	Aide au pilotage avec de nouvelles gouvernes, dites de forces directes.....	477
4.2.5.2	Évolution de l'architecture.....	478

4.2.5.3	Évolution de l'ergonomie du poste de pilotage.....	482
4.2.6	Conclusion	488
4.3	Avions subsoniques de la fin du 20^{ème} siècle et futurs	489
4.3.1	A 330/A 340, B 777 ; avions géants très gros porteurs	489
4.3.1.1	Présentation	489
4.3.1.2	A 330/A 340	491
4.3.1.3	B 777	495
4.3.1.4	Avions géants, très-gros-porteurs et à longs rayons d'action.....	497
4.3.2	Avions de transport de fret.....	500
4.3.3	Formules nouvelles : avion STOL, avions convertibles (V-22 "Osprey" et "Eurofar").....	507
4.4	Avion de transport supersonique du futur	517
4.4.1	Généralités	517
4.4.2	Critères de faisabilité technique	520
4.4.3	Contraintes d'environnement	530
4.4.3.1	Pollution atmosphérique.....	530
4.4.3.2	Le bruit	533
4.4.3.3	Le bang	534
4.4.4	Perpectives de ce programme	535
4.5	Projets d'avions hypersoniques	539
4.5.1	Considérations générales	539
4.5.1.1	Caractéristiques et conditions de vol.....	539
4.5.1.2	Concepts possibles pour la propulsion et études en cours	540
4.5.1.3	Les carburants.....	544
4.5.1.4	L'échauffement cinétique et les matériaux	546
4.5.1.5	Conclusion.....	546
4.5.2	Avant-projets et études en cours.....	547
	Conclusion générale	551
	Remerciements	563
	Liste des avions cités	565
	Bibliographie	569
	Index	575