

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES SYMBOLES</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>11</b>
<b>PARTIE A : REPONSE AEROELASTIQUE DES SURFACES PORTANTES</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre I : REPONSE STATIQUE DES AILES</b>	<b>16</b>
1. THEORIE DE LA SECTION ALAIRE	18
1.1 Rappel de l'aérodynamique stationnaire des profils d'aile	19
1.2 Réponse aéroélastique d'un profil d'aile sans volet	23
1.3 Profil avec volet et inversion d'effet des commandes	25
2. RAPPEL DE LA THEORIE ELEMENTAIRE DES POUTRES EN PORTE-A-FAUX ET DE L'AERODYNAMIQUE STATIONNAIRE DES AILES	30
2.1 Déformations et contraintes dans les ailes droites et en flèche	30
2.2 Aérodynamique des ailes d'envergure finie	40
3. THEORIE DE L'AILE D'ENVERGURE FINIE	44
3.1 Equations de l'équilibre aéroélastique statique d'une aile allongée	44
3.2 Redistribution de la portance sur l'aile déformée symétriquement	48
3.3 Déformation antisymétrique et inversion d'effet des ailerons	56
<b>Chapitre II : REPONSE DYNAMIQUE DES AILES</b>	<b>63</b>
1. RAPPEL DE L'AERODYNAMIQUE D'UN PROFIL D'AILE EN MOUVEMENT INSTATIONNAIRE	64
1.1 Mouvement instationnaire générique	64
1.2 Mouvement harmonique	72
2. THEORIE DE LA SECTION ALAIRE	77
2.1 Equations du mouvement	77
2.2 Réponse aéroélastique à des charges instationnaires génériques	80
2.3 Réponse aéroélastique à une rafale sinusoïdale	82
2.4 Réponse aéroélastique à une rafale stochastique	89
2.5 Aperçu sur l'aile d'envergure finie	94

---

<b>PARTIE B : INSTABILITE AEROELASTIQUE DES SURFACES PORTANTES</b>	<b>99</b>
<b>Chapitre III : INSTABILITE STATIQUE DES AILES</b>	<b>100</b>
1. DIVERGENCE D'UNE SECTION ALAIRE	101
2. THEORIE DE L'AILE A ENVERGURE FINIE	103
2.1 Divergence de l'aile droite	104
2.2 Divergence de l'aile en flèche	110
<b>Chapitre IV : INSTABILITE DYNAMIQUE DES AILES</b>	<b>114</b>
1. POSITION GENERALE DU PROBLEME	116
2. LE FLOTTEMENT « CLASSIQUE »	120
2.1 Modèle élémentaire de Pines	121
2.2 Flottement d'un profil dans un écoulement incompressible	128
3. INTERPRETATION ENERGETIQUE DU FLOTTEMENT	135
4. EFFETS SUR LA VITESSE CRITIQUE DE FLOTTEMENT	139
4.1 Effets des paramètres structurels et aérodynamiques	139
4.2 Effet des surfaces de control	141
4.3 Effets de la compressibilité et de l'altitude de vol	143
5. L'AILE D'ENVERGURE FINIE	144
5.1 Effets de l'allongement	149
5.2 Effets de la flèche alaire	154
<b>PARTIE C : AUTRES PHENOMENES AEROELASTIQUES ET APPLICATIONS</b>	<b>157</b>
<b>Chapitre V : AUTRES PHENOMENES AEROELASTIQUES DANS L'AERONAUTIQUE.</b>	<b>158</b>
1. EFFICACITE ET STABILITE STATIQUE DES EMPENNAGES	158
2. REPONSE ET STABILITE STATIQUE DES FUSEES	162
3. LE FLOTTEMENT DES PANNEAUX	165
4. LE FLOTTEMENT DE DECROCHAGE (« STALL FLUTTER »)	174
5. LE TREMBLEMENT (« BUFFETING »)	177
6. LE TREMBLEMENT TRANSONIQUE (« TRANSONIC BUFFETING »)	179
7. LE « BUZZ » TRANSONIQUE	181
8. LE « WHIRL FLUTTER » ET L'INSTABILITE DES ROTORS DES HELICOPTERES	184
8.1 Le « whirl flutter »	184
8.2 L'instabilité des rotors des hélicoptères	186
9. L'AVION ENTIER ET L'AEROSERVOELASTICITE	186

<b>Chapitre VI : PHENOMENES AEROELASTIQUES EN DEHORS DE L'AERONAUTIQUE</b>	<b>189</b>
1. INSTABILITE PAR VORTEX SHEDDING ET GALLOPING	189
1.1 Instabilité par vortex shedding	191
1.2 Le galloping	196
1.3 Galloping en sillage (« Wake galloping »)	200
2. INSTABILITE DES CONDUITES	201
2.1 Instabilité statique (divergence)	201
2.2 Instabilité dynamique globale (flottement)	204
2.3 Instabilité dynamique locale (collapse de la section)	205
3. INSTABILITE DANS LES MACHINES TOURNANTES	207
4. INSTABILITE AEROELASTIQUE DANS LES STRUCTURES CIVILES	209
 <b>Chapitre VII : APERÇU SUR L'AEROELASTICITE NON LINEAIRE</b>	 <b>211</b>
1. LA METHODE DE KRYLOFF ET BOGOLIUBOFF	213
2. LA METHODE DES SERIES DE VOLTERRA	215
 <b>Chapitre VIII : APPLICATIONS</b>	 <b>219</b>
1. CALCUL DE LA PORTANCE SUR UNE AILE DEFORMEE SYMETRIQUEMENT PAR COLLOCATION NUMERIQUE	220
2. CALCUL DE LA VITESSE D'INVERSION D'EFFET DES AILERONS PAR COLLOCATION NUMERIQUE	222
3. CALCUL DE LA VITESSE DE DIVERGENCE D'UNE AILE DROITE	225
3.1 Par collocation à l'aide de modes imposés	225
3.2 Par la méthode énergétique ou de Rayleigh-Ritz	226
4. CALCUL DE LA VITESSE DE DIVERGENCE D'UNE AILE EN FLECHE PAR LA METHODE DE GALERKIN	229
5. CALCUL DE LA VITESSE DE FLOTTEMENT D'UNE AILE DROITE PAR LA METHODE DE LA TRANSFORMATION MODALE	231
 <b>BIBLIOGRAPHIE</b>	 <b>236</b>
 <b>ANNEXES</b>	 <b>237</b>
A1. MATRICES AERODYNAMIQUES DES AILES ALLONGEES EN REGIME INCOMPRESSIBLE	237
A2. COEFFICIENTS AERODYNAMIQUES POUR LE DEPLACEMENT HARMONIQUE D'UN PROFIL ALAIRE AVEC VOLET	240

A3. FORMULES POUR LES ADMITTANCES SPECIFIQUES AERODYNAMIQUES D'UN PROFIL ALAIRE_____	241
INDEX DES NOMS_____	245
INDEX DES SUJETS_____	247