

Préface	V
Avant-propos	XI
<b>1 • Modèle et cahier des charges</b>	<b>1</b>
1.1 L'avion et son environnement	1
1.1.1 Description globale	1
1.1.2 Modèle de l'avion naturel	2
1.1.3 Mesures et commandes	4
1.1.4 Vents et turbulences	7
1.1.5 L'effet de sol	8
1.2 Cahier des charges	9
1.2.1 Contraintes générales de guidage	9
1.2.2 Les variables à piloter	10
1.2.3 Contraintes de pilotage	10
1.2.4 Domaine de validité	12
1.3 Modèle linéarisé	12
1.3.1 Principe	12
1.3.2 Outils MATLAB/SIMULINK	14
1.4 Architecture des lois de commande	16
1.4.1 Structure générale	16
1.4.2 Les mesures disponibles et les mesures nécessaires	17
1.5 Modèles de validation	18
<b>2 • Synthèse classique</b>	<b>21</b>
2.1 Analyse préliminaire	21
2.1.1 Simulation en boucle ouverte	21
2.1.2 Réduction	22
2.2 Boucle interne de stabilisation	24
2.2.1 Retour de sortie	24
2.2.2 Retour de sortie avec intégrateur sur $n_z$	26
2.2.3 Validation du placement de pôles sur le modèle complet	28
2.3 Correcteur de la vitesse $V_z$	29
2.3.1 Étude préliminaire	29
2.3.2 Synthèse du correcteur	29
2.3.3 Reconfiguration du correcteur $V_z$	32

2.4	<b>Correcteur de la vitesse <math>V_c</math></b>	33
2.4.1	Synthèse du correcteur	33
2.4.2	Reconfiguration du correcteur $V_c$	34
2.5	<b>Découplage</b>	35
2.6	<b>Validation du correcteur classique</b>	37
2.6.1	Placement de pôles final	37
2.6.2	Validation de la loi de commande sur le modèle non linéaire	38
2.6.3	Analyse de la loi de commande en présence de vent	38
2.6.4	Analyse de la robustesse du correcteur	39
<b>3</b>	<b>• Synthèse modale</b>	<b>41</b>
3.1	<b>Théorie de la commande modale</b>	41
3.1.1	Grandeurs modales	41
3.1.2	Analyse de la réponse temporelle d'un système dans la base modale	44
3.1.3	Synthèse de lois de commande modale	49
3.1.4	Techniques de placement de structure propre	55
3.1.5	Précommande et découplage	55
3.2	<b>Application au pilotage automatique</b>	56
3.2.1	Première synthèse par retour de sortie	57
3.2.2	Synthèse sur le modèle avec actionneurs	60
3.2.3	Synthèse modale avec intégrateur	66
3.2.4	Validation du correcteur modal avec intégrateur	72
<b>4</b>	<b>• Synthèse LQ/LQG/LTR</b>	<b>77</b>
4.1	<b>Théorie de la commande optimale</b>	78
4.1.1	Commande LQ	78
4.1.2	Synthèse LQ avec initialisation modale	85
4.1.3	Synthèse LQ avec modèle implicite	86
4.1.4	Filtre de Kalman	86
4.1.5	Commande LQG	89
4.1.6	Commande LQG/LTR	92
4.2	<b>Application au pilotage automatique</b>	93
4.2.1	Première synthèse LQ	93
4.2.2	Synthèse LQ avec intégrateur	98
4.2.3	Approches supplémentaires pour la synthèse LQ	104
4.2.4	Synthèse LQG	106
<b>5</b>	<b>• Synthèse <math>\mathcal{H}_\infty</math></b>	<b>117</b>
5.1	<b>Quelques rappels</b>	117
5.1.1	La forme standard	117
5.1.2	Définition de la norme $\mathcal{H}_\infty$	118
5.1.3	Le problème $\mathcal{H}_\infty$ standard	119
5.1.4	Résolution classique du problème $\mathcal{H}_\infty$	120
5.1.5	Résolution du problème $\mathcal{H}_\infty$ par LMI	122
5.1.6	Synthèse $\mathcal{H}_\infty$ pondérée	123
5.1.7	Intérêts et inconvénients de la synthèse $\mathcal{H}_\infty$	128

5.2	<b>Application au pilotage automatique</b>	129
5.2.1	Le modèle de synthèse	129
5.2.2	Synthèse $\mathcal{H}_\infty$ sur le modèle sans actionneurs	131
5.2.3	Synthèse $\mathcal{H}_\infty$ sur le modèle avec actionneurs	144
5.2.4	Réduction du correcteur $\mathcal{H}_\infty$	148
5.2.5	Validation du correcteur $\mathcal{H}_\infty$	150

## **6 • Synthèse $\mathcal{H}_\infty$ structurée** **155**

6.1	<b>Synthèse <math>\mathcal{H}_\infty</math> structurée avec structure modale</b>	156
6.1.1	Synthèse initiale	157
6.1.2	Annulation du gain de retour $V_z \rightarrow \delta_{th}$	158
6.2	<b>Synthèse <math>\mathcal{H}_\infty</math> structurée avec matrice de transferts</b>	159
6.2.1	Synthèse initiale	160
6.2.2	Imposition d'une partie de la dynamique	161
6.2.3	Structuration supplémentaire	162
6.3	<b>Validation du correcteur <math>\mathcal{H}_\infty</math> structuré <math>\kappa_3</math></b>	163
6.3.1	Pôles en boucle fermée	163
6.3.2	Validation de la loi de commande sur le modèle non linéaire	164
6.3.3	Analyse de la loi de commande en présence de vent	164
6.3.4	Analyse de la robustesse du correcteur	166

## **7 • Guidage** **167**

7.1	<b>Contraintes générales de guidage</b>	167
7.2	<b>Synthèse de la boucle de guidage</b>	168
7.2.1	Loi de guidage de type proportionnel	168
7.2.2	Loi de guidage de type proportionnel intégral	171
7.2.3	Analyse de la loi de guidage en présence de turbulence	173
7.2.4	Analyse de la loi de guidage pour diverses configurations	173

## **Conclusion** **175**

## **Liste des tableaux** **177**

## **Liste des figures** **179**

## **Bibliographie** **189**

## **Index** **193**