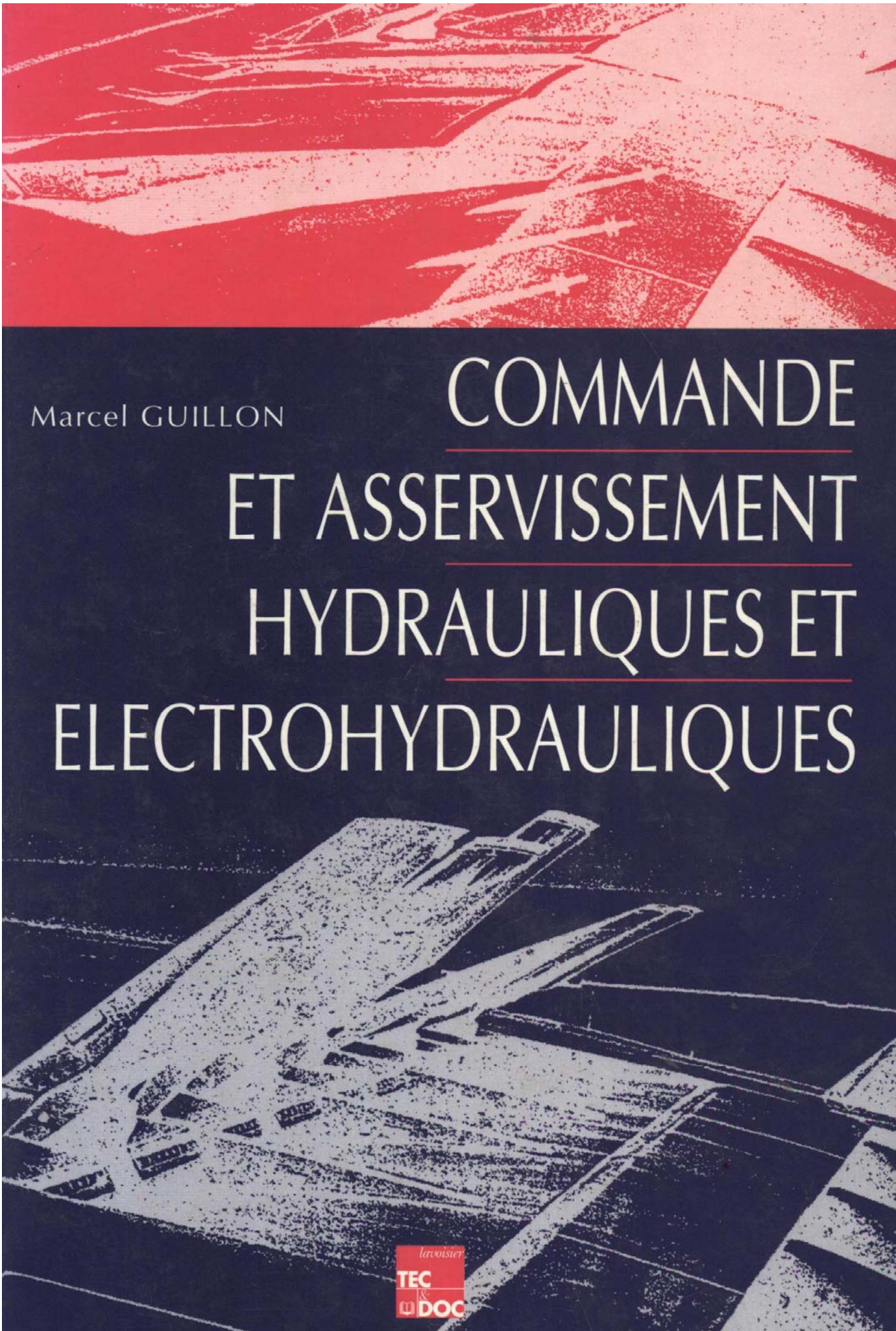


The cover features a high-contrast, grainy aerial photograph of a large dam and its reservoir. The top portion of the image is overlaid with a solid red color. The title and author's name are printed in white serif font on a dark blue background that occupies the middle section of the cover.

Marcel GUILLON

COMMANDE
ET ASSERVISSEMENT
HYDRAULIQUES ET
ELECTROHYDRAULIQUES

2-532-3-1

Commande et asservissement hydrauliques et électrohydrauliques

Marcel GUILLON

ingénieur civil de l'aéronautique
ingénieur conseil



avec la collaboration de

Bruno THORAVAL

ingénieur E.N.S.T.A.
chef du département Études Avancées
à Lucas-Air Équipement

2-532-3-1

242

Carl

LONDRES



NEW YORK

PARIS

11, rue Lavoisier
F 75384 Paris Cedex 08

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1

LOIS FONDAMENTALES MÉTHODES D'ÉTUDES

CHAPITRE 1

COMMANDE ET ASSERVISSEMENT HYDRAULIQUES ET ÉLECTROHYDRAULIQUES POURQUOI ? COMMENT ?

- 1 Vous avez dit « Hydraulique » ? 4
- 2 Comment utilise-t-on l'hydraulique ? 5

2.1 Dans quels récepteurs ? 5 • 2.2 Avec quel pilotage ? 6

- 3 Fonctions dévolues à l'asservissement hydraulique 7

3.1 Commande ou asservissement 7 • 3.2 Asservissement hydraulique en position à entrée mécanique ou à entrée électrique 9 • 3.3 Asservissement en vitesse, en force, en pression 11

- 4 Les points forts de l'asservissement hydraulique et électrohydraulique 14

APPLICATIONS

- 1 Commande ou asservissement ? 17
- 2 Correction d'un schéma d'asservissement erroné 17

CHAPITRE 2 LES DÉBITS HYDRAULIQUES

1	Équation générale	24
2	Débit de compressibilité.....	25
3	Débit de déformation	28
4	Débit de transfert (pertes de charge)	29

4.1 Détermination d'un débit ou d'une perte de charge 29 • 4.2 Intérêt d'une méthode simplifiée 30 • 4.3 Notion d'énergie de mise en vitesse 30 • 4.4 Méthode de calcul des pertes de charge 31 • 4.5 Les différents types d'écoulement 32 • 4.6 Valeurs numériques de λ 34 • 4.7 Valeurs numériques de ξ 36 • 4.8 Inconvénients des écoulements laminaires 39 • 4.9 Vitesses d'écoulement admissibles et tableau récapitulatif 40

ANNEXES

1	La relation de Bernoulli généralisée	42
2	La viscosité	44
3	Calcul des écoulements laminaires	51
4	Abaque 1 : Pertes de charge localisées	58
5	Abaque 2 : Pertes de charge réparties (tubes cylindriques).....	59

APPLICATIONS

1	Calculs de débits	60
2	Écoulements laminaires et turbulents	61
3	Calcul de la vitesse d'un vérin.....	61
4	Tuyauteries d'alimentation.....	62
5	Pertes de charge dans un organe hydraulique.....	63

CHAPITRE 3 LES FORCES HYDRAULIQUES

1	Équation générale	66
2	Problème du collage des distributeurs	68

2.1 Méthode de calcul 68 • 2.2 Remèdes 70

3	Forces hydrauliques dynamiques	70
---	--------------------------------------	----

3.1 Origine des forces hydrauliques dynamiques 71 •
3.2 Calcul de ces forces dans une valve 71 • 3.3 Procédés
employés pour surmonter les effets des forces dynami-
ques 75

4	Forces hydrauliques s'exerçant entre deux surfaces planes	78
---	---	----

4.1 Les surfaces sont en contact 78 • 4.2 Les surfaces ne
sont pas en contact 80

ANNEXE

L'équilibrage hydrostatique	81
-----------------------------------	----

APPLICATIONS

1	Joints d'étanchéité tournants	87
2	Le collage hydraulique	88
3	Les forces hydrauliques dynamiques	88

1	Rappel sur la linéarité	90
	<i>1.1 Intérêt de la linéarisation 90 • 1.2 Règles classiques de linéarisation 90 • 1.3 Les équations linéaires équivalentes 91 • 1.4 Exemple : le potentiomètre hydraulique turbulent 93</i>	
2	Méthode générale d'étude dynamique linéaire	97
	<i>2.1 De quoi s'agit-il ? 97 • 2.2 Entrées types. Exemples 98 • 2.3 Cas des systèmes linéaires 100 • 2.4 Récapitulation 109 • 2.5 Le problème de la stabilité 110 • 2.6 Exemple : le variateur hydraulique 111</i>	
3	Cas particulier des systèmes asservis	114
	<i>3.1 Mise sous forme canonique 114 • 3.2 Stabilité 117 • 3.3 Utilisation du lieu de Black 119 • 3.4 Régime définitif 123 • 3.5 Récapitulation 124</i>	

APPLICATIONS

1	Rudiments d'automatisme. Rappel	125
2	Étude d'un asservissement sur diagramme de Black	125

1	Simulation, Modélisation	128
	<i>1.1 La simulation des systèmes dynamiques 128 •</i>	
	<i>1.2 Modélisation ; le modèle d'état 128 • 1.3 Exemples 129</i>	
2	Modélisation des systèmes hydrauliques choix des variables d'état	133
	<i>2.1 Inertie mécanique et compressibilité du fluide négligés 133 • 2.2 Inertie prise en compte, compressibilité négligée 135 • 2.3 Inertie négligée, compressibilité prise en compte 135 • 2.4 Inertie et compressibilité prises en compte 137</i>	
3	Non linéarités présentant des discontinuités Modèle variable	137
4	Méthodes d'intégration. Méthodes et logiciels de simulation	139
	<i>4.1 Méthodes d'intégration 139 • 4.2 Le choix du pas de calcul 140 • 4.3 Méthodes et logiciels de simulation 140</i>	
5	Conclusion.....	141

APPLICATION

Modélisation d'une pompe autorégulatrice	142
---	------------

CHAPITRE 6 CARACTÉRISTIQUES - ANALOGIE - SIMILITUDE

1 Relations et courbes caractéristiques 146

1.1 Définition et construction 146 • 1.2 Exemples 147

2 Équation caractéristique des organes hydrauliques élémentaires 155

3 Analogie électrohydraulique 156

4 Similitude 158

5 Caractéristiques réduites 162

APPLICATIONS

1 Caractéristiques 165

2 L'analogie électrohydraulique 166

3 La similitude 166

4 Le contrôle de la vitesse de basculement du nez de l'avion CONCORDE 167

CHAPITRE 7 RÉGIMES TRANSITOIRES

1 Étude de la propagation des ondes dans une canalisation 172

2 Vitesse de propagation des ondes 175

3 Suppressions consécutives à une fermeture brutale 176

4 Période propre d'une canalisation 177

5 Méthode graphique de Bergeron 179

6 Réflexion des ondes - Impédance 182

CHAPITRE 8 **FOURNITURE, ACCUMULATION ET DISSIPATION D'ÉNERGIE HYDRAULIQUE**

1 Fourniture de fluide comprimé..... 184

*1.1 Relation générale 184 • 1.2 Cas des liquides 185 •
1.3 Cas des gaz 186*

2 Stockage d'énergie hydraulique..... 187

3 Dissipation d'énergie hydraulique 190

4 Dimensionnement 191

5 Choix de la génération hydraulique 193

6 Problèmes thermiques..... 195

*6.1 La plage des températures admissibles 195 • 6.2 Les
points singuliers 196 • 6.3 L'évaluation de la quantité de
calories à dissiper 196 • 6.4 Régimes transitoires et
régimes permanents 197*

APPLICATIONS

1 Avant projet énergétique d'une installation..... 198

2 Détermination d'un accumulateur hydro-pneumatique 199

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 2

COMPOSANTS SYSTÈMES PERFORMANCES

CHAPITRE 9 RÉGULATION HYDRAULIQUE

1	Asservissement et régulation	207
2	La régulation de pression	207

*2.1 La régulation d'une différence de pressions 207 •
2.2 La régulation d'une pression relative 210 • 2.3 La réalisation d'une loi de régulation entre plusieurs pressions 210*

3	La régulation de débit	212
4	Réalisation pratique et performances	213

4.1 Technologie 213 • 4.2 Caractéristiques statiques et dynamiques 215

APPLICATIONS

1	Boucles de régulation hydrauliques	217
2	Étude d'un régulateur de vitesse pour réacteur	218

CHAPITRE 10 LA SERVOVALVE ÉLECTROHYDRAULIQUE

1	Définition	224
2	La servovalve en débit	224
	<i>2.1 Description 224 • 2.2 Différents types 227 • 2.3 Performances 230 • 2.4 Rendement - Puissance de sortie 234 • 2.5 Quelques mots de technologie 234 • 2.6 Le problème du choix d'une servovalve 235</i>	
3	La servovalve en pression	236
	<i>3.1 Principaux types 236 • 3.2 La servovalve à un étage 236 • 3.3 La servovalve à deux étages 239 • 3.4 Le retour en pression 240 • 3.5 Autres réalisations 240</i>	
4	Évolution de la servovalve	241
	<i>4.1 L'amélioration technologique 242 • 4.2 La servovalve spécifique 242 • 4.3 La servovalve à un seul étage 243 • 4.4 Le développement de valves en pression nouvelles 245</i>	

APPLICATIONS

1	Choix d'une servovalve	246
2	Les variations de débit d'une servovalve	246
3	Forces hydrauliques dans une servovalve	247

CHAPITRE 11 PERFORMANCES DE L'ASSERVISSEMENT EN POSITION

1	Plan proposé	250
2	Vérin à entrée mécanique. Approche simplifiée.....	250
3	Vérin à entrée mécanique. Étude linéaire classique	253
	<i>3.1 Fonction de transfert 253 • 3.2 Conditions de stabilité 256 • 3.3 Introduction de l'amortissement interne du fluide 260 • 3.4 Prise en compte des paramètres d'interface 262 • 3.5 Prévision des performances maximales possibles 264</i>	
4	Extension des résultats précédents.....	266
	<i>4.1 Extension au vérin à entrée électrique 266 • 4.2 Extension à l'asservissement à moteur rotatif 268</i>	
5	Le dilemme précision-rapidité.....	270
6	Ébauche d'une étude non linéaire.....	272
	<i>6.1 Objectif 272 • 6.2 Méthode 272 • 6.3 Énergie apportée au vérin par le fluide 273 • 6.4 On retrouve les conditions de stabilité établies en 3.2 273 • 6.5 Seuil d'oscillation et amplitude limite 275 • 6.6 Généralisation 278</i>	
7	Stabilisation	280
	<i>7.1 Recherche des procédés de stabilisation possibles 280 • 7.2 Stabilisation par ordre secondaire 280 • 7.3 Stabilisation par fuite 281 • 7.4 L'élimination de l'erreur statique 281</i>	

ANNEXE

Cas de l'asservissement en force	286
---	------------

APPLICATIONS

1	Notions de base	289
2	Exploitation de résultats d'essais	290
3	Erreur de position	294
4	Approche quantitative de la stabilisation	295

1	Historique rapide.....	298
2	État de l'art	301
	2.1 Servocommandes à entrée mécanique : AIRBUS A 300 302 • 2.2 Servocommandes à entrée mécanique : Avions U.S. 304 • 2.3 Servocommandes à entrée électrique 306 • 2.4 Servocommandes mixtes 307	
3	Puissance - Masse - Encombrement	307
	3.1 Le gaspillage de puissance 307 • 3.2 Masse et encom- brement 311 • 3.3 Solutions en étude 312	
4	Performances dynamiques	315
	4.1 La rapidité de réponse 315 • 4.2 L'évolution actuelle 315 • 4.3 Solutions envisageables pour améliorer ces per- formances 316	
5	Précision - Synchronisation.....	317
6	Durée de vie - Fiabilité - Maintenabilité	318

ANNEXES

1	L'intérêt du pilotage par fil.....	320
2	Solutions futures ?.....	322

A2.1 La commande numérique directe 322 • A2.2 Des
organes de puissance nouveaux à commande sophistiquée
325 • A2.3 Des organes élémentaires rustiques comman-
dés par des électroniques élaborées 327

APPLICATION

	L'érosion des distributeurs.....	328
--	---	------------

CHAPITRE 13 QUELLES POMPES POUR LES SYSTÈMES HYDRAULIQUES ?

1 Les deux familles de pompes et moteurs 330

1.1 Les machines volumétriques 330 • 1.2 Les machines hydrodynamiques 331 • 1.3 Domaines d'application respectifs 333 • 1.4 Protection des machines volumétriques et hydrodynamiques 334 • 1.5 Le travail des machines hydrauliques 336

2 Les machines volumétriques 337

2.1 Principaux types de machines volumétriques 337 • 2.2 Les pompes à profils conjugués 337 • 2.3 Les pompes à palettes 340 • 2.4 Les pompes à pistons 342 • 2.5 Considérations sur les machines volumétriques 347

3 Les machines hydrodynamiques 351

3.1 Définition et désignations 351 • 3.2 Architecture générale 351 • 3.3 Théorie d'Euler 353 • 3.4 Les pompes 356

4 La génération hydraulique - Recherches actuelles 359

ANNEXE

Quelques mots sur les machines inertielles 361

APPLICATIONS

1 Le rendement des machines volumétriques 363

2 Circuits hydrauliques. Correction de schémas erronés 364

CHAPITRE 14 HYDRAULIQUE ET FIABILITÉ

1	Quelques définitions	368
2	Types de pannes	369
3	Quelques ordres de grandeur	370
4	La redondance.....	371

4.1 Nécessité de la redondance 371 • 4.2 Quelques évidences souvent méconnues 371 • 4.3 Qualités principales à exiger d'un système de puissance redondant 374 • 4.4 Aptitude de l'hydraulique à réaliser ces qualités 374 • 4.5 Les deux grandes familles de systèmes redondants 375 • 4.6 Le choix du type de redondance 377

5	Conclusion.....	381
---	-----------------	-----



MARCEL GUILLON est ingénieur civil de l'aéronautique, ingénieur-conseil en mécanique, hydraulique et asservissements et ancien Directeur Technique de Air Equipement.

Pendant une trentaine d'années, il a conçu et mis au point de très nombreux systèmes hydrauliques et électrohydrauliques - en particulier des asservissements - notamment pour les avions LEDUC, la CARAVELLE, le CONCORDE, la famille des AIRBUS et les missiles balistiques

français, mais aussi pour nombre de réalisations non aérospatiales.

Depuis sept ans, son activité d'ingénieur-conseil lui donne l'occasion de fructueux transferts de technologie vers les secteurs de l'automobile, de la marine, des travaux publics et de l'industrie.

Parallèlement, il enseigne sa spécialité dans plusieurs Grandes Ecoles et Universités et a écrit des ouvrages de référence qui ont connu un vif succès dans leurs éditions françaises et étrangères.

Cet ouvrage est écrit par un praticien pour les praticiens et les utilisateurs de l'hydraulique quels que soient leurs secteurs d'activité : aérospatial, automobile, marine, travaux publics, industries diverses...

Il a l'ambition de faire connaître les progrès récents et les tendances actuelles de l'hydraulique, en particulier de l'électrohydraulique à pilotage électronique.

Dans une optique d'application pratique, l'auteur s'attache à l'exposé des lois générales qui régissent l'hydraulique et à la présentation des méthodes d'études les mieux adaptées à cette discipline.

Il multiplie exemples pratiques, résultats expérimentaux et ordres de grandeur numériques. Il propose aussi de nombreux exercices d'application tirés de cas réellement rencontrés.

La clarté et la qualité pédagogique de cet outil en feront un "ouvrage clé" pour les étudiants et pour les ingénieurs dans leur travail quotidien.



2-85206-756-0



9 782852 067561