

Table des matières

Introduction	13
Chapitre 1. Considérations générales	17
1.1. Transmission de puissance dans les aéronefs	17
1.1.1. Besoin et flux de puissance secondaire	17
1.1.2. Fonctions d'actionnement	18
1.1.2.1. Les commandes de vol primaires	19
1.1.2.2. Les commandes de vol secondaires	20
1.1.2.3. Les atterrisseurs.	20
1.1.2.4. Les moteurs	21
1.1.2.5. Les servitudes.	21
1.1.3. Besoin et contraintes en actionnement.	21
1.1.3.1. Type d'opération	21
1.1.3.2. Commande	22
1.1.3.3. Puissance et dynamique	22
1.1.3.4. Environnement	22
1.1.3.5. Durée de vie.	23
1.1.3.6. Fiabilité	23
1.1.3.7. Maturité	24
1.1.3.8. Topologie	24
1.2. Fonctions primaires et secondaires en transmission de puissance pour les actionneurs	24
1.2.1. Fonctions primaires.	25
1.2.2. Fonctions secondaires	27
1.2.3. Vision signal et vision puissance	28
1.2.4. Types d'actionneurs	29

1.3. Actionnement à puissance hydraulique	31
1.3.1. Unités et valeurs usuelles	31
1.3.2. Transport d'énergie par un liquide	32
1.3.2.1. Transport par gravité.	32
1.3.2.2. Transport sous forme (hydro)cinétique	33
1.3.2.3. Transport sous forme hydrostatique.	33
1.3.2.4. Transport sous forme de chaleur	33
1.3.3. Evolution de la puissance et de la pression	36
1.3.3.1. Augmentation du besoin de puissance	36
1.3.3.2. Augmentation de la pression de service	39
1.3.4. Avantages et inconvénients potentiels de la technologie hydraulique.	42
1.3.4.1. Avantages	42
1.3.4.2. Inconvénients	43
1.3.5. Architecture générale d'un circuit hydraulique	45
Chapitre 2. Fiabilité	47
2.1. Le risque et son acceptation	47
2.2. Réponse à la faute	50
2.2.1. Résistance à la faute	50
2.2.2. Tolérance à la faute.	51
2.2.2.1. Système actif après défaillance.	53
2.2.2.2. Système non actif après défaillance	53
2.2.3. Exemples	54
2.3. Redondance.	55
2.3.1. Redondance statique	57
2.3.1.1. Redondance simple parallèle	59
2.3.1.2. Redondance par moyennage	59
2.3.1.3. Redondance par vote majoritaire.	60
2.3.1.4. Commande/surveillance.	60
2.3.2. Redondance dynamique	61
2.3.2.1. Détection/correction	62
2.4. Evénements redoutés et taux de défaillance en actionnement	64
2.5. Bases du calcul de fiabilité.	64
2.5.1. Variables utilisées pour le calcul de fiabilité	64
2.5.2. Modèles génériques du taux de défaillance.	67
2.5.2.1. Distribution de probabilité de défaillance exponentielle.	68
2.5.2.2. Distribution de Weibull	69
2.5.3. Fiabilité d'une association d'éléments.	70
2.5.3.1. Association d'éléments en série	70

2.5.3.2. Association d'éléments en parallèle	70
2.5.3.3. Association d'éléments en vote majoritaire	71
2.5.3.4. Association d'éléments en détection-correction	71
2.5.3.5. Exemples	72
2.6. Glossaire succinct de fiabilité	73

Chapitre 3. Le fluide hydraulique et son conditionnement 75

3.1. Besoins et contraintes	75
3.1.1. Opportunités et contraintes en transmission de puissance hydrostatique	75
3.1.2. Fluide hydraulique réel	76
3.1.3. Propriétés physiques	78
3.1.3.1. Résistance au feu	79
3.1.3.2. Méconnaissance des propriétés physiques effectives	79
3.1.3.3. Influence de la compressibilité sur les performances	79
3.1.3.4. Très forte sensibilité de la viscosité à la température	79
3.1.3.5. Influence du gaz libre	79
3.2. Conditionnement du fluide	80
3.2.1. Fluide en quantité suffisante	80
3.2.1.1. Faciliter l'aspiration des pompes	80
3.2.1.2. Autoriser la variation de volume en fonction de la pression et de la température	81
3.2.1.3. Compenser la variation du volume offert par les équipements	81
3.2.1.4. Compenser les fuites externes	81
3.2.2. Pressurisation et gavage	82
3.2.2.1. Pressurisation	82
3.2.2.2. Gavage	84
3.2.3. Filtration	85
3.2.3.1. Filtre d'aspiration	86
3.2.3.2. Filtre de drain	87
3.2.3.3. Filtre haute pression	87
3.2.3.4. Filtre intégral	87
3.2.3.5. Filtre de retour	87
3.2.3.6. Reniflard	87
3.2.3.7. Filtre de remplissage	88
3.2.4. Management thermique	88
3.2.4.1. Refroidissement	88
3.2.4.2. Réchauffage	90
3.2.5. Collecte des fuites externes	92

3.3. Surveillance et maintien du fluide en conditions opérationnelles	92
3.3.1. Quantité de fluide	93
3.3.2. Propreté	93
3.3.3. Pressurisation/dépressurisation	93
3.3.4. Exemples	94
3.4. Phénomènes énergétiques engendrés par le fluide	95
3.4.1. Résistance hydraulique	95
3.4.2. Capacité hydraulique	95
3.4.3. Inertie hydraulique	97
3.4.4. Vitesse du son dans le fluide hydraulique	98

Chapitre 4. Transformation de puissance hydromécanique 99

4.1. Transformation de puissance hydromécanique	99
4.2. Vision fonctionnelle	103
4.3. Imperfections technologiques	105
4.3.1. Pertes d'énergie	105
4.3.2. Compressibilité du fluide hydraulique	106
4.3.3. Déformation des enveloppes	107
4.3.4. Pulsations	107
4.3.5. Drainage	108
4.4. Entraînement des pompes	109
4.4.1. Entraînement par les moteurs principaux :	
<i>Engine Driven Pump (EDP)</i>	109
4.4.2. Entraînement par moteur électrique :	
<i>Electro Mechanical Pump (EMP)</i> ou <i>Alternative Current Motor Pump (ACMP)</i>	111
4.4.3. Entraînement par moteur hydraulique :	
<i>Power Transfer Unit (PTU)</i>	112
4.4.4. Entraînement par air dynamique :	
<i>Ram Air Turbine (RAT)</i> ou <i>Air Driven Pump (ADP)</i>	112
4.4.5. Entraînement par turbine à gaz : <i>Solid Propellant Gas Generator (SPGG)</i> ou <i>Monofuel Emergency Power Unit (MEPU)</i>	114
4.4.6. Fourniture de fluide sous pression à fluide perdu	114

Chapitre 5. Dosage de puissance en hydraulique 115

5.1. Principes de dosage	115
5.2. Puissance à la demande	117
5.2.1. Dosage par réglage de l'entraînement de pompe	117
5.2.2. Dosage par réglage de cylindrée	119

5.3. Dosage par restriction hydraulique	122
5.3.1. Configurations fonctionnelles.	123
5.3.1.1. Utilisateur hydraulique simple effet et double effet.	123
5.3.1.2. Etat intermédiaire.	124
5.3.1.3. Fonction directionnelle et fonction de dosage	125
5.3.1.4. Dosage par régulateur de débit	126
5.3.1.5. Dosage par distributeur à effet proportionnel	126
5.3.2. Types de distribution	128
5.3.2.1. Distribution série	128
5.3.2.2. Distribution parallèle	129
5.4. Impact des propriétés et de la réalisation de la restriction sur la fonction de dosage.	130
5.4.1. Restriction hydraulique fixe.	130
5.4.1.1. Ecoulement laminaire	130
5.4.1.2. Ecoulement turbulent	131
5.4.1.3. Transition	131
5.4.1.4. Ordres de grandeur	132
5.4.2. Restriction hydraulique variable	132
5.4.2.1. Types de restrictions	132
5.4.2.2. Caractéristique géométrique d'une restriction variable	134
5.4.2.3. Capacité de puissance	135
5.4.2.4. Propriétés pour la commande.	139
5.4.2.5. Interfaçage et commande d'ouverture de distributeur	140
5.4.2.6. Résistance ou tolérance au grippage.	144
5.5. Servovalve	145
5.5.1. Architecture	146
5.5.2. Amélioration incrémentale des performances de la servovalve.	149
5.5.3. Alimentation du moteur électromagnétique	151
5.5.4. Concepts des étages de pilotage	151
5.5.5. Servovalves à pilotage direct	158
5.5.5.1. Applications.	158
5.5.5.2. Architecture des servovalves à pilotage direct.	160
Chapitre 6. Gestion de la puissance en hydraulique	163
6.1. Distribution de puissance.	163
6.2. Mettre la puissance à disposition	163
6.2.1. Transporter le fluide	163
6.2.1.1. Connecteurs hydrauliques.	164
6.2.1.2. Conduites hydrauliques	165

6.2.2. Isoler	168
6.2.3. Séquencer l'alimentation des utilisateurs	170
6.2.4. Réunir les sources.	171
6.2.5. Partager les sources.	172
6.2.5.1. Partage de débit avec priorité.	172
6.2.5.2. Partage de débit à égalité	173
6.2.6. Stocker/restituer.	174
6.2.6.1. Besoins.	174
6.2.6.2. Réalisation.	175
6.2.7. Adapter le niveau de pression.	177
6.3. Protéger	177
6.3.1. Protéger contre les surpressions et les sur-efforts	178
6.3.2. Protéger contre la cavitation et le dégazage.	181
6.3.3. Protéger contre les surconsommations.	182
6.4. Gérer la charge	184
6.4.1. Bloquer la charge en position	185
6.4.2. Assurer l'irréversibilité.	185
6.4.3. Libérer la charge	186
6.4.4. Amortir la charge	187
6.4.4.1. Amortir une charge motrice lorsque l'actionneur est actif.	188
6.4.4.2. Amortir une charge hydrauliquement débrayée	188
6.4.4.3. Eviter les vibrations de charge	189
6.4.4.4. Amortir en fin de course	190

Chapitre 7. Architectures et intégration géométrique 193

7.1. Introduction.	193
7.2. Agencement des fonctions d'actionnement	193
7.3. Architecture et routage des réseaux de puissance hydraulique	195
7.3.1. Architecture	195
7.3.2. Routage.	197
7.4. Intégration des composants et des équipements	197
7.4.1. Intégration en ligne	198
7.4.2. Intégration sur collecteur	198
7.4.3. Intégration en sous-système	201
7.5. Intégration des actionneurs dans la structure porteuse.	204
7.5.1. Vis-à-vis de la commande	204
7.5.1.1. Actionneur linéaire à corps mobile	204
7.5.1.2. Actionneur à tige mobile	205
7.5.2. Intégration structurelle	207

7.5.2.1. Amplitude de mouvement limitée à quelques dizaines de degrés	207
7.5.2.2. Amplitude de mouvement supérieure à 90°	209
7.5.2.3. Commandes de vol secondaires	211
Notations et acronymes	213
Bibliographie	219
Index	227