

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-------------------|---|----------|
| CHAPITRE 1 | Fluide - Filtration - Canalisations - Réservoir | 1 |
| 1. | GÉNÉRALITÉS SUR LE COMPORTEMENT D'UN FLUIDE EN CIRCULATION À L'INTÉRIEUR D'UNE CONDUITE | 1 |
| 1.1 | Introduction | 1 |
| 1.2 | Définition de la viscosité | 2 |
| 1.2.1 | Viscosité dynamique | 2 |
| 1.2.2 | Viscosité cinématique | 3 |
| 1.2.3 | Viscosité Engler, Redwood, Saybolt | 3 |
| 1.3 | Régimes d'écoulement | 3 |
| 1.3.1 | Nombre de Reynolds | 3 |
| 1.3.2 | Régime laminaire | 4 |
| 1.3.3 | Régime turbulent | 4 |
| 1.3.4 | Régime incertain | 4 |
| 1.4 | Pertes de charge | 4 |
| 1.4.1 | Pertes de charge systématiques | 5 |
| 1.4.2 | Pertes de charge singulières | 8 |
| 2. | FLUIDE HYDRAULIQUE POUR TRANSMISSION DE PUISSANCE HYDROSTATIQUE ET HYDRODYNAMIQUE | 9 |
| 2.1 | Différents types d'huiles hydrauliques | 9 |
| 2.1.1 | Huile minérale | 10 |
| 2.1.2 | Huile de synthèse et produits aqueux | 10 |
| 2.2 | Caractéristiques des huiles hydrauliques | 11 |
| 2.2.1 | Viscosité | 11 |
| 2.2.2 | Variation de volume | 13 |
| 2.2.3 | Autres caractéristiques | 14 |
| 2.3 | Désignations normalisées des huiles hydrauliques | 16 |
| 2.3.1 | Normes ISO ASTM | 16 |
| 2.3.2 | Classification N.F.F. 48603 | 17 |
| 2.3.3 | Exemple de performances | 17 |
| 2.4 | Vidange d'une installation hydraulique | 18 |
| 3. | LA FILTRATION | 18 |
| 3.1 | Nécessité | 18 |
| 3.2 | Classification de l'état de pollution d'un fluide hydraulique | 19 |
| 3.3 | Conséquences d'une mauvaise filtration | 19 |
| 3.4 | Contrôle du niveau de pollution | 19 |
| 3.4.1 | Introduction | 19 |
| 3.4.2 | Contrôle qualitatif | 20 |
| 3.4.3 | Contrôle quantitatif | 20 |
| 3.5 | Techniques de filtration | 21 |
| 3.6 | Présentation particulière des filtres à tamisage | 21 |
| 3.6.1 | Efficacité et degré de rétention d'un filtre à tamisage | 21 |
| 3.6.2 | Localisation des filtres à tamisage sur un circuit | 22 |
| 3.6.3 | Description d'un filtre à tamisage | 23 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4. RÉSERVOIR ET CANALISATIONS | 25 |
| 4.1 Réservoir | 25 |
| 4.1.1 Fonction | 25 |
| 4.1.2 Description | 26 |
| 4.2 Canalisations | 29 |
| 4.2.1 Introduction | 29 |
| 4.2.2 Canalisations rigides | 29 |
| 4.2.3 Canalisations souples | 31 |
| A SAVOIR | 33 |

CHAPITRE 2 Les pompes volumétriques. Enoncé des principes 37

| | |
|--|----|
| 1. GÉNÉRALITÉS | 37 |
| 1.1 Notations | 37 |
| 1.2 Description | 37 |
| 1.3 Fonction | 38 |
| 1.3.1 Fonction d'un point de vue énergétique | 38 |
| 1.3.2 Fonction d'un point de vue technologique | 39 |
| 1.4 Situation | 39 |
| 1.4.1 Premier cas : mise en mouvement d'un récepteur linéaire (vérin) | 39 |
| 1.4.2 Deuxième cas : mise en mouvement d'un récepteur rotatif (moteur hydraulique) | 39 |
| 1.5 Débit variable - Débit constant | 41 |
| 1.6 Un sens de flux - Deux sens de flux | 41 |
| 2. PRINCIPES MIS EN ŒUVRE | 41 |
| 2.1 Pompes à pistons axiaux (ou pompes à barillet) | 42 |
| 2.1.1 Première configuration | 42 |
| 2.1.2 Deuxième configuration | 42 |
| 2.1.3 Troisième configuration | 42 |
| 2.1.4 Quatrième configuration | 43 |
| 2.1.5 Cinquième configuration | 43 |
| 2.2 Pompes à pistons radiaux | 44 |
| 2.2.1 A système bielle/manivelle | 44 |
| 2.2.2 A excentrique | 44 |
| 2.2.3 A bloc-cylindres excentré | 45 |
| 2.2.4 A pistons en ligne | 45 |
| 2.3 Pompes à palettes | 46 |
| 2.4 Pompes à engrenages | 46 |
| 2.5 Pompes à vis | 46 |
| 2.6 Pompes à élément tubulaire déformable (ou pompe péristaltique) | 47 |
| 3. GRANDEURS ASSOCIEES AUX POMPES VOLUMETRIQUES | 47 |
| 3.1 Cylindrée | 47 |
| 3.2 Débit moyen théorique ($q_{v\text{ moy}}$) | 47 |
| 3.3 Débit instantané | 47 |
| 3.4 Coefficient d'irrégularité | 48 |
| 3.5 Rendements | 48 |
| 3.5.1 Rendement volumétrique | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5.2 Rendement mécanique | 51 |
| 3.5.3 Rendement global | 52 |
| 3.6 Couple à appliquer sur l'arbre d'entraînement | 53 |
| 4. LES POMPES A PISTONS AXIAUX ET RADIAUX - IRREGULARITE DU DEBIT INSTANTANE | 53 |
| 4.1 Introduction | 53 |
| 4.2 Expression analytique du débit instantané théorique pour les pompes à pistons axiaux | 54 |
| 4.2.1 Paramétrage | 54 |
| 4.2.2 Course du piston | 54 |
| 4.2.3 Vecteur position d'un point du piston | 54 |
| 4.2.4 Vitesse linéaire du piston | 54 |
| 4.2.5 Débit instantané théorique | 55 |
| 4.3 Expression analytique du débit instantané théorique pour les pompes à pistons radiaux | 56 |
| 4.3.1 Différents systèmes de transformation de mouvement | 56 |
| 4.3.2 Cas du système bielle/manivelle (ou bielle/excentrique) | 57 |
| 4.3.3 Cas du système à excentrique et plateau | 58 |
| 4.4 Synthèse des résultats. Représentation graphique du débit instantané théorique | 59 |
| 4.5 Détermination graphique du coefficient d'irrégularité | 61 |
| 4.5.1 Expression du débit moyen théorique pour les pompes à pistons | 62 |
| 4.5.2 Détermination graphique des débits instantanés maximal q_{VM} et minimal q_{vm} | 62 |
| 4.5.3 Valeur du coefficient d'irrégularité | 64 |
| 5. LES AUTRES TYPES DE POMPES | 65 |
| 5.1 Pompe à palettes | 66 |
| 5.1.1 A excentrique à cylindrée variable ou non | 66 |
| 5.1.2 A came (cylindrée constante) | 70 |
| 5.2 Pompes à engrenages | 71 |
| 5.2.1 - A engrenages extérieurs (profil en développante de cercle) | 71 |
| 5.2.2 A engrenages intérieurs (profil en développante de cercle) | 74 |
| 5.2.3 A engrenages intérieurs (profils circulaires) | 74 |
| 5.3 Pompe à vis | 76 |
| 5.3.1 Description | 76 |
| 5.3.2 Fonctionnement | 77 |
| 5.3.3 Cylindrée | 78 |
| 5.3.4 Débit moyen théorique | 79 |
| 5.4 A élément tubulaire déformable (ou péristaltique) | 79 |
| 5.4.1 Description | 79 |
| 5.4.2 Fonctionnement | 80 |
| 5.4.3 Cylindrée | 80 |
| 5.4.4 Débit moyen théorique | 80 |
| A SAVOIR | 81 |

CHAPITRE 3 Les pompes. Réalisations **85**

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 1. GENERALITES | 85 |
| 1.1 Fuites internes | 85 |
| 1.2 Lubrification | 86 |
| 1.3 Phénomène de cavitation | 87 |
| 1.4 Niveau sonore | 87 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.4.2 | Raideur du vérin initial | 147 |
| 3.4.3 | Variation de position de la tige du vérin pour un dépassement accidentel de la charge | 147 |
| 3.4.4 | Dimensionnement final du vérin | 148 |
| 3.5 | Conclusion | 148 |
| 4. | ETUDE DYNAMIQUE | 148 |
| 4.1 | Introduction | 148 |
| 4.2 | Paramétrage et hypothèses de calculs | 149 |
| 4.3 | Equation de débit | 150 |
| 4.4 | Etude du démarrage | 150 |
| 4.4.1 | Première phase : mise en pression du circuit, sans déplacement de la tige du vérin | 150 |
| 4.4.2 | Deuxième phase : mise en mouvement de la tige du vérin | 151 |
| 4.4.3 | Troisième phase : mouvement uniformément accéléré de la tige | 154 |
| 4.5 | Synthèse des résultats. Conclusions. | 155 |
| 4.5.1 | Remarque concernant les durées des deux premières phases | 155 |
| 4.5.2 | Relation entre le débit Q de la pompe et la pression de tarage p_0 du limiteur de pression | 155 |
| 5. | AMORTISSEMENT DE FIN DE COURSE | 157 |
| 5.1 | Introduction | 157 |
| 5.2 | Principe de fonctionnement d'un amortisseur de fin de course | 157 |
| 5.2.1 | Dispositif d'amortissement sans réglage | 158 |
| 5.2.2 | Dispositif d'amortissement avec réglage | 159 |
| 6. | FLAMBAGE DE LA TIGE | 159 |
| 6.1 | Théorie d'Euler | 160 |
| 6.1.1 | Configurations d'installation d'un vérin | 160 |
| 6.1.2 | Charge critique d'Euler | 161 |
| 6.1.3 | Diamètre de la tige | 162 |
| 6.2 | Application de la théorie d'Euler à la détermination approchée d'une tige de vérin | 163 |
| 6.2.1 | Calcul | 163 |
| 6.2.2 | Détermination graphique | 163 |
| A SAVOIR | | 165 |

CHAPITRE 5 Les vérins hydrauliques. Réalisations 169

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | PROBLEME DE L'ETANCHEITE | 169 |
| 1.1 | Introduction | 169 |
| 1.2 | Problème de l'extrusion des joints toriques | 171 |
| 1.3 | Etanchéité par presse-étoupe | 172 |
| 1.4 | Etanchéité par joints de formes diverses | 172 |
| 1.5 | Joint raqueur | 173 |
| 1.6 | Segments de guidage | 173 |
| 2. | MATERIAUX - TRAITEMENTS | 173 |
| 3. | VERINS HYDRAULIQUES LINEAIRES POUR APPLICATIONS COURANTES | 174 |
| 3.1 | Vérin simple effet | 174 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.2 | Vérin double effet sans amortissement | 176 |
| 3.3 | Vérin double effet avec amortissement | 176 |
| 3.4 | Vérin télescopique | 178 |
| 4. | VERINS HYDRAULIQUES LINEAIRES POUR APPLICATIONS PARTICULIERES | 181 |
| 4.1 | Vérin pousseeur | 181 |
| 4.1.1 | Vérin pousseeur portable | 181 |
| 4.1.2 | Vérin pousseeur "galette" | 181 |
| 4.1.3 | Vérin pousseeur "cube" | 182 |
| 4.1.4 | Vérin pousseeur à pattes en appui axial | 182 |
| 4.1.5 | Vérin pousseeur à doigts en appui radial | 183 |
| 4.2 | Vérin tireur | 184 |
| 4.2.1 | Vérin tireur simple | 184 |
| 4.2.2 | Vérin tireur pivotant simple | 184 |
| 4.2.3 | Vérin tireur pivotant à verrouillage | 185 |
| 4.3 | Vérins particuliers | 185 |
| 4.3.1 | Vérin particulier à piston creux | 185 |
| 4.3.2 | Vérin particulier monte-charge | 186 |
| 5. | VERINS HYDRAULIQUES ROTATIFS | 187 |
| 5.1 | Vérin hydraulique rotatif à crémaillère | 187 |
| 5.2 | Vérin hydraulique rotatif à palette | 189 |
| 5.3 | Vérin rotatif à système vis-écrou | 190 |
| A | SAVOIR | 192 |

CHAPITRE 6 Les moteurs hydrauliques. Principes et réalisations **193**

| | | |
|-------|---|-----|
| 1. | GENERALITES | 193 |
| 1.1 | Notations | 193 |
| 1.2 | Fonction d'un moteur hydraulique | 194 |
| 1.2.1 | Fonction d'un point de vue énergétique | 194 |
| 1.2.2 | Fonction d'un point de vue technologique | 194 |
| 1.3 | Performances | 194 |
| 1.3.1 | Moment du couple moyen théorique | 194 |
| 1.3.2 | Vitesse angulaire théorique | 195 |
| 1.3.3 | Rendements | 195 |
| 1.4 | Différents types de moteurs hydrauliques et configurations d'installation | 197 |
| 2. | CLASSIFICATION ET PRINCIPES MIS EN ŒUVRE | 198 |
| 2.1 | Les moteurs-pompes | 198 |
| 2.1.1 | Moteurs-pompes à pistons axiaux (ou à barillet) | 198 |
| 2.1.2 | Moteurs-pompes à pistons radiaux | 200 |
| 2.1.3 | Moteurs-pompes à engrenages (profil en développante de cercle), et à palettes | 201 |
| 2.2 | Les moteurs lents à came et galets, à pistons radiaux | 201 |
| 2.2.1 | Introduction | 201 |
| 2.2.2 | Description | 201 |
| 2.2.3 | Fonctionnement | 202 |
| 2.2.4 | Différentes architectures | 205 |
| 2.3 | Les moteurs lents à came et billes | 207 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.3.1 | Description | 207 |
| 2.3.2 | Fonctionnement | 208 |
| 2.4 | Les moteurs lents à engrenages intérieurs (à profil cylindrique), à simple contact | 208 |
| 2.4.1 | Description | 208 |
| 2.4.2 | Fonctionnement | 209 |
| 2.5 | Les moteurs lents à engrenages intérieurs (à profil cylindrique), à double contact | 209 |
| 2.5.1 | Description | 209 |
| 2.5.2 | Fonctionnement | 209 |
| 3. | COUPLE DISPONIBLE SUR L'ARBRE D'UN MOTEUR HYDRAULIQUE (MOTEURS-POMPES ET MOTEURS LENTS) | 211 |
| 3.1 | Expression du moment du couple moyen réel disponible sur l'arbre des moteurs-pompes hydrauliques | 211 |
| 3.2 | Expression du moment du couple instantané théorique disponible sur l'arbre des moteurs-pompes à pistons axiaux ou radiaux | 212 |
| 3.2.1 | Introduction | 212 |
| 3.2.2 | Expression du moment du couple instantané théorique | 212 |
| 3.3 | Expression du moment du couple instantané théorique disponible sur l'arbre des moteurs lents, à pistons radiaux et galets sur came | 214 |
| 3.3.1 | Remarque concernant l'irrégularité du couple instantané | 214 |
| 3.3.2 | Couple instantané pour un piston | 215 |
| 3.3.3 | Moment du couple instantané théorique pour n pistons | 215 |
| 3.3.4 | Détermination du profil de came | 217 |
| 4. | DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES ET PERFORMANCES | 219 |
| 4.1 | Les moteurs-pompes | 219 |
| 4.1.1 | Moteur à pistons axiaux, à cylindrée variable | 219 |
| 4.1.2 | Moteurs à pistons radiaux | 221 |
| 4.2 | Moteurs lents à pistons | 225 |
| 4.2.1 | A pistons radiaux, came et galets | 225 |
| 4.2.2 | A pistons axiaux, came et billes | 231 |
| 4.3 | Moteurs lents à engrenage intérieur (à profil cylindrique) | 232 |
| 4.3.1 | A simple contact | 232 |
| 4.3.2 | A double contact | 236 |