

SOMMAIRE

Chapitre 1

Notions élémentaires d'hydraulique pratique	17
1. Loi fondamentale de la statique des fluides incompressibles	18
2. Théorème de PASCAL	21
3. Principes de base pratiques de la dynamique des fluides incompressibles	23
3.1. Résistance hydraulique	24
3.1.1. Définition de la résistance hydraulique Z	24
3.1.2. Unités de la résistance hydraulique Z	25
3.1.3. Résistance hydraulique équivalente	25
3.2. Pertes de charge	29
3.2.1. Définition des pertes de charge	29
3.2.2. Représentation graphique de la relation $\Delta P = Z \cdot Q^2$ entre la perte de charge d'un composant hydraulique et le débit qui le traverse	32
3.2.3. Représentation graphique de la relation entre l'énergie E_c consommée par un réseau ouvert montant et le débit	34
3.2.4. Courbe représentative de la relation entre la HMT et le débit d'une pompe centrifuge	37
4. Association pompe - réseau	38
4.1. Association pompe – réseau ouvert.....	38
4.2. Association pompe – réseau fermé.....	38
5. Loi des nœuds de débits	39
6. Loi des mailles	40
7. Principaux moyens d'adaptation du réseau à la pompe	41
7.1. Vanne d'équilibrage	41
7.2. Vanne d'équilibrage montée en série avec la pompe	42
7.3. Vanne d'équilibrage montée en parallèle avec la pompe	43
8. Relation entre le débit et la vitesse (équation de continuité)	46

Chapitre 2

Utilisation pratique des principales caractéristiques d'une pompe centrifuge	47
1. Puissances et rendements d'une pompe	48
1.1. Surcharge électrique du moteur de la pompe	50
1.2. Démarrage de la pompe, vanne de de refoulement fermée	50

2. Conséquences de l'inversion du sens de rotation d'une pompe	51
2.1. Détermination du bon sens de rotation grâce au «dessin» de la volute.....	52
2.2. Détermination du bon sens de rotation par la mesure de la HMT pour chacun des deux sens.....	52
3. Evaluation du débit d'une pompe à partir de la mesure de sa HMT	53
3.1. Evaluation du débit d'une pompe ayant une allure de sa courbe $HMT = f(\text{Débit})$ «plongeante»	53
3.2. Evaluation du débit d'une pompe ayant une allure de sa courbe $HMT = f(\text{Débit})$ «plate».....	54
4. Adaptation de la pompe au circuit par la modification de sa vitesse de rotation (pompe à vitesse variable)	54
5. Utilisation pratique de la mesure de la HMT0 d'une pompe centrifuge	57
5.1. Procédure de mesure de la HMT0.....	57
5.2. Détermination du diamètre de la roue montée dans une pompe	58
5.3. Vérification de l'état de la roue	59

Chapitre 3

Détermination de la pression en un point quelconque d'un circuit61

1. Théorème de Bernoulli	62
1.1. Application du théorème de Bernoulli sur un tronçon plat	65
1.2. Application du théorème de Bernoulli sur un tronçon descendant	67
1.3. Application du théorème de Bernoulli sur un tronçon montant.....	69
2. Mesure de pertes de charge et de HMT avec correction d'altitude	72
2.1. Mesure de pertes de charge avec correction d'altitude à effectuer	72
2.2. Mesure de pertes de charge avec correction d'altitude «automatique»	74
2.3. Détermination de la ΔPT (HMT) d'une pompe à partir de mesures de pressions statiques effectuées sur des tubes de même diamètre	77
2.4. Détermination de la ΔPT (HMT) d'une pompe à partir de mesures de pressions statiques effectuées sur des tubes de diamètres différents	80
3. Pression statique du point neutre	82
3.1. Pression statique du point neutre d'un circuit fermé.....	82
3.2. Pression statique du point neutre d'un circuit ouvert	85

4. Zones d'aspiration et de refoulement d'un circuit hydraulique	85
4.1. Zone de refoulement.....	86
4.2. Zone d'aspiration.....	88
4.2.1. Cavitation d'une pompe.....	91
4.2.2. Notion de NPSH.....	94

Chapitre 4

Principaux moyens permettant de pressuriser un circuit	111
1. Quand peut-on dire qu'un circuit hydraulique est pressurisé ?	112
2. Principales raisons justifiant la nécessité de pressuriser un circuit fermé	112
2.1. Assurer le bon fonctionnement des purgeurs.....	112
2.2. Ecarter le risque de cavitation d'une pompe centrifuge.....	114
3. Système d'expansion à charge de gaz fixe	115
3.1. Loi de Mariotte.....	117
3.2. Principe de fonctionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe.....	119
3.3. Influence du dimensionnement du volume du vase d'expansion sur son fonctionnement	123
3.3.1. Dimensionnement du volume du vase d'expansion réalisé au «strict minimum fonctionnel»	123
3.3.2. Surdimensionnement du volume du vase d'expansion	125
3.3.3. Sous-dimensionnement du volume du vase d'expansion	126
3.4. Mise en service d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe.....	128
3.4.1. Pression de gonflage (Pg).....	128
3.4.2. Pression de remplissage (PR)	128
3.5. Dimensionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe	142
3.5.1. Principe de calcul	142
3.5.2. Exemple de dimensionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe d'une installation à eau glacée	145
3.5.3. Exemple de dimensionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe d'une installation de chauffage à eau chaude	146
3.6. Vérification d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe	147
3.6.1. Perméabilité de la séparation gaz / eau (membrane ou vessie)	148
3.6.2. Est-il nécessaire de vidanger toute l'installation pour vérifier le vase d'expansion ?	151
3.6.3. Procédure de vérification d'un vase d'expansion.....	152
3.6.4. Est-il judicieux d'installer une vanne d'isolement sur le tube d'expansion ?.....	154

3.7. Principales causes de dysfonctionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe correctement dimensionné	155
3.8. Particularités fonctionnelles et dimensionnelles d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe en solaire thermique	155
4. Groupe de maintien de pression régulé	156
4.1. Vase d'expansion ouvert à pompe.....	156
4.1.1. Principe de fonctionnement sur élévation de la pression	156
4.1.2. Principe de fonctionnement sur baisse de la pression	159
4.1.3. Détermination des paramètres à régler.....	161
4.1.4. Principales causes de dysfonctionnement d'un vase d'expansion ouvert à pompe	164
5. Vase d'expansion fermé à pompe	166
6. Vase d'expansion à compresseur d'air	169
6.1. Principe de fonctionnement	170
6.1.1. Fonctionnement sur hausse de la température	171
6.1.2. Fonctionnement sur baisse de la température	171
6.2. Détermination des paramètres de réglages du pressostat.....	172
6.3. Remplissage total et remplissage d'appoint.....	173
6.3.1. Détermination approximative de VE	174
6.3.2. Détermination de VE par le calcul.....	174
6.4. Protection de la vessie du vase	175
6.5. Maintenance d'un vase d'expansion à compresseur d'air	176

Chapitre 5

Pompe équivalente à une pompe associée en série avec une résistance hydraulique fixe.....	177
--	------------

Chapitre 6

Couplage de pompes en série et vanne de régulation à quatre voies...183
--

1. Fonctionnement à charge thermique nulle d'une chaudière classique équipée d'une V4V	184
2. Fonctionnement à pleine charge thermique d'une chaudière classique équipée d'une V4V	185
3. Pompe équivalente à deux pompes couplées en série	185
4. Principaux avantages du montage d'une V4V avec une chaudière classique.....	187

Chapitre 7	
Couplage de plusieurs pompes identiques en parallèle associées à un réseau à résistance hydraulique fixe	191
1. Principe de fonctionnement	192
2. Interférences hydrauliques entre pompes couplées en parallèle.....	195
3. Pompes identiques couplées en parallèle et associées à un réseau ayant une résistance hydraulique nulle	197

Chapitre 8	
Couplage de plusieurs pompes équivalentes identiques en parallèle associées à un réseau à résistance hydraulique fixe	199
1. Principe de fonctionnement	200
2. Interférences hydrauliques entre les circuits couplés en parallèle.....	201
3. Suppression des interférences hydrauliques entre les circuits avec une déconnection	203

Chapitre 9	
Notion de compatibilité des débits	207
1. Sens de circulation dans une déconnection hydraulique	208
2. Fonctionnement d'une déconnection hydraulique dit «en mélange».....	210
3. Fonctionnement d'une déconnection hydraulique dit «en casse pression différentielle»	211

Chapitre 10	
Couplage de plusieurs pompes identiques en parallèle associées à un réseau à résistance hydraulique variable	215

Chapitre 11	
Association en parallèle de pompes différentes	221

Chapitre 12	
Principaux types de vannes de régulation.....	229
1. Vannes de régulation à deux voies (V2V)	230
2. Vannes de régulation à trois voies (V3V)	231
2.1. Vanne de régulation à trois voies à soupape.....	231
2.2. Vanne de régulation à trois voies à secteur.....	233
3. Vanne de régulation à quatre voies (V4V)	234

Chapitre 13

Principaux montage d'une vanne de régulation à trois voies	235
1. Montage en mélange	236
2. Montage en décharge	237
3. Applications standard des montages en mélange et en décharge inversée	238
3.1. Applications standards du montage en mélange	238
3.2. Applications standards du montage en décharge inversée	239

Chapitre 14

Pompe équivalente au montage d'une vanne à trois voies en mélange	241
1. Principe de base d'une régulation de la température de départ distribution en fonction de la température extérieure	242
2. Pompe équivalente au montage d'une vanne à trois voies en mélange	243

Chapitre 15

Pompes et pompes équivalentes couplées en parallèle.....	249
1. Couplage en parallèle d'une pompe avec une pompe équivalente différente.....	250
1.1. Principe de fonctionnement	250
1.2. Inversion du sens du débit dans une pompe en marche	251
1.3. Principe de l'automatisme de gestion de la LEA.....	253
1.4. Suppression de la gestion de la LEA de façon exclusivement hydraulique	256
2. Interférences hydraulique consécutives au remplacement d'anciennes chaudières	259
2.1. Principe de fonctionnement	259
2.2. Suppression de l'interférence entre les pompes équivalentes avec une déconnection hydraulique.....	260
3. Interférences hydraulique consécutives à l'extension du circuit de production	262
3.1. Montage de vannes de régulation à trois voies en décharge inversée avec un seul groupe d'eau glacée	262
3.2. Montage de vannes de régulation à trois voies en décharge inversée avec plusieurs groupes d'eau glacée couplés en parallèle	263
3.2.1. Principe de fonctionnement	263
3.2.2. Déconnection hydraulique entre un circuit de production à débit variable et un réseau de distribution à débit constant.....	267

3.3. Déconnection hydraulique entre un circuit de production et de distribution à débit variable.....	273
3.3.1. Principe de fonctionnement	273
3.3.2. Principales contraintes d'un circuit à débit variable	275

Chapitre 16

Principes fondamentaux de régulation de la pression différentielle en tête d'un circuit de distribution à débit variable	279
---	------------

1. Maintien de la pression différentielle par le montage d'une soupape de décharge (BPV)	280
2. Maintien de la pression différentielle par le montage d'une vanne de régulation en série avec la pompe.....	282
3. Maintien de la pression différentielle par l'utilisation d'une pompe à vitesse de rotation variable.....	285
3.1. Principe de fonctionnement	285
3.2. Pompe à vitesse variable avec électronique intégrée.....	287
3.2.1. Régulation d'une HMT constante	287
3.2.2. Choix multiple de courbes fixes.....	287
3.2.3. Régulation d'une HMT proportionnelle au débit.....	288

Chapitre 17

Conséquences de l'application d'une pression différentielle en amont d'une vanne de régulation à trois voies montée en mélange	293
---	------------

1. Pression différentielle négative appliquée en amont d'une vanne de régulation à trois voies montée en mélange.....	294
2. Pression différentielle positive appliquée en amont d'une vanne de régulation à trois voies montée en mélange.....	299
2.1. Montage d'une vanne de régulation à trois voies en mélange	299
2.2. Montage d'une vanne de régulation à deux voies en injection	303

Chapitre 18

Déconnection hydraulique amont et aval	307
---	------------

1. Déconnection hydraulique amont / déconnection hydraulique aval.....	308
1.1. Déconnection hydraulique amont	308
1.2. Déconnection hydraulique aval	308
2. Utilisation d'une déconnection hydraulique aval pour la gestion de circuits prioritaires	309
3. Utilisation d'une déconnection hydraulique aval en climatisation.....	310

4. Bouteille casse pression différentielle à raccords multiples.....	312
4.1. Comparaison entre une bouteille à raccords multiples et une déconnexion aval.....	312
4.2. Pourquoi une bouteille à raccords multiples n'est-elle généralement pas conseillée ?.....	314

Chapitre 19

Dimensionnement et règles de montage des déconnexions hydrauliques	317
---	------------

1. Bypass lisse	318
2. Bouteille casse pression différentielle.....	319
2.1. Circuits de chauffage	319
2.2. Circuits d'eau glacée	321
3. Ballon tampon	322
3.1. Dimensionnement d'un ballon tampon et problème de bicirculation ...	322
3.2. Ballon tampon à 3 raccords.....	327
3.3. Transformation d'un ballon tampon de 4 à 3 raccords	329
4. Bypass en U.....	329

Chapitre 20

Changement de régime de fonctionnement	331
---	------------

1. Changement de régime de fonctionnement par mélange	332
2. Changement de régime de fonctionnement avec un échangeur	333

Chapitre 21

Principales spécificités d'hydraulique pratique des installations de solaire thermique	335
---	------------

1. Rendement d'un capteur solaire plan.....	336
2. Pressurisation d'un circuit solaire	339
2.1. Rôle et comportement du vase d'expansion en fonction du mode de fonctionnement d'un Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI).....	339
2.1.1. Fonctionnement à froid maxi	340
2.1.2. Fonctionnement à chaud en phase de «récolte» énergétique	343
2.1.3. Fonctionnement à chaud en phase de stagnation	344
3. Conception et fonctionnement du groupe de transfert d'un CESI.....	351
3.1. Position de la pompe et du vase d'expansion	352
3.2. Position de la soupape de sécurité	353

3.3. Remplacement aisé de la pompe.....	358
3.4. Mesure et ajustement du débit	359
3.5. Suppression de toute circulation par thermosiphon	360
3.6. Fonctionnement d'un dégazeur à purge manuelle en point bas	363
4. Mise en service d'un CESI.....	364
4.1. Ajustement de la pression (P_g) de gonflage du vase	364
4.2. Principe de la purge du circuit	365
4.3. Constitution d'une station de remplissage	365
4.4. Principes des procédures de purge / rinçage / remplissage et de pressurisation du circuit capteurs	366
4.5. Ajustement du débit avec optimisation de la consommation énergétique due au pompage	368
5. Dimensionnement du vase d'expansion à charge de gaz fixe d'un circuit solaire (CESI)	369
5.1. Principales bases des calculs de dimensionnement	370
5.2. Données nécessaires aux calculs.....	371
5.3. Déroulement des calculs	371
5.4. Exemple de dimensionnement d'un vase d'expansion à charge de gaz fixe d'un CESI.....	372
6. Détermination de la pression de remplissage.....	373
7. Tests du fluide caloporteur.....	374

Chapitre 22

Equilibrage hydraulique pratique	375
1. Notions fondamentales d'équilibrage hydraulique pratique	376
1.1. Constitution générale d'une vanne d'équilibrage	376
1.2. Conductance hydraulique d'une vanne.....	376
1.2.1. Définition.....	376
1.2.2. Relation entre la conductance et la résistance hydraulique	377
1.2.3. Unité de la conductance hydraulique	377
1.3. Mesure d'un débit avec une vanne d'équilibrage	378
1.3.1. Principe de la mesure d'un débit avec une vanne d'équilibrage	378
1.3.2. Déroulement des calculs de la fonction «double mesure»	380
1.4. Notion de module hydraulique	383
1.4.1. Définition d'un module.....	383
1.4.2. Détermination de l'unité «la plus défavorisée» d'un module	383
1.4.3. Notion de sous-module	386
1.5. Notion d'équilibrage optimisé	388
1.6. Loi de proportionnalité appliquée à un module	392

2. Principales méthodes modernes d'équilibrage hydraulique.....	394
2.1. Méthode compensée	394
2.1.1. Principe général de la méthode compensée.....	395
2.1.2. Conditions indispensables permettant l'application de la méthode compensée	395
2.1.3. Ordre de réglage des vannes d'équilibrage des unités d'un module	395
2.1.4. Procédure de la méthode compensée	397
2.1.5. Et si la dernière unité n'est pas la plus défavorisée ?.....	402
2.1.6. Et si le module est de type bitube «pieuvre» ?.....	411
2.1.7. Adaptation de la pompe au réseau équilibré	413
2.2. Méthode REGIS (brevet TA).....	414
2.3. Méthode d'équilibrage des 10 kPa.....	415
2.3.1. Conditions d'application de la méthode des 10 kPa	415
2.3.2. Moyens nécessaires pour appliquer la méthode des 10 kPa.....	417
2.3.3. Procédure de la méthode des 10 kPa.....	417
2.3.4. Distance maximale L_{max} admissible entre le premier et le dernier radiateur	419