

Michel A. Morel

exercices de mécanique des fluides

2

CHIHAB - EYROLLES

SOMMAIRE

CHAPITRE I ANALYSE DIMENSIONNELLE ET SIMILITUDE COMPLETE

GRANDEURS PHYSIQUES ET NOTATIONS UTILISEES DANS CE CHAPITRE

ANALYSE DIMENSIONNELLE

I - THEOREME DE VASCHY BUCKINGAM OU THEOREME DES π	1
II - RESOLUTION PRATIQUE DU PROBLEME.....	2
2.1 Position du problème.....	2
2.2 Choix des grandeurs dimensionnellement indépendantes.....	2
2.3 Tableau des puissances.....	3
III - EXEMPLES.....	3
3.1 Exemple de mécanique. Période du pendule simple.....	3
3.2 Exemple de mécanique des fluides. Trainée d'une sphère.....	4

SIMILITUDE

I - DEFINITION DES SIMILITUDES.....	6
1.1 Similitude géométrique.....	6
1.2 Similitude cinématique.....	6
1.3 Similitude dynamique.....	7
1.4 Définition globale de la similitude de F. W. Brindgman.....	7
II - NOMBRES SANS DIMENSION.....	7
2.1 Cas où les forces d'inertie sont prépondérantes vis-à-vis des autres forces.....	8
2.2 Cas où les forces d'inertie et de pesanteur sont prépondérantes vis-à-vis des autres forces.....	8
2.3 Cas où les forces d'inertie et de viscosité sont prépondérantes vis-à-vis des autres forces.....	8
2.4 Cas où les forces de pesanteur et de viscosité sont prépondérantes vis-à-vis des autres forces.....	8
III - UTILISATION DE L'ANALYSE DIMENSIONNELLE.....	8

ENONCES DES EXERCICES.....	9
* 1 Problème d'électrotechnique.....	10
* 2 Problème de résistance des matériaux.....	10
* 3 Perte de charge en conduite.....	10
** 4 Parachute.....	10
** 5 Pompe centrifuge.....	10
*** 6 Voiture de course.....	10
**** 7 Digue.....	11
***** 8 Sûr.....	11
***** 9 Transfert de chaleur.....	11

SOLUTIONS DES EXERCICES.....	14 à 33
------------------------------	---------

CHAPITRE II TURBOMACHINES A FLUIDE INCOMPRESSIBLE

GRANDEURS PHYSIQUES ET NOTATIONS SUPPLEMENTAIRES UTILISEES DANS CE CHAPITRE

I - GENERALITES.....	36
II - CLASSIFICATION.....	36

III - LES TYPES DE MACHINES	37
3.1 Les machines axiales	37
3.2 Les machines radiales	37
3.3 Les machines à écoulement mixte	38
IV - INSTALLATION ET CARACTERISTIQUE D'UNE TURBOPOMPE	38
4.1 Installation	38
4.2 Caractéristique d'une turbopompe	38
V - LES TURBINES A EAU	39
5.1 Installation	39
5.2 Caractéristique d'une turbine	41
5.3 Les différentes turbines à eau	41
a) Turbine Pelton	41
b) Turbine Francis	43
c) Turbine Kaplan	43
VI - LES POMPES VOLUMETRIQUES	44
6.1 Etude cinématique	44
6.2 Vis d'Archimède	47
a) Description	47
b) Etude	48
VII - SIMILITUDE DES TURBOMACHINES	51
7.1 Analyse dimensionnelle	51
7.2 Similitude	52
7.3 Vitesse spécifique	53
a) Turbopompe	53
b) Turbines	54
7.4 Diagramme de Cordier	55
VIII - EXEMPLES	55
8.1 Pompe axiale	55
8.2 Pompe radiale	56
8.3 Pompe volumétrique	58
8.4 Turbine Pelton	59
8.5 Turbine Francis	60
ENONCES DES EXERCICES	63
* 10 Pompe tricylindrique à pistons double effet	64
* 11 Pompe centrifuge	64
* 12 Pompe mixte à eau	64
* 13 Turbine Pelton	65
** 14 Turbine	65
** 15 Pompe de refoulement	66
** 16 Projet d'adduction d'eau	66
*** 17 Turbine Francis I	67
*** 18 Turbine Francis II	67
*** 19 Refoulement avec 2 pompes en parallèle	68
**** 20 Turbine Kaplan I	68
**** 21 Turbine Kaplan II	69
***** 22 Refoulement avec des pompes alternatives	70
***** 23 Conduite d'aspiration d'une pompe alternative	71
***** 24 Régulation de débit d'une pompe alternative	71
***** 25 Pompe à vis d'Archimède	73

SOLUTIONS DES EXERCICES

CHAPITRE III **LES CONSTRUCTIONS GRAPHIQUES DES TURBOMACHINES**

GRANDEURS PHYSIQUES ET NOTATIONS SUPPLEMENTAIRES UTILISEES DANS CE CHAPITRE

I - CONDUITES GRAVITAIRES-TURBINES	120
1.1 Etude d'une conduite gravitaire	120
1.2 Caractéristique d'une conduite gravitaire	120
1.3 Caractéristique d'une turbine	121
1.4 Point de fonctionnement d'une installation	122
II - CONDUITES DE REFOULEMENT-POMPES	122
2.1 Etude d'une conduite de refoulement	122
2.2 Caractéristique d'une pompe	123
2.3 Point de fonctionnement d'une installation	124
III - CONDUITE EQUIVALENTE A UN GROUPEMENT DE CONDUITES	125
3.1 Conduites en parallèle partant du même point A et arrivant au même point B	125
a) Conduites de refoulement	125
b) Conduites gravitaires	125
3.2 Conduites partant du même point A mais arrivant à des points différents B et C	126
a) Conduites de refoulement	126
b) Conduites gravitaires	127
3.3 Conduites en série	128
a) Conduites de refoulement	128
b) Conduites gravitaires	128
IV - TURBOMACHINE EQUIVALENTE A UN GROUPEMENT DE TURBOMACHINES	129
4.1 Pompes en parallèle	129
4.2 Pompes en série	130
V - CONDUITE D'ASPIRATION D'UNE POMPE	131
5.1 Perte de charge non négligeable à l'aspiration	131
5.2 Capacité pratique d'aspiration - NPSH	132
ENONCES DES EXERCICES	135
26 Point de fonctionnement d'une turbine Pelton	136
27 Point de fonctionnement d'une pompe avec pertes de charge non négligeables à l'aspiration	136
28 Pompe de forage multi-étagée	137
29 Pompes en parallèle	138
30 Pompes en parallèle avec pertes de charge à l'aspiration non négligeables	138
31 Utilisation de l'énergie hydroélectrique	139
32 Variation de la vitesse de rotation d'une pompe	139
33 Changement de la roue d'une pompe	140
34 Refoulement dans 2 conduites en parallèle	140
35 Conduites gravitaires en parallèle et série alimentant une turbine	141
36 Conduite gravitaire d'adduction-distribution	141
37 Conduite de refoulement d'adduction-distribution	142
38 3 pompes en parallèle alimentées par une conduite gravitaire et un bassin tampon	143
39 Turbine alimentée par 2 conduites gravitaires	143
40 Pompes en parallèle refoulant dans des conduites en parallèle	145
41 Pompes identiques en série ou parallèle	145
42 3 pompes en parallèle refoulant dans 3 conduites en parallèle	146
43 3 conduites gravitaires arrivant à une turbine	147
44 Pompes en parallèle refoulant dans des conduites en parallèle et en série	148
45 Refoulement avec une conduite d'adduction-distribution I	149

*****	46	Refoulement avec une conduite d'adduction-distribution II.....	150
*****	47	Association d'une turbine sur une conduite gravitaire et d'une pompe sur une conduite de refoulement.....	150
*****	48	Refoulement avec des niveaux d'aspiration différents dans des conduites en série et parallèle plus un prélèvement de débit.....	155

SOLUTIONS DES EXERCICES.....	157 à 204
------------------------------	-----------

CHAPITRE IV LES PHENOMENES TRANSITOIRES

GRANDEURS PHYSIQUES ET NOTATIONS SUPPLEMENTAIRES UTILISEES DANS CE CHAPITRE

I - PRESENTATION DU PHENOMENE.....	206
II - EQUATIONS DU PHENOMENE TRANSITOIRE DITES DE Saint-Venant.....	207
III - EQUATIONS SIMPLIFIEES.....	207
3.1 Equation aux caractéristiques.....	207
3.2 Utilisation des paramètres en front d'onde.....	207
3.3 Equations d'Allievi.....	207
3.4 Oscillations en masse.....	208
IV - COUP DE BELIER DANS LES CONDUITES DE REFOULEMENT.....	209
4.1 Analyse physique.....	209
4.2 Conduite longue ($L > 1\ 000$ m) protégée par un ballon d'air comprimé + eau.....	210
4.3 Conduite courte ($L < 1\ 000$ m) protégée par l'inertie des parties tournantes.....	212
4.4 Calcul de la célérité des ondes.....	213
4.5 Autres types de protection pour les conduites de refoulement.....	213
V - COUP DE BELIER DANS LES CONDUITES GRAVITAIRES.....	214
VI - COUP DE CLAPET.....	215
6.1 Explication du phénomène.....	215
6.2 Méthode de Lewinsky.....	216
6.3 Méthode de Rochegude.....	217
VII - METHODES A SUIVRE - EXEMPLES.....	218
7.1 Exemple 1: conduite longue protégée par un ballon.....	218
7.2 Exemple 2: conduite courte protégée par l'inertie des parties tournantes.....	225
ENONCES DES EXERCICES ET PROJETS.....	231
*** 49 Alimentation en eau potable d'un village.....	232
*** 50 Adduction d'eau potable d'une ville.....	232
*** 51 Refoulement d'eau brute à la station de traitement.....	233
*** 52 Refoulement d'eau sur une grande longueur.....	233
**** 53 Satisfaction des besoins en eau d'une ville à partir de forages.....	234
**** 54 Extension des installations d'alimentation en eau potable de la ville de Pointe-Noire - Congo.....	237
***** 55 Adduction d'eau potable de la ville de Ngaoundéré - Cameroun.....	238
***** 56 Adduction d'eau de la ville de Kita - Mali.....	239
***** 57 Projet d'irrigation de Bou Heurima - Tunisie.....	240
***** 58 Canal du Cayor - Sénégal.....	244

SOLUTIONS DES EXERCICES ET PROJETS.....	249 à 319
---	-----------

ANNEXES

AVANT-PROPOS

Annexe I:	Type de pompe en fonction de la vitesse spécifique.....	321
Annexe II:	Type de turbine en fonction de la vitesse spécifique.....	323
Annexe III:	Phénomènes transitoires - conduite protégée par un ballon Etude de la dépression - Abaques de Puech et Meunier.....	325 à 362
Annexe IV:	Phénomènes transitoires - conduite protégée par un ballon Etude de la surpression - Abaque de Dubin et Gueneau.....	363
Annexe V:	Phénomènes transitoires - conduite protégée par l'inertie des parties tournantes Etude de la dépression - Abaques de Lechapt.....	365
Annexes VI:	Epaisseurs des canalisations industrielles.....	369
	Annexes VI a et VI a': Canalisations en fonte ductile.....	370
	Annexe VI b: Canalisation en acier à revêtement intérieur ciment ou époxy.....	373
	Annexe VI c: Tuyaux semi-rigides en polyéthylène haute densité.....	375
	Annexe VI d: Tuyaux en fibres ciment.....	377
	Annexe VI e: Canalisation P.V.C. compact.....	379
Annexe VII:	Phénomènes transitoires - conduite protégée par cheminée d'équilibre Méthode de Calame et Gaden.....	381