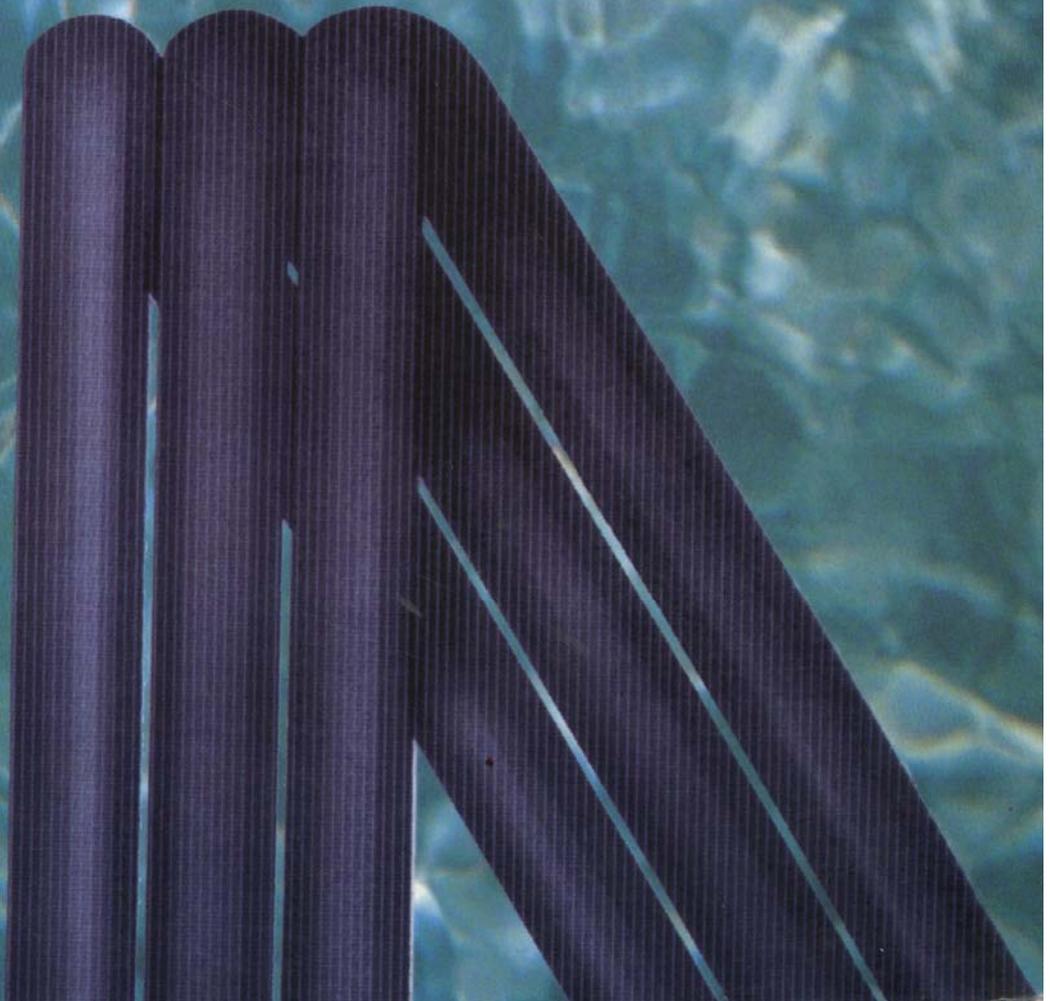


Michel A. Morel

exercices de mécanique des fluides

tome 2

**turbomachines-constructions graphiques
phénomènes transitoires**



EYROLLES

2-532-4-2/1

EXERCICES de MÉCANIQUE des FLUIDES

Tome 2

Turbomachines - Constructions graphiques
Phénomènes transitoires

Michel A. MOREL

*Ingénieur ESSTIN
Enseignant chercheur*

Préface de Jacques MALLET


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 P. 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 Silo	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

- GENERALITES.....	36
I - 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.....	43
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 a vis d'Archimède	73
SOLUTIONS DES EXERCICES.....	75 à 118

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
V - TURBOMACHINE EQUIVALENTE A UN GROUPEMENT DE TURBOMACHINES.....	129
4.1 Pompes en parallèle.....	129
4.2 Pompes en série.....	130
VII - 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
ANNONCES 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	150
SOLUTIONS DES EXERCICES.....			157 à 204

CHAPITRE IV LES PHENOMENES TRANSITOIRES

GRANDEURS PHYSIQUES ET NOTATIONS SUPPLEMENTAIRES UTILISEES DANS CE CHAPITRE

I - PRESENTATION DU PHENOMENE.....			200
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'Alliévi.....	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 Lewnisky	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 Heurtma - Tunisie	240
*****	58	Canal du Cayor - Sénégal	244
SOLUTIONS DES EXERCICES ET PROJETS			249 à 319

ANNEXES

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

exercices de mécanique des fluides

L'auteur, Michel A. MOREL a une longue expérience de l'enseignement dans les écoles d'ingénieurs et facultés étrangères, et est toujours resté en contact avec l'industrie pour la direction des projets de fin d'études.

Les théories de la Mécanique des Fluides sont parfois bien compliquées et le meilleur moyen de les comprendre est de les mettre en application à travers des exercices.

Cinquante-huit exercices et projets, tous corrigés en détail vous sont ici proposés. Ils couvrent l'analyse dimensionnelle et la similitude complète, les turbomachines, les constructions graphiques et les phénomènes transitoires dits communément coups de bélier.

Chaque chapitre commence par un rappel clair et concis de ce qu'il faut savoir, accompagné d'exemples.

Les exercices, classés par ordre de difficulté croissante, permettent un apprentissage progressif. L'ouvrage se termine par des projets réels qui mettent en valeur les applications de l'hydraulique dans la vie industrielle et la réalisation des grands projets.

Ce tome 2 s'adresse aux étudiants ayant acquis les bases de la mécanique des fluides et aux professionnels des bureaux d'études. Il couvre la suite du programme du tome 1, "Exercices de mécanique des fluides", par M.A. MOREL et J.-P. LABORDE, où sont traités la statique et la dynamique des fluides parfaits et réels.

