

2-532-28-1



COLLECTION
DE LA DIRECTION
DES ETUDES ET RECHERCHES
D'ELECTRICITE DE FRANCE



2-532-28-1

Hydraulique générale et appliquée

M. Carlier

Ingénieur Général du Génie Rural,
des Eaux et des Forêts

Président d'Honneur du Comité Français
des Grands Barrages

Membre du Comité Technique Permanent
des Barrages

Secrétaire Général
de la Commission Internationale
du Génie Rural



Préface de G. Réménieras

Ancien Conseiller scientifique
à la Direction des Etudes et Recherches
d'Electricité de France

Secrétaire general honoraire
de la Société
Hydrotechnique de France

Université de Tizi-Ouzou
Institut de Génie Civil
Bibliothèque
N° Entrée: *SC 874*
N° Côte: *HYD-50-22*

EDITIONS EYROLLES
01, Bd Saint-Germain Paris 5°
1986

TABLE DES MATIÈRES

L'ouvrage comporte les chapitres suivants :

I	Historique	VIII	Ecoulement par les orifices
II	Considérations générales	IX	Ecoulement par les ajutages
III	Hydrostatique	X	Ecoulement par les déversoirs
IV	Cinématique des liquides	XI	Ecoulement dans les canalisations en charge
V	Hydrodynamique	XII	Ecoulements à surface libre
V.1.	Hydrodynamique du liquide parfait	XII.1.	Régime uniforme
V.2.	Hydrodynamique du liquide réel	XII.2.	Régime permanent varié
VI	Les régimes d'écoulement	XII.3.	Jaugeage des écoulements à surface libre
VI.1.	Distinction des régimes d'écoulement Expérience de Reynolds	XIII	Hydraulique souterraine
VI.2.	Régime laminaire	XIV	La similitude en hydraulique — Modèles physiques et mathématiques
VI.3.	Régime turbulent		
VII	Le courant liquide		

	Page
Préface	XI
Avant-propos	XXXV

Chapitre I HISTORIQUE

I.1.	L'Hydraulique pratique des premiers âges de l'Antiquité	1
I.2.	La civilisation grecque	2
I.3.	Les adductions d'eau romaines	2
I.4.	Le Moyen Age	3
I.5.	La Renaissance — Apparition de la méthode expérimentale	3
I.6.	L'Hydraulique après la Renaissance	5
I.7.	Le développement des mathématiques et de la mécanique au 17 ^{ème} siècle	6
I.8.	L'avènement de l'hydrodynamique	8
I.9.	L'Hydraulique expérimentale au 18 ^{ème} siècle	9
I.10.	L'Hydraulique au cours de la première moitié du 19 ^{ème} siècle ..	12
I.11.	L'Hydraulique au cours de la seconde moitié du 19 ^{ème} siècle ..	14
I.12.	L'Hydrodynamique classique et l'Hydrodynamique appliquée au 19 ^{ème} siècle	15
I.13.	Tendances de l'Hydraulique au début du 20 ^{ème} siècle	16
I.14.	L'avènement de la Mécanique des fluides	17
I.15.	Les tendances actuelles de l'Hydraulique	18

Chapitre II
 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

II.1. Propriétés générales du liquide	21
II.2. Pression en un point d'une masse liquide	22
II.2.1. Existence et définition	22
II.2.2. Propriété de la pression en un point (fluidité parfaite) .	23
II.2.3. Cas d'un liquide de fluidité non parfaite	24

Chapitre III
 HYDROSTATIQUE

III.1. Equations générales	27
III.2. Fonction de forces-Surfaces équipotentielle	29
III.3. Application des équations générales au cas d'un fluide soumis à la seule action de la pesanteur	29
III.3.1. Fluide incompressible	30
III.3.2. Fluide élastique	32
III.4. Cas particuliers d'équilibre d'un liquide	32
III.4.1. Liquide pesant tournant autour d'un axe vertical	32
III.4.2. Liquide pesant tournant autour d'un axe horizontal	34
III.5. Unités de pression	35
III.6. Mesure des pressions	36
III.7. Pression exercée par un liquide au repos sur une surface solide en contact avec lui	39
III.7.1. Surface sur laquelle les pressions élémentaires ont une résultante unique	39
III.7.1.1. Surface plane	39
III.7.1.2. Surface sphérique	43
III.7.2. Surface quelconque - Cas d'un corps immergé	43
III.8. Equilibre des corps immergés et des corps flottants	46
III.8.1. Corps immergés	46
III.8.2. Corps flottants	46
III.8.2.1. Flottaisons isocarènes	47
III.8.2.2. Définition et position du métacentre	47
III.8.2.3. Condition de stabilité	48
III.8.2.4. Petites oscillations d'un flotteur en eau calme .	49
III.8.2.5. Stabilité statique et stabilité dynamique d'un flotteur	51

	Page
Chapitre IV	
CINÉMATIQUE DES LIQUIDES	
IV.1. Définitions	55
IV.1.1. Système de référence	55
IV.1.1.1. La méthode de Lagrange	55
IV.1.1.2. La méthode d'Euler	55
IV.1.2. Lignes de courant – Surfaces et tubes de courant – Trajectoires – Lignes d'émission	55
IV.1.2.1. Cas général de l'écoulement non permanent. Matérialisation des différentes lignes	56
IV.1.2.2. Cas particulier de l'écoulement permanent	56
IV.2. Equation de continuité	57
IV.3. Mouvements et déformations d'un volume élémentaire de fluide ..	59
IV.4. Ecoulements rotationnels et irrotationnels	64
IV.5. Etude des écoulements irrotationnels	65
IV.5.1. Existence d'un potentiel des vitesses	65
IV.5.2. Etude analytique des écoulements irrotationnels	66
IV.5.2.1. Cas général des écoulements à trois dimensions ..	66
IV.5.2.2. Cas particulier des écoulements plans – Fonction de courant	67
IV.5.2.3. Fonction analytique d'une variable complexe ..	68
IV.5.2.4. Méthode des transformations conformes	72
IV.5.2.4.1. Rappel de la théorie des transformations conformes	72
IV.5.2.4.2. Application à l'étude des écoulements plans à potentiel des vitesses	73
IV.5.3. Etude graphique des écoulements irrotationnels	76
IV.5.4. Etude analogique des écoulements irrotationnels	79
IV.6. Etude cinématique des écoulements giratoires	80
IV.6.1. Définition	80
IV.6.2. Coordonnées cylindriques	80
IV.6.3. Equation de continuité	81
IV.6.4. Exemple d'un écoulement giratoire et irrotationnel : le vortex	82
Chapitre V	
HYDRODYNAMIQUE	
V.1. Hydrodynamique du liquide parfait	87
V.1.1. Equations générales du mouvement (équations d'Euler) ..	87
V.1.2. Equation caractéristique	88
V.1.3. Equation de continuité	88
V.1.4. Equation du mouvement le long de la trajectoire	89

	Page
V.1.5. Répartition des pressions dans une section droite d'une masse liquide en mouvement dont les trajectoires des molécules liquides sont des droites parallèles ou des courbes parallèles à grand rayon de courbure	89
V.1.6. Cas particulier du mouvement permanent	90
V.1.6.1. Définition	90
V.1.6.2. Equation générale du mouvement permanent	90
V.1.6.2.1. Cas d'un fluide élastique dans le champ de la pesanteur – Formule de Navier .	90
V.1.6.2.2. Cas d'un liquide incompressible dans le champ de la pesanteur – Théorème de Daniel Bernoulli	91
V.1.7. Ecoulements potentiels et écoulements conservatifs	93
V.1.7.1. Mouvement à potentiel des accélérations – Théorème de Lagrange	93
V.1.7.2. Signification énergétique des équations d'Euler .	94
V.1.7.2.1. Mouvement permanent – Théorème de Bernoulli	94
V.1.7.2.2. Mouvement irrotationnel non permanent	95
V.1.7.3. Gradient transversal des pressions – Influence de la courbure de la trajectoire	95
V.1.7.4. Gradient transversal des vitesses	96
V.1.7.5. Application à l'écoulement sur un barrage-déversoir .	96
V.2. Hydrodynamique du liquide réel	98
V.2.1. Notions générales sur la viscosité des liquides	98
V.2.1.1. Expérience de Couette	98
V.2.1.2. Coefficients de viscosité	99
V.2.1.3. Nature physique de la viscosité des fluides	100
V.2.2. Intervention de la viscosité dans les équations générales du mouvement des fluides parfaits	100
V.2.2.1. Détermination des tensions visqueuses	100
V.2.2.2. Equations générales du mouvement d'un liquide réel : Equations de Navier-Stokes	102
V.2.2.3. Cas particuliers de simplification des équations de Navier-Stokes	104
V.2.3. Cas particulier du régime permanent – Extension du théorème de Bernoulli au cas d'un liquide réel	105
V.2.4. Equations intrinsèques du mouvement permanent d'un liquide réel dans le champ de la pesanteur	107

Chapitre VI

LES RÉGIMES D'ÉCOULEMENT

VI.1. Distinction des régimes d'écoulement – Expérience de Reynolds..	111
VI.2. Régime laminaire	112

