



L'énergie hydraulique  
 Roger Ginocchio  
 édition mise à jour sous la direction de Pierre-Louis Viollet  
 Ginocchio, Roger  
 Tec et Doc, Paris  
 EDF R & D  
 ISBN: 978-2-7430-1191-8

## Table des Matières

L'énergie hydraulique

Roger Ginocchio

Pierre-Louis Viollet

Tec & Doc

Avant-propos	V
Première partie	
Ressources naturelles et principes d'aménagement	
<i>Chapitre 1</i>	
Généralités	
I.-Historique	3
II.-Production hydroélectrique dans le monde	5
Références	8
Bibliographie	8
<i>Chapitre 2</i>	
Étude des ressources naturelles	
I.-Topographie	9
A.Bassin versant	9
B.Profil en long d'un cours d'eau	11
II.-Hydrologie	12
A.Définition des éléments du cycle de l'eau	12
B.Mécanismes de l'écoulement	14
III.-Débit solide des cours d'eau	24
A.Généralités	24
B.Transport par charriage	25
C.Transport par suspension	32
Références	39
Bibliographie	39
<i>Chapitre 3</i>	
Structure d'un aménagement hydroélectrique	
I.-Description sommaire	41
II.-Caractéristiques fondamentales	43
A.Hauteurs de chute - Puissances correspondantes	43
B.Puissance installée - Énergie productible - Puissance garantie	48
III.-Accumulation de l'énergie	50

A.Principe	50
B.Quantité d'énergie accumulée dans un réservoir	51
C.Classification des réservoirs et des usines en fonction des possibilités d'accumulation	52
D.Accumulation par pompage	56
Références	62
Bibliographie	63
<i>Chapitre4</i>	
Les différents types d'aménagements	
Les principaux risques associés	
I.-Aménagement de haute chute ( $H_n > 200m$ )	66
A.Ressources naturelles	66
B.Caractéristiques essentielles des ouvrages	66
C.Aménagement d'ensemble d'un bassin versant	70
II.-Aménagement de moyenne chute ( $40m < H_n < 200m$ )	78
A.Ressources naturelles	78
B.Caractéristiques essentielles des ouvrages	78
C.Groupements d'aménagements	80
III.-Aménagements de basse chute ( $H_n < 40m$ )	83
A.Aménagements de rivières	83
B.Usines marémotrices et hydroliennes	90
IV.-Les principaux risques associés aux différents types d'aménagements	100
A.Ondes de submersion et ruptures de barrages	100
B.Risques liés à un mauvais écoulement des crues	103
C.Risques liés aux conduites forcées	103
D.Risques liés aux éclusées et lâchures	104
Références	104
Bibliographie	105
<i>Chapitre5</i>	
Aménagements hydrauliques à buts multiples	
I.-Buts et effets des aménagements hydrauliques	107
A.Généralités	107
B.Classification des besoins satisfaits par les aménagements hydrauliques	108
C.Effets des aménagements hydrauliques	110
II.-Évolution des aménagements à buts multiples	113
A.Aménagements monovalents	113
B.Historiques des aménagements à buts multiples	113
C.Développement des aménagements à buts multiples	115
D.Tendances actuelles	115
III.-Compatibilité des buts	116
A.Absence d'interférence	116
B.Interférences de dimensionnement et de conception	116
C.Interférences d'exploitation	117

D.Interférences d'entretien	117
IV.-Partage des responsabilités et des charges	117
A.Maîtrise d'ouvrage	117
B.Maîtrise d'oeuvre	118
C.Répartition des charges	118
V.-Exemples	121
A.Le Rhin	121
B.Le Rhône	124
C.La Durance	128
D.Le Verdon	129
Références	132
Bibliographie	132
<i>Chapitre6</i>	
Énergie hydraulique et environnement	
I.-Généralités	135
II.-Effet du barrage sur le transport solide	136
A.Conséquences de la sédimentation dans le réservoir	136
B.Altération du transport solide à l'aval du barrage	138
C.Déficit de capacité de transport	138
D.Stockage des substances dangereuses dans les sédiments	141
III.-Effet de submersion sur la faune	142
IV.-Influence sur le climat	143
A.Influence locale	143
B.Influence macroscopique: les rejets de gaz à effet de serre	144
V.-Effets sur les eaux dans la retenue	146
A.Écosystème de retenue	146
B.Structure thermique d'un réservoir	147
C.Chaîne trophique dans les lacs	148
D.Réponse dynamique d'un écosystème à l'évolution des facteurs environnementaux	149
E.Généralités sur l'eutrophisation	150
F.Apports de nutriments	151
G.Effets biologiques	153
H.Le cas particulier des cyanobactéries	157
VI.-Effets sur les eaux hors des retenues	158
A.Restriction du débit dans les bras court-circuités	158
B.Modification du niveau des nappes phréatiques	159
C.Impact des retenues sur la qualité de l'eau et sur les poissons de la rivière en aval	159
D.Effets sur les poissons	163
E.Effets sur la végétation	168
Références	169
Bibliographie	169

Deuxième partie	
Ouvrages de retenue	
<i>Chapitre7</i>	
Généralités sur les barrages	
I.-Rôle et classification	175
A.Rôle	175
B.Classification	178
II.-Choix de l'emplacement et des caractéristiques	179
A.Conditions relatives à la topographie	179
B.Conditions géologiques	181
C.Conditions hydrologiques	187
D.Conditions relatives à la géographie humaine	187
III.-Sujétions communes aux différents types d'ouvrages	190
A.Approvisionnement des matériaux	190
B.Installation du matériel de chantier	191
C.Logement du personnel	191
IV.-Dispositions constructives	192
A.Procédés de construction en lit de rivière	192
B.Étanchement et consolidation des fondations et appuis	199
Références	201
Bibliographie	202
<i>Chapitre8</i>	
Barrages	
I.-Généralités	203
A.Description sommaire	203
B.Classification	203
C.Forces appliquées	204
II.-Étude des différents types de barrages	209
IIa-Barrages-poids	209
A.Barrages en béton	209
B.Barrages en remblai	222
C.Barrages à contreforts	237
D.Barrages mobiles	245
IIb-Barrages-voûtes	265
A.Caractéristiques principales	267
B.Conditions d'emploi	269
C.Nature et propriétés des matériaux	270
D.Conditions de stabilité	270
E.Dispositions constructives	275
III.-Surveillance et auscultation des barrages	277
A.Définition et objectifs	277
B.Moyens d'auscultation	278
Références	289

Bibliographie	290
<i>Chapitre9</i>	
Organes annexes des ouvrages de retenue	
I.-Évacuateur de crues	293
A.Généralités	293
B.Évacuateurs à écoulement libre	296
C.Évacuateurs en charge	300
D.Dispositions constructives	305
II.-Ouvrages de vidanges	319
III.-Dispositifs de franchissement des barrages par les poissons	321
A.Dispositifs pour le franchissement des obstacles à la montaison	321
B.Dispositifs de dévalaison	333
C.Dispositifs de franchissement dans le monde	336
Références	337
Bibliographie	338
Troisième partie	
Ouvrages de dérivation	
<i>Chapitre10</i>	
Ouvrages de prise d'eau	
I.-Généralités	343
II.-Prises d'eau en rivière	344
A.Ouvrages d'entrée	344
B.Organes de réglages du débit dérivé	347
C.Ouvrages d'épuration	347
D.Prises d'eau d'adductions secondaires	353
III.-Prises d'eau en réservoir	354
A.Mécanisme de la sédimentation des réservoirs	354
B.Conditions à remplir par les ouvrages de prise d'eau	355
C.Dispositions constructives	356
D.Organes de dévasement des réservoirs	358
Références	361
Bibliographie	361
<i>Chapitre11</i>	
Ouvrages d'aménée et de restitution	
I.-Rôle - Différents types	363
A.Ouvrages d'aménée	363
B.Ouvrages de restitution	364
II.-Rappel des lois de l'écoulement dans les canaux	365
A.Écoulement à surface libre	365
B.Écoulement en charge	369
III.-Notion de section économique	372
IV.-Dispositions constructives	374
A.Canaux à ciel ouvert	374
B.Ouvrages en galerie	379

Références	385
Bibliographie	385
<i>Chapitre 12</i>	
Conduites forcées	
I.-Rôle - Différents types	387
II.-Lois de l'écoulement dans les conduites	387
IIa-Régime permanent	387
IIb-Régime non permanent - Coup de bélier	388
A.Cas d'une fermeture instantanée	389
B.Cas d'une fermeture non instantanée	392
III.-Déterminations des dimensions	394
A.Section économique	394
B.Détermination de l'épaisseur	394
IV.-Dispositions constructives	397
A.Différents types de conduites forcées	397
B.Mise en place des conduites sur le terrain	402
Références	404
Bibliographie	405
<i>Chapitre 13</i>	
Cheminées d'équilibre	
I.-But de l'ouvrage	407
II.-Régime d'oscillation en masse	408
A.Étude qualitative	408
B.Étude quantitative sommaire	409
III.-Dispositions constructives	412
A.Cheminée à étranglement	412
B.Cheminée déversante	413
C.Cheminée à épanouissement	413
D.Cheminée différentielle	414
E.Exemples	414
Références	417
Bibliographie	418
Quatrième partie	
Équipement électromécanique	
<i>Chapitre 14</i>	
Turbines hydrauliques	
I.-Généralités	421
Ia-Définitions	421
A.Structure	421
B.Puissance - Hauteur de chute	422
Ib-Classification	422
A.Turbines à veine libre ou à action	423
B.Turbines à veine forcée ou à réaction	424
Ic-Description sommaire des différents types	424

A.Turbines à veine libre ou à action	425
B.Turbines à veine forcée ou à réaction	427
II.Étude théorique du fonctionnement	441
IIa-Généralités	441
A.Principe	441
B.Étude cinématique - Triangles des vitesses	441
C.Étude dynamique: couple moteur -Pertes- Rendement	443
IIb-Propriétés particulières à chaque type	447
A.Turbine à action	447
B.Turbines à réaction	449
III.-Notion de vitesse spécifique	453
A.Définition	453
B.Intérêt de la notions de vitesse spécifique	454
C.Classification des turbines en fonction de leur vitesse spécifique	454
D.Choix du type de turbine	460
IV.-Dispositions constructives	461
IVa-Dispositions communes aux différents types	461
A.Disposition des groupes	461
B.Raccordement avec les conduites forcées	462
C.Accouplement avec l'alternateur	463
D.Paliers et pivots	463
E.Régulateur de vitesse	464
IVb-Turbines Pelton	467
A.Défecteur	467
B.Roue	467
C.Différents types et données numériques	468
IVc-Turbines Francis	469
A.Bâche spirale	469
B.Roue	469
C.Aspirateur	471
D.Différents types et données numériques	471
IVd-Turbines hélice et Kaplan	473
A.Bâche spirale et distributeur	473
B.Roue	474
C.Aspirateur	474
D.Données numériques	474
E.Groupes à écoulement axial (groupes bulbes)	474
Références	480
Bibliographie	480
<i>Chapitre 15</i>	
Pompes d'accumulation	
I.-Généralités	483
Ia-Description sommaire	483

Ib-Définitions	484
A.Hauteur géométrique d'élévation ( $H_p$ )	484
B.Hauteur nette d'élévation (ou de refoulement) ( $H_n$ )	484
C.Hauteur interne de la pompe ( $H_i$ )	485
II.-Étude théorique du fonctionnement	485
A.Puissances - Pertes - Rendements	485
B.Courbes caractéristiques	486
III.-Vitesse spécifique et similitude	487
A.Vitesse spécifique	487
B.Similitude	488
IV.-Cavitation des pompes - Capacité d'aspiration	488
A.Définitions	488
B.Influence d'une baisse de charge nette disponible à l'aspiration	489
V.-Différents types et données numériques	490
VI.-Turbines - Pompes	492
VIa-Différents types	492
VIb-Construction des turbines-pompes	495
A.Choix d'une vitesse spécifique	495
B.Roues de grandes dimensions	495
C.Perspectives d'évolution	495
VIc-Données numériques	497
Références	498
Bibliographie	498
<i>Chapitre 16</i>	
Centrales hydroélectriques et ouvrages annexes	
I.-Matériel	501
A.Matériel hydraulique	501
B.Matériel électrique	503
C.Matériel mécanique	506
II.-Contrôle et commande des centrales hydroélectriques	507
A.Généralités	507
B.Classification des centrales	507
C.Équipements de contrôle commande des centrales hydrauliques	509
D.Maintenance du contrôle commande des centrales hydrauliques	511
E.Surveillance du contrôle commande des centrales hydrauliques	512
III.-Dispositions constructives	513
A.Salle des machines	514
B.Dispositions particulières	519
C.Microcentrales hydroélectriques	522
IV.-Ouvrages annexes	526
A.Ouvrages de décharge	526
B.Rétablissement des nappes phréatiques	530
Références	533

Bibliographie	533
Cinquième partie	
Méthodologie d'études	
<i>Chapitre 17</i>	
Gestion du patrimoine pour les ouvrages hydroélectriques	
I.-Évolution du contexte	537
II.-Les trois enjeux de la gestion patrimoniale de la production hydraulique	538
A.La sûreté hydraulique	538
B.La performance économique	538
C.La capacité à produire dans le respect de la réglementation	538
III.-La gestion des risques: questions essentielles	539
A.Les questions techniques	539
B.La coordination des acteurs	539
C.Des aides à la décision à la mesure des problématiques posées	540
D.Principes régissant l'élaboration des approches décisionnelles	540
IV.-Hiérarchiser les risques	541
A.Processus de priorisation des opérations à mener	541
B.La hiérarchisation des risques sur le patrimoine hydraulique par un système à base de règles	541
C.Utilisation de la hiérarchisation des risques sur les ouvrages et matériels par famille	546
V.-Une aide multicritère à la décision	546
A.Le raisonnement fondé sur des grandeurs cardinales	547
B.Principes et illustrations de la démarche multicritère	548
Références	555
<i>Chapitre 18</i>	
Essais sur modèles réduits	
I.-Principe, intérêt et limites de la méthode	557
II.-Notions de similitude	560
A.Définitions	560
B.Différentes lois de similitude	562
III.-Essais sur modèles réduits	575
A.Modèles de sites naturels et d'ouvrages	575
B.Modèles de machines hydrauliques (turbines et pompes)	591
Références	592
Bibliographie	593
<i>Chapitre 19</i>	
La simulation des écoulements dans et autour des ouvrages hydroélectriques	
I.-Contexte et problématique	595
II.-Simulation des processus physiques	596
A.Écoulements à surface libre filaires	596
B.Écoulements à surface libre bidimensionnels	603
C.Écoulements à surface libre tridimensionnels	608
D.Transport solide	612

E.Écoulements internes	616
F.Calage	619
III.-L'avenir de la simulation numérique	620
A.Limitations des méthodes existantes	620
B.Une méthode émergente: SPH	621
C.Divers	623
Références	624
Index	627