



Gérard Degoutte

# Diagnostic, aménagement et gestion des rivières

Hydraulique et morphologie fluviales appliquées

2<sup>e</sup> édition

Editions  
**TEC**  
& **DOC**

*Lavoisier*

# Table des matières

Préface .....	V
Introduction .....	XX
Liste des notations .....	XXIV

## Chapitre 1

### Hydraulique à surface libre

1. Définitions essentielles : les paramètres géométriques .....	2
2. Définitions essentielles : les paramètres hydrauliques .....	3
2.1. Masse volumique .....	3
2.2. Poids volumique .....	3
2.3. Débit .....	3
2.4. Vitesse en un point de l'écoulement .....	3
2.5. Vitesse moyenne .....	4
2.6. Ligne de courant .....	4
2.7. Tube de courant .....	4
2.8. Pression hydrostatique en un point .....	4
2.9. Charge hydraulique en un point d'un liquide en mouvement .....	4
2.10. Charge moyenne dans une section .....	5
2.11. Ligne piézométrique .....	5
2.12. Ligne de charge moyenne .....	6
2.13. Charge spécifique .....	6
2.14. Poussée sur une paroi du canal .....	7
2.15. Frottement sur une paroi du canal .....	7
2.16. Viscosité d'un liquide .....	8
3. Définition des différents régimes d'écoulement .....	8
3.1. Régime permanent .....	8

2. Régime permanent uniforme	8
3. Régime permanent varié	9
4. Régime transitoire	9
Régime permanent uniforme	9
1. Rappel de la définition	9
2. Équation de continuité	9
3. Équation du régime uniforme	10
4. Formule de Chézy et formule de Manning-Strickler	11
4.4.1. Rugosités composées	15
4.4.2. Cas d'un lit majeur	15
5. Distribution des vitesses dans une section	16
Régime permanent graduellement varié	18
1. Présentation du problème considéré	18
2. Équation de la ligne d'eau ; tirant d'eau normal	18
3. Tirant d'eau critique	20
4. Écoulement fluvial, écoulement torrentiel	20
5. Calcul d'une courbe de remous	22
Régime permanent rapidement varié	23
1. Ressaut hydraulique	24
2. Typologie et longueur du ressaut	26
3. Position du ressaut	29
4. Seuil dénoyé ou noyé	30
6.4.1. Loi de débit d'un seuil frontal dénoyé	30
6.4.2. Loi de débit d'un seuil frontal noyé	33
6.4.3. Seuils profilés	33
6.4.4. Loi de débit d'un déversoir latéral	35
6.4.5. Fonctionnement en crue d'un seuil frontal ou d'un déversoir latéral	37
Régime transitoire	38
7.1. Les deux équations de base	38
7.1.1. Conservation de la masse	38
7.1.2. Équation dynamique	39
7.1.3. Cas particuliers	43
7.2. Résolution des équations de Barré de Saint-Venant	44
7.3. Problèmes réels rencontrés	46
7.4. Propagation de crue dans les chenaux à forte pente et à champ d'inondation réduit	46
7.5. Propagation de crue dans les chenaux à très faible pente	48
7.6. Conclusion sur la propagation des crues en rivière	51
Logiciels de calcul en rivières ou canaux	51
3.1. Logiciels de calcul 1D permanent	51
3.2. Logiciels de calcul 1D transitoire	53
3.3. Calculer en permanent ou en transitoire ?	54
3.4. Modèle à une, deux ou trois dimensions ?	55

Transport solide en hydraulique fluviale

1. Hydraulique fluviale et hydraulique torrentielle	61
2. Expérience pour illustrer charriage et suspension	62
3. Charriage et suspension	62
4. Érosion du fond, dépôt	66
5. Notion de capacité de transport solide	67
6. Taille des grains	68
7. Tri granulométrique, pavage	71
8. Contrainte traçtrice et début de mise en mouvement d'une particule	74
8.1. Calcul de la contrainte traçtrice	74
8.2. Valeurs limites du paramètre de Shields	78
8.3. Notion de contrainte traçtrice efficace (cas des rivières à sable)	80
8.4. Nature du transport solide	81
8.5. Cas des rivières coulant sur des matériaux cohésifs	82
9. Estimation du débit solide	83
9.1. Formule de Meyer-Peter et Müller (rivières à graviers ou à sables grossiers)	84
9.2. Formule d'Engelund et Hansen	87
9.3. Tendances récentes : formules adaptées en granulométrie étendue et aux fortes pentes	88
9.3.1. Formule de Lefort (2007)	88
9.3.2. Formule de Recking (2010)	89
9.4. Utilisation des formules de transport solide et limites	90
10. Vitesse de début d'entraînement	93
<b>Chapitre 3</b>	
<b>Formes naturelles des rivières, ripisylve et évolution des berges</b>	
1. Définitions fondamentales	95
1.1. Lit mineur, lit moyen, lit majeur	95
1.2. Rive, berge	96
1.3. Ripisylve	97
1.4. Alluvions et substratum	99
2. Rôles de la ripisylve sur la vie des cours d'eau	100
3. Relations entre dimensions du cours d'eau et hydrologie	101
3.1. Débit dominant	101
3.2. Variables de contrôle et variables de réponse	103
3.3. Équilibre dynamique	104
4. Évolutions dans les courbes	105
5. Styles fluviaux	107
5.1. Formes en plan	108
5.1.1. Torrents	108

5.1.2. Rivières en tresses	108
5.1.3. Rivières divagantes	110
5.1.4. Rivières à méandres	111
5.1.5. Apport des cartes et des photographies aériennes	113
5.2. Profil en long des cours d'eau	115
5.2.1. Cas des rivières à méandres : l'alternance seuils-mouilles	116
5.2.2. Cas des cours d'eau de montagne : profil en marches	118
5.2.3. Cas des rivières en tresses	121
5.2.4. Formes du profil en long et dissipation d'énergie	121
5.2.5. Évolutions irréversibles du profil en long	122
5.2.6. Apport des profils en long anciens	123
5.3. Synthèse sur les styles fluviaux et les formes en plan comme en profil	125
6. Mécanismes d'évolution des méandres	126
7. Mécanismes d'évolution des berges	129
7.1. Principes généraux d'évolution des berges	129
7.2. Érosion des berges par le courant	130
7.3. Glissement des berges	135
7.4. Éboulement des berges (ou effondrement)	137
7.5. Déformations des berges dues à un enfouissement du lit	138
7.6. Relations entre érosion et glissement	139
7.7. Autres facteurs aggravants pour la tenue des berges	140
7.8. Rôle de la végétation sur la tenue des berges	140
7.9. Indices aidant au diagnostic des causes de déformation des berges	147
7.10. Conclusion sur la déformation des berges	149
8. Équations du régime	150

## Chapitre 4

### Conséquences morphologiques des aménagements

1. Évolutions du profil en long	154
1.1. Prélèvements temporaires dans le lit mineur	154
1.2. Prélèvements permanents dans le lit mineur	155
1.3. Élargissement du lit	157
1.3.1. Élargissement du lit sans modification de la rugosité des berges	157
1.3.2. Élargissement du lit avec modification de la rugosité des berges	158
1.4. Enlèvement important de la végétation des berges	159
1.5. Influence des coupures de méandres	160
1.6. Influence des endiguements	161
1.7. Rétrécissement local du lit mineur	163
1.8. Prélèvements permanents dans le lit majeur	164
1.9. Enlèvement des atterrissements	166

1.10. Influence des barrages	167
1.10.1. Influence dans la retenue	167
1.10.2. Dévasement des retenues	169
1.10.3. Influence en amont de la retenue	170
1.10.4. Influence en aval du barrage	170
1.11. Influence des seuils (sans dérivation)	173
1.12. Seuil de dérivation avec restitution	179
1.13. Influence des déversoirs latéraux	182
1.13.1. Influence généralisée d'un déversoir latéral	182
1.13.2. Influence locale d'un déversoir latéral	183
1.14. Influence des reforestations du bassin versant	185
1.15. Conclusion morphologique sur les érosions régressive et progressive	186
2. Enlèvement des bancs	188
3. Évolutions morphologiques du lit majeur	189
4. Évolutions du tracé en plan	190
4.1. Évolution du style fluvial	190
4.2. Évolution du tracé, sans changement de style fluvial	191
5. Évolution globale, en plan et en profil	191
6. Conséquences environnementales des incisions	193
7. Espace de mobilité des rivières actives	194
8. Conclusion sur l'évolution des rivières aménagées	198

## Chapitre 5

### Stratégie et techniques de gestion et de protection des berges

I. Stratégie de protection ou de non-protection	201
1.1. Point de vue morphologique	202
1.2. Point de vue écologique	202
1.3. Délimitation de la zone menacée	203
1.4. Étude économique	204
1.5. Conclusion : protéger ou ne pas protéger	204
A. Principes généraux de protection des berges	206
2.1. Cas des tronçons de rivières rectilignes	206
2.2. Cas de glissements de berge généralisés	208
B. Techniques végétales de protection des berges	210
3.1. Ensemencement	214
3.2. Géosynthétiques enherbés	214
3.3. Tapis vivant	216
3.4. Boutures	217
3.5. Plantations	218
3.6. Plançons	218
3.7. Fascines	219
3.8. Tressages	220

3.9. Fascines d'hélophytes.....	221
3.10. Treillis de branches.....	221
3.11. Épis vivants.....	221
3.12. Peignes.....	222
3.13. Tunage.....	222
3.14. Pieux jointifs.....	223
3.15. Caissons végétalisés.....	223
3.16. Recommandations générales.....	224
4. Matériaux granulaires pour protéger les berges.....	225
4.1. Enrochements.....	226
4.1.1. Norme européenne sur les enrochements.....	226
4.1.2. Trois catégories d'enrochements prévues par la norme.....	228
4.1.3. Deux standards pour encadrer ou non la dimension moyenne.....	229
4.1.4. Fuseaux granulométriques ou blocométriques.....	229
4.1.5. Propriétés physiques des enrochements.....	231
4.2. Gabions.....	232
4.3. Blocs préfabriqués en béton.....	236
5. Calcul des protections de berges minérales.....	237
5.1. Stabilité d'ensemble.....	237
5.2. Résistance des enrochements à la vitesse du courant.....	238
5.3. Résistance des gabions à la vitesse du courant.....	240
5.4. Protection du pied des revêtements de berge.....	242
5.5. Transition granulométrique granulaire.....	247
5.6. Transition assurée par un géotextile.....	250
6. Conception des protections de berges vis-à-vis du glissement.....	252
7. Mise en œuvre des enrochements et des matelas Reno.....	253
7.1. Mise en œuvre des enrochements.....	253
7.2. Mise en œuvre des matelas Reno.....	256
8. Protection indirecte des berges : les épis.....	256
8.1. Points communs aux deux types d'épis (navigation et protection).....	257
8.2. Régularisation d'un cours d'eau en vue de la navigation.....	258
8.3. Protection des berges par épis.....	259
8.4. Construction des épis.....	261
8.5. Surveillance et entretien des épis.....	262
8.6. Rôle des épis sur la diversité du milieu.....	262
9. Génie civil ou génie biologique ?.....	263
10. Suppression des protections de berge.....	265

## Chapitre 6

### Cas des rivières endiguées : la fragilité des digues en terre

1. Définitions : digues, zones protégées, zones d'expansion des crues.....	268
1.1. Digues.....	268
1.2. Zones protégées et zones d'expansion des crues.....	271
2. Conséquences des ruptures de digues.....	272

1. Désordres et ruptures.....	274
1.1. Digues en terre.....	274
1.2. Digues en maçonnerie ou en béton.....	276
4. Différents mécanismes de rupture ou de désordre des digues.....	277
4.1. Rupture par surverse (érosion de surface).....	277
4.2. Érosion interne.....	282
4.2.1. Érosion de conduit.....	283
4.2.2. Suffusion.....	283
4.2.3. Érosion de contact.....	284
4.2.4. Cinétique de l'érosion interne.....	284
4.2.5. Rôle aggravant des terriers.....	285
4.2.6. Rôle aggravant des arbres.....	285
4.2.7. Rôle aggravant des organes traversants.....	287
4.3. Érosion par le courant.....	287
4.4. Glissement en masse.....	289
4.5. Brèches de retour.....	289
4.6. Glissement du talus côté rivière, à la décrue.....	290
4.7. Glissement du talus côté vallée, en crue.....	290
4.8. Glissement du talus côté vallée, en décrue.....	291
5. Désordres d'origine géomorphologique.....	291
6. Faiblesses dues aux points singuliers.....	293
7. Le bilan négatif des digues bordant la rivière.....	295
8. Construction de digues fluviales nouvelles.....	295
9. Confortement des digues existantes.....	297
9.1. Diagnostic préalable.....	297
9.1.1. Connaissances préalables.....	297
9.1.2. Reconnaissances géophysiques.....	298
9.1.3. Reconnaissances géotechniques.....	299
9.2. Amélioration de la résistance des digues à la surverse.....	299
9.2.1. Carapaces.....	300
9.2.2. Autres revêtements.....	301
9.2.3. Écrans internes aux digues.....	301
9.3. Prévention de l'érosion interne.....	302
9.3.1. Érosion interne en tronçon courant.....	302
9.3.2. Érosion interne au droit de singularités.....	304
9.4. Affouillement du pied d'une digue en bord immédiat de la rivière.....	304
9.5. Glissement des talus d'une digue.....	305
9.6. Cas des constructions enclavées dans les digues.....	305
9.7. Cas des mares en pied des digues côté plaine.....	306
9.8. Traitement des sols à la chaux.....	306
10. Crue de danger, crue de sûreté, crue de protection.....	308
10.1. Crue de danger d'une digue.....	308
10.2. Crue de sûreté d'une zone protégée.....	308

10.4. Crue de protection de la zone protégée	309
11. Déversoirs dans les digues	310
11.1. Détermination de la cote et de la longueur du déversoir	311
11.2. Génie civil	311
11.3. Choix du site	312
11.4. Avantages d'un déversoir	315
11.5. Faut-il toujours un déversoir ?	315
12. Entretien des digues	316

## Chapitre 7

### Les seuils en rivière

1. Principe général d'un seuil de dérivation	322
2. Rôle du seuil de dérivation sur le transport solide ; choix du site	323
2.1. Transport solide par charriage	324
2.2. Transport solide par suspension	324
2.3. Implantation optimale de la prise	324
3. Types de seuils	325
3.1. Seuils poids en béton ou en maçonnerie	327
3.2. Seuils en enrochements	327
3.3. Seuils en gabions	329
3.4. Seuils mobiles	332
3.5. Seuils en bois	334
4. Fondations des seuils et dissipation de l'énergie	337
4.1. Propriétés mécaniques des terrains de fondation	337
4.2. Éanchéité et stabilité de la fondation d'un seuil poids	337
4.3. Précautions contre l'affouillement aval	338
4.3.1. Cas des seuils sans bassin de protection ni radier aval	339
4.3.2. Cas des seuils en béton à parement aval incliné	340
4.3.3. Cas des seuils en enrochements	341
4.3.4. Cas des seuils verticaux en gabions et à bassin dissipateur	343
4.3.5. Cas des seuils en gradins de gabions et à bassin dissipateur	343
4.3.6. Conclusion sur les protections aval des seuils	344
5. Calcul de stabilité des seuils en enrochements	344
6. Calcul de stabilité des seuils poids	346
7. Dégravement et vanne de chasse	346
8. Protection contre les corps flottants	347
9. Passes à poissons	349
10. Ouvrage de prise (cas d'un seuil de dérivation)	351
10.1. Seuil de prise (ou déversoir latéral)	356
10.2. Vannes de prises	356
10.3. Organes de dessablage	357

10.3.1. Décanteur (à purge discontinue)	358
10.3.2. Dessableur à purge continue	359
10.3.3. Bassin à nettoyage manuel ou mécanique	359
10.4. Protection de l'ouvrage de prise contre les crues	359
11. Impact des seuils sur les nappes	360
12. Problématique des anciens seuils de moulins	361
12.1. Faut-il supprimer ou conserver les seuils anciens ?	363
12.2. Matériaux et types	365
12.3. Mécanismes de dégradation	368
12.4. Techniques de réparation des seuils	370
12.4.1. Réparation d'un seuil affouillé	370
12.4.2. Prévention ou réparation d'un contournement	371
12.4.3. Réparation d'un seuil dont la maçonnerie est disloquée	372
12.4.4. Intervention en cas de circulation d'eau interne	373
12.4.5. Circulation d'eau dans les fondations	373
12.4.6. Traitement de la végétation	374
12.4.7. Aspects environnementaux et esthétiques	374
12.5. Difficultés et risques	374
12.6. Conclusion sur la réparation ou la suppression des seuils anciens	375

## Chapitre 8

### Rôle et actions de l'homme sur les crues

1. Rôle de l'homme sur les crues	378
1.1. Rôle de l'homme au niveau du bassin versant	378
1.2. Rôle de l'homme au niveau des lits mineur et majeur	380
2. Types de crue et types d'inondation	381
2.1. Inondations de plaine par débordement de cours d'eau	383
2.1.1. Inondations lentes de plaine	383
2.1.2. Inondations rapides de plaine	384
2.2. Inondations de plaine par débordement de nappe	385
2.3. Inondations torrentielles	385
2.4. Inondations par crues éclair	386
2.5. Inondations par ruissellement superficiel	387
2.6. Conséquences des crues selon leur type	388
3. Travaux de réduction de l'aléa crue au niveau du bassin versant	389
3.1. Actions diffuses dans le bassin versant	389
3.2. Actions concentrées dans le bassin versant : les barrages	390
4. Travaux de réduction de l'aléa débordement au niveau du lit	391
4.1. Augmentation de la capacité d'écoulement	391
4.2. Ralentissement des écoulements dans le lit majeur et le lit mineur	393
5. Modification de la vulnérabilité	395
6. Conclusion sur les crues	400

**Gestion, aménagement et entretien des cours d'eau**

- 1. Objectifs d'aménagement..... 409
  - 1.1. Restaurations diverses à vocation hydraulique ou écologique ou morphologique ..... 410
  - 1.2. Typologie d'aménagements par grands types d'objectifs..... 413
- 2. Travaux de protection contre les crues au droit des enjeux ..... 413
  - 2.1. Callibrage ..... 413
    - 2.1.1. Conséquences morphologiques d'un callibrage pour le profil en long ..... 414
    - 2.1.2. Conséquences morphologiques d'un callibrage pour les berges ..... 415
    - 2.1.3. Conséquences d'un callibrage sur les débits de pointe..... 416
    - 2.1.4. Conséquences écologiques et paysagères d'un callibrage..... 417
  - 2.2. Coupures de méandres..... 417
  - 2.3. Curage ..... 419
    - 2.3.1. Définitions : curage, vase ..... 419
    - 2.3.2. Aspect réglementaire..... 420
    - 2.3.3. Techniques de curage..... 421
    - 2.3.4. Causes de l'envasement..... 421
  - 2.4. Endiguements..... 423
  - 2.5. Restauration de rivière (restauration de la capacité d'écoulement)..... 423
  - 2.6. Entretien de la végétation des berges ..... 428
  - 2.7. Entretien des atterrissements ..... 428
- 3. Travaux de protection contre les crues en amont des enjeux ..... 428
  - 3.1. Barrages écrêteurs de crue..... 428
  - 3.2. Bassins écrêteurs de crue..... 430
  - 3.3. Recul des digues..... 431
  - 3.4. Transformation d'un espace endigué en zone d'expansion de crues (ZEC)..... 432
  - 3.5. Aménagement du lit majeur en zone rurale ..... 436
  - 3.6. Absence d'entretien de la végétation du lit mineur ..... 438
- 4. Gérer la végétation et les embâcles (lits mineur et majeur)..... 438
  - 4.1. Rôles de la végétation des berges..... 438
  - 4.2. Embâcles ..... 439
    - 4.2.1. Causes et conséquences des embâcles ..... 439
    - 4.2.2. Gestion des embâcles..... 441
  - 4.3. Conciliation des objectifs d'entretien de la végétation..... 443
  - 4.4. Mode de gestion de la végétation selon l'objectif ..... 444
- 5. Gestion des atterrissements ..... 450
  - 5.1. Gestion directe dans le lit mineur ..... 450
  - 5.2. Actions indirectes en amont ..... 453
- 6. Restauration morphologique ..... 454
  - 6.1. Crues artificielles en aval des barrages ..... 454
  - 6.2. Recharges sédimentaires..... 455

- 6.3. Renaturation des tracés de cours d'eau ..... 456
  - 6.3.1. Remèandrements ..... 456
  - 6.3.2. Élargissement de lit ..... 457
  - 6.3.3. Remise en eau de bras morts..... 457
  - 6.3.4. Remise à ciel ouvert..... 458
  - 6.3.5. Recours au génie biologique..... 459
  - 6.3.6. Suppression des protections de berge ou des seuils ..... 460
- 7. Espaces de bon fonctionnement pour la rivière ..... 461
  - 7.1. Espace de mobilité des rivières actives ..... 462
  - 7.2. Espace « rivière-vie-nature » ..... 463
  - 7.3. Bandes riveraines en zone agricole (boisées et/ou enherbées) ..... 463
  - 7.4. Espace de rétention transitoire de l'eau (ou espace de ralentissement) ..... 465
  - 7.5. Conclusion sur les espaces dédiés ..... 467
  - 7.6. Perspective dans l'esprit de l'« espace de bon fonctionnement » ..... 468
- 8. Conclusion sur l'aménagement et la gestion du lit..... 470
- Conclusion** ..... 473
  - 1. Connaître le milieu..... 473
  - 2. ... et les mécanismes naturels..... 474
  - 3. ... pour bien étudier l'impact morphologique des actions projetées..... 475
  - 4. ... se protéger des crues, mais en arrêtant l'escalade..... 475
  - 5. ... sans oublier les crues qui vont dépasser la protection..... 476
  - 6. ... et ne pas se tromper sur les objectifs ..... 477
- Bibliographie** ..... 481
- Lexique** ..... 491
- Index** ..... 539

# Diagnostic, aménagement et gestion des rivières

Ce manuel pratique aide à comprendre les grands principes régissant la morphologie des cours d'eau et leur dynamique pour mieux concevoir des aménagements qui sauront résister aux crues sans déséquilibrer pour autant les écosystèmes. Le **chapitre 1** donne les définitions, principes de base et résultats d'hydraulique à surface libre. Les **chapitres 2 à 4** approfondissent le diagnostic des rivières en tenant compte du transport solide et de la constante interaction entre l'écoulement, le fond, les berges et le champ d'inondation. Les **chapitres 5 à 9** exposent les différents aménagements et entretiens pour utiliser l'eau ou se protéger des crues.

Cette 2<sup>e</sup> édition, entièrement réactualisée et augmentée de nombreux schémas et photos, aborde de nouveaux points : les calculs hydrauliques des déversoirs latéraux, des estimations de débit solide adaptées aux fortes pentes, la morphologie des torrents et les conséquences morphologiques des barrages, la restauration morphologique des rivières, les processus d'érosion par surverse, la conception des zones d'expansion de crues, des procédés de protection de berge ou de traitement des digues, la nouvelle norme sur les enrochements, etc.

**Diagnostic, aménagement et gestion des rivières** s'adresse aux professionnels en charge de la gestion et de l'aménagement des cours d'eau ou de la police de l'eau : cabinets d'ingénierie, collectivités territoriales, établissements publics, sociétés d'aménagement régional et services déconcentrés et centraux de l'État. Il sera une aide précieuse pour les étudiants en écoles d'ingénieur ou en université et intéressera les chercheurs en mécanique des fluides, géomorphologie ou écologie fluviale.

**Gérard Degoutte**, ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts, spécialiste de la sécurité des ouvrages hydrauliques et de la prévention des risques liés aux inondations, est chercheur et expert à Irstea et aux ministères de l'Agriculture et de l'Écologie. Il enseigne à l'université et à AgroParisTech.

www.editions.lavoisier.fr



9 782743 014698