OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU - Banques - Direct

Conception et calcul de barrages de correction torrentielle

C. Deymier, J.-M. Tacnet, N. Mathys

CEMAGREF

CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS

GROUPEMENT DE GRENOBLE
2, rue de la Papeterie BP 76
38402 St-Martin-d'Hères Cedex
Tél 76 76 27 27 - Télex 980679F
Télécopie 76 51 38 03

F7378

Les *Études* du Cemagref

Cette collection édite des travaux scientifiques du Cemagref, thèses, comptes rendus de recherches regroupés en quatre séries qui correspondent aux quatre nouveaux départements scientifiques du Cemagref :

- **Gestion des milieux aquatiques** (anc. série *Ressources en eau*),
- **Équipements pour l'eau et l'environnement** (anc. séries *Hydraulique agricole, Gestion des services publics, Montagne),*
- **Gestion des territoires** (anc. séries *Forêt, Montagne, Production et économie agricoles),*
- **Équipements agricoles et alimentaires** (anc. série *Équipement des IAA*).

Ces séries font suite aux publications ventilées en sept rubriques jusqu'à fin 1993.

■ Série **Équipements pour l'eau et l'environnement**

N°14 - *Modélisation, analyse et commande optimale LQR d'un canal d'irrigation* - 1994, 220 p. - **210 F.**

N°15 - *Étude de la formation d'un lit torrentiel* - 1994, 538 p. - **380 F.**

N°16 - *Instrumentation d'un site avalancheux* - 1995, 220 p. - **210 F.**

N°17 - *Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable* - 1995, 248 p. - **210 F.**

N°18 - *Conception et calcul de barrages de correction torrentielle* - 1995, 288 p. - **245 F.**

Études déjà parues :

Hydraulique agricole *(anc. série)*

N°3 - *Secteurs de référence drainage. Recueil des expérimentations* - 1988, classeur 20x26, 92 fiches - **150 F.**

N°4 - *Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés : débits de pointe et modèle SIDRA* - 1989, 334 p. - **250 F.**

N°5 - *Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointe et essai de typologie des schémas d'écoulement* - 1989, 322 p. - **250 F.**

N°6 - *Réseaux collectifs d'irrigation ramifiés sous pression. Calcul et fonctionnement* - 1989, 140 p. - **150 F.**

N°7 - *Géologie des barrages et des retenues de petites dimensions* - 1992, 144 p. - **200 F.**

N°8 - *Estimation de l'évapotranspiration par télédétection. Application au contrôle de l'irrigation* - 1990, 248 p. - **250 F.**

N°9 - *Hydraulique à l'interface sol/drain* - 1991, 336 p. - **250 F.**

N°10 - *Le fonctionnement du drainage : approche pédo-hydraulique* - 1991, 248 p. **200 F.**

N°11 - *Mise en valeur des sols difficiles. Drainage et après-drainage des argiles vertes* 1991, 140 p. - **150 F.**

N°12 - *Colmatage des drains et enrobages : état des connaissances et perspectives* - 1991, 152 p. - **200 F.**

N°13 - *Guide pour le diagnostic rapide des barrages anciens* - 1992, 100 p. - **150 F.**

Gestion des services publics *(anc. série)*

N°1 - *Économie et organisation à l'échelle départementale du financement du renouvellement des réseaux d'eau potable* - 1991, 76 p. -**150 F.**

Montagne *(anc. série)*

N°1 - *Éléments d'hydraulique torrentielle* - 1991, 280 p. - **300 F.**

N°5 - *Rhéologie des boues et laves torrentielles - Étude de dispersions et suspensions concentrées* - 1993, 416 p.- **400 F.**

A commander au Cemagref - Dicova,
BP 22, 92162 ANTONY Cedex - Tél. (1) 40 96 61 32 - Télécopie (1) 40 96 61 64
joindre votre paiement à la commande

Photo de couverture *(J.-P. Feuvrier)* : **Valloire - Savoie - Torrent "Rieu Pessin" - correction active**

SOMMAIRE

Page

RESUMES 5

AVANT-PROPOS 7

SOMMAIRE 9

AVERTISSEMENT 17

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION AUX BARRAGES DE CORRECTION TORRENTIELLE ET A L'ETUDE DE LEUR DIMENSIONNEMENT

1 - Les fonctions des barrages de correction torrentielle 19

1.1 - Les ouvrages de consolidation 19

1.2 - Les ouvrages de sédimentation 21

1.3 - Aménagements mixtes 24

2 - Les types de barrages 25

2.1 - Quelques éléments de terminologie générale 25

2.2 - Matériaux de réalisation 25

2.3 - Matériaux de réalisation 25

2.3.1 - Introduction 25
2.3.2 - Les principaux types de structures de base 26
2.3.3 - Choix entre types de structures 38

3 - Démarche générale d'études des barrages de correction torrentielle 40

3.1 - Procédure générale 40

3.2 - Illustration de cette démarche proposée par le document 41

Bibliographie 42

Page

CHAPITRE 2 - ETUDES TOPOGRAPHIQUES PREALABLES

1 - Introduction 43

2 - Etudes d'avant-projet 44

3 - Etudes de définition et d'exécution 45

4 - Réalisation des levés 45

CHAPITRE 3 - APPROCHE HYDROLOGIQUE DES CRUES DES TORRENTS

1 - Spécificité de l'hydrologie de montagne 47

1.1 - Caractéristiques des bassins 47

1.2 - Durée de retour des phénomènes 47

1.3 - Transports solides 47

1.4 - Conclusion 48

2 - Eléments à rassembler pour une étude hydrologique 48

2.1 - Données existantes 48

2.2 - Fournisseurs de données 49

3 - Etude hydrologique 50

3.1 - Localisation des données disponibles 50

3.2 - Recueil d'éléments permettant d'apprécier le fonctionnement du bassin . . 50

3.3 - Méthodes de calcul utilisées en prédétermination 50

3.3.1 - Méthodes sommaires d'estimation du débit décennal 51
3.3.2 - Méthodes déterministes 51
3.3.3 - Extrapolation pour les fréquences rares : méthode du gradex . . . 52
3.3.4 - Confrontation des différentes méthodes. Choix d'une estimation . 53
3.3.5 - Ordre de grandeur des incertitudes 54

3.4 - Hydrologie des transports solides 54

3.4.1 - Charriage torrentiel 54
3.4.2 - Laves torrentielles 55

4 - Exemples 55

4.1 - Le Charmaix 55

4.1.1 - Description du bassin. Données disponibles 55
4.1.2 - Etude des pluies 56
4.1.3 - Etude des débits 57

Page

4.2 - Le Grand Nant 60

4.2.1 - Etude des pluies 60
4.2.2 - Etude des débits 60

5 - Liste des variables du chapitre 3 61

Bibliographie 62

CHAPITRE 4 - DISPOSITIFS HYDRAULIQUES

1 - Introduction 65

2 - Dispositifs hydrauliques 66

2.1 - Evaluation des débits de projet 66

2.1.1 - Débit hydrologique 66
2.1.2 - Période de retour de projet 66
2.1.3 - Evaluation des débits de projet des écoulements avec fort charriage et des écoulements de lave torrentielle 66

2.2 - Cuvette déversoir 67

2.2.1 - Conception générale 67
2.2.2 - Dimensionnement 69

2.3 - Pertuis, fentes, grilles 71

2.3.1 - Objectifs de ces dispositifs 71
2.3.2 - Quelques éléments de conception 74

2.4 - Dispositifs de protection contre l'affouillement à l'aval des ouvrages 78

2.4.1 - Introduction 78
2.4.2 - Risques d'abaissement liés à la dynamique torrentielle 79
2.4.3 - Fosses d'affouillement naturelles 80
2.4.4 - Réduction des dimensions des fosses d'affouillement 81
2.4.5 - Contre-barrage 82

Bibliographie 83

CHAPITRE 5 - ETUDE GEOTECHNIQUE

1 - Introduction 85

2 - L'étude géotechnique 86

2.1 - Introduction 86

2.2 - Contenu de l'étude 86

Page

2.3 - Les outils de la géotechnique 87

3 - Détermination des valeurs de caractéristiques de mécanique des sols de torrent 88

3.1 - Caractéristiques de mécanique des sols nécessaires aux calculs des barrages de correction torrentielle 88

3.2 - Ordre de grandeur des valeurs de quelques caractéristiques de mécanique des sols de torrent 90

3.3 - Obtention des valeurs des caractéristiques de mécanique des sols nécessaires aux calculs des barrages courants de correction torrentielle 91

3.3.1 - Présentation 91
3.3.2 - Proposition de démarches d'estimation de certaines valeurs de caractéristiques de mécanique des sols de torrent 93

4 - Conclusion 97

Bibliographie 98

CHAPITRE 6 - PRINCIPES DES JUSTIFICATIONS DES BARRAGES DE CORRECTION TORRENTIELLE EN BETON ARME EVALUATION DES SOLLICITATIONS

1 - Introduction 99

2 - Principes des justifications 100

2.1 - Etats limites 100

2.2.- Actions 101

2.2.1 - Présentation 101
2.2.2 - Les actions dues aux charges appliquées aux barrages de correction torrentielle 101
2.2.3 - Evaluation des actions agissant sur les barrages de correction torrentielle 103

2.3 - Situations 117

2.4 - Sollicitations 118

2.4.1 - Présentation 118
2.4.2 - Sollicitations de calculs 119

3 - Application à l'étude d'un élément centrale de barrage de consolidation à structure autostable 120

3.1 - Présentation 120

Page

3.2 - La prévision et la définition des situations à envisager 120

3.2.1 - La "vie" de l'ouvrage 120
3.2.2 - Définition des situations 123

3.3 - Evaluation des sollicitations 123

3.3.1 - Présentation 123
3.3.2 - Evaluation des sollicitations vis-à-vis de la justification des états limites de fondation (stabilité externe) 124
3.3.3 - Evaluation des sollicitations vis-à-vis des calculs de statique interne du voile 127
3.3.4 - Evaluation des sollicitations vis-à-vis des calculs de statique interne de la semelle 130

Bibliographie 133

CHAPITRE 7 - JUSTIFICATIONS DE LA STABILITE EXTERNE

1 - Introduction 135

2 - L'état limite ultime de stabilité d'ensemble 138

3 - L'état limite ultime de glissement 139

3.1 - Cas général 139

3.2 - Mise en oeuvre d'une bêche 141

4 - Les états limites de mobilisation du sol de fondation 143

4.1 - Introduction 143

4.2 - Méthodologie de justification 144

4.2.1 - Présentation 144
4.2.2 - Evaluation de R 145
4.2.3 - Calcul de l'excentricité de R 145
4.2.4 - Calcul du diagramme des contraintes normales appliquées et de $q'_{réf}$: contrainte conventionnelle de référence 145
4.2.5 - Calcul de σ_{adm} : contrainte résistante admissible de calcul - Justification des états limites 147

4.3 - Remarques 149

5 - L'état limite ultime de renversement 150

6 - L'état limite de servie de décompression du sol 150

7 - Les phénomènes de renard 151

Page

8 - Application aux justifications de la stabilité externe d'un élément central de barrage de consolidation à structure autostable - Rappel des combinaisons d'actions à considérer 153

9 - Conclusion 155

Bibliographie 156

CHAPITRE 8 - ETUDE DE LA STABILITE INTERNE

1 - Introduction 157

1.1 - Présentation 157

1.2 - Résistance des matériaux (RdM) 158

1.3 - "Philosophie" du béton armé 158

1.3.1 - Fonctionnement en flexion 159
1.3.2 - Fonctionnement à l'effort tranchant 159
1.3.3 - Protection des parements, retrait, durabilité 160
1.3.4 - Principe général 160

1.4 - Unités 160

1.5 - Principes des justifications de la stabilité interne 160

2 - Caractères des matériaux (chapitre A.2) 162

2.1 - Le béton 162

2.1.1 - Résistance caractéristique requise en compression 162
2.1.2 - Résistance caractéristique à la traction f_{tj} 162
2.1.3 - Déformations longitudinales du béton, retrait, coefficient de Poisson 163

2.2 - Aciers 163

2.2.1 - Normalisation des armatures pour béton armé 163
2.2.2 - Nuances et limite d'élasticité garantie, module d'élasticité longitudinale 164
2.2.3 - Quelques éléments d'applications pratiques 165

3 - Justifications de la stabilité interne 166

3.1 - Justification des sections rectangulaires droites de poutres soumises à des sollicitations normales (M, N) 166

3.1.1 - Règles générales pour la justification des sections sous sollicitations normales 166
3.1.2 - Condition de non fragilité 167
3.1.3 - Etat limite de résistance 168
3.1.4 - Etats limites de service vis-à-vis de la durabilité de la structure . . 178

Page

3.1.5 - Etat limite de service vis-à-vis des déformations et état limite ultime de stabilité de forme 183
3.1.6 - Conduite des calculs de justification des sections de pièces soumises à des sollicitations normales dans le cas des sections de voile et de semelle des barrages de correction torrentielle de type "autostable" 184

3.2 - Justification vis-à-vis des sollicitations tangentes 185

3.2.1 - Introduction 185
3.2.2 - Détermination de l'effort tranchant et des contraintes tangentes correspondantes 185
3.2.3 - Justification des dalles et poutres-dalles sous sollicitations d'efforts tranchants 185
3.2.4 - Règle des coutures généralisée - Surfaces de reprise 186

3.3 - Adhérence 186

3.3.1 - Notions générales d'adhérence acier-béton 186
3.3.2 - Ancrages rectilignes de barres indépendantes 188
3.3.3 - Ancrages courbes de barres indépendantes 189
3.3.4 - Ancrages et recouvrement des treillis soudés 193

3.4 - Dispositions constructives diverses 193

3.4.1 - Enrobage - Protection des armatures 193
3.4.2 - Possibilité de bétonnage correct 194
3.4.3 - Reprises de bétonnage 196
3.4.4 - Poussées au vide 196

4 - Applications aux éléments de barrage en béton armé de type "autostable" . . . 197

4.1 - Des calculs aux plans d'exécution 197

4.2 - Schémas de ferraillage principal 198

4.3 - Dispositions complémentaires de ferraillage 198

4.3.1 - Ferraillages de répartition 198
4.3.2 - Ferraillages complémentaires de "peau" 199
4.3.3 - Chaînages 200
4.3.4 - Ferraillages de montage 201

4.4 - Calculs et dispositions de ferraillage spécifiques 201

4.4.1 - Introduction 201
4.4.2 - Prise en compte des barbacanes ou de pertuis verticaux de faible largeur 202
4.4.3 - Débord sous cuvette 203
4.4.4 - Bêche d'ancrage arrière 204
4.4.5 - Limites du modèle pratique général de dimensionnement des éléments de barrage de type "autostable" - Illustration 206

Bibliographie 207

Page

CHAPITRE 9 - DIMENSIONNEMENT DE GRILLES METALLIQUES

1 - Introduction 209

2 - Aciers et produits utilisés en construction métallique 209

2.1 - Désignations conventionnelles 209

2.1.1 - Aciers 209
2.1.2 - Produits 211

2.2 - Critères de choix des aciers 212

2.2.1 - Choix des nuances 212
2.2.2 - Choix des qualités 212
2.2.3 - Résistance à la corrosion 213

3 - Grilles à barres verticales 217

3.1 - Principes de dimensionnement 218

3.2 - Dimensionnement d'une grille en pied et soumise à flexion simple 218

3.2.1 - Description de l'ouvrage 218
3.2.2 - Cas de charges retenus 219
3.2.3 - Choix de la section du profilé 219
3.2.4 - Calcul de la profondeur de fiche 221
3.2.5 - Reprise de l'effort normal 226
3.2.6 - Dispositions constructives 227

4 - Grilles à barres horizontales 230

4.1 - Principes de dimensionnement 230

4.2 - Dimensionnement d'une grille à barres horizontales en appuis simples sur les murs latéraux 230

4.2.1 - Description de l'ouvrage 230
4.2.2 - Choix du profilé 231
4.2.3 - Résistance des appuis des poutres dans les murs latéraux 233
4.2.4 - Dispositions constructives 238

Bibliographie 239

CONCLUSION GENERALE 241

ANNEXE 1 - Mode de calcul de la fosse d'affouillement naturelle d'un barrage de correction torrentielle 243

ANNEXE 2 - Mécanique des sols et études géotechniques 249

ANNEXE 3 - Abaques d'évaluation des coefficients de poussée des terres 273

ANNEXE 4 - Réactions et moments sur appuis, éléments de réduction dans une section des modèles R.D.M. applicables aux structures classiques des barrages de correction torrentielle 279