

Savoir  
faire

# Retenues d'altitude

Laurent Peyras, Patrice Mériaux, coord.



éditions  
Quæ



# Retenues d'altitude



# Retenues d'altitude

- ▶ Évaluation des risques et des impacts
- ▶ Conception
- ▶ Réalisation
- ▶ Surveillance
- ▶ Réhabilitation

Laurent Peyras, Patrice Mériaux, coordinateurs

Collection *Savoir-faire*

Référentiel pédologique 2008  
Association française pour l'étude du sol  
Denis Baize, Michel-Claude Girard, coord.  
2009, 432 p.

Santé de la crevette d'élevage en Nouvelle-Calédonie  
Alain Herbland, Yves Harache, coord.  
2008, 160 p.

Gestion durable des sols  
Laëtitia Citeau, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King, coord.  
2008, 336 p.

Le silure glane  
Biologie, écologie, élevage  
Jean-Pierre Proteau, Olivier Schlumberger, Pierre Élie  
2008, 224 p.

L'anguille européenne  
Indicateurs d'abondance et de colonisation  
Gilles Adam, Éric Feunteun, Patrick Prouzet, Christian Rigaud, coord.  
2008, 400 p.

Éditions Quæ  
RD 10  
78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ, 2009

ISBN : 978-2-7592-0354-3

ISSN : 1952-1251

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Préface

La montagne est un territoire à part, marqué de fortes spécificités, d'étroites et complexes imbrications entre un milieu exceptionnel et les activités humaines.

En montagne, il a toujours fallu — et il en faut encore — non seulement beaucoup d'énergie et des capacités d'adaptations et d'innovations, mais également des réglementations et des modalités d'applications particulières.

Les retenues d'altitude correspondent pleinement à cette réalité compliquée, et ce livre répond à ce besoin.

Ne nous le cachons pas, ce livre, initié par le Cemagref dès 2005, comble un manque en termes d'information, de méthodologie et d'accompagnement des maîtres d'ouvrage de ces installations. Songeons que les décrets et arrêtés spécifiques à ces retenues d'altitude, dont le nombre n'a cessé de croître depuis le début des années quatre-vingt-dix, datent de 2006, 2007 et 2008...

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur a donc très naturellement, dans le cadre de ses politiques de la montagne et de prévention des risques naturels, au côté du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (Meeddat) et de la Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires (Diact), apporté son soutien à son élaboration.

Les professionnels de la montagne, le Syndicat national des téléphériques de France (SNTF) y ont été étroitement associés, faisant de cet ouvrage un véritable manuel intégré opérationnel.

Les retenues d'altitude sont essentiellement connues pour la production de neige de culture durant les saisons d'hiver. Cependant, ces ouvrages peuvent avoir d'autres usages, tels que le stockage d'eau brute, la production d'eau potable, la création de plan d'eau à des fins touristiques, l'irrigation, etc.

Une centaine de ces ouvrages sont implantés sur le territoire, essentiellement en montagne dans les Alpes et les Pyrénées, et sont quelquefois désignés à tort de « retenues collinaires », alors que leur situation, souvent à plus de 1 500 mètres d'altitude, entraîne des difficultés spécifiques dans toutes les phases de leur vie : conception, réalisation, exploitation, voire réhabilitation.

Ce livre replace donc les ouvrages de retenues d'altitude dans leur contexte montagnard, avec tout ce que cela implique d'incidences dans le choix du site,

la réalisation, la surveillance ou l'identification de problèmes dans les retenues déjà en service qui pourraient générer des risques importants, l'impact sur l'environnement souvent très sensible dans ces zones, mais également dans le cadre de la prévention des risques naturels.

Conçu par des spécialistes de disciplines allant de l'écologie au génie civil en passant par la géologie et les risques naturels montagnards, cet outil très complet propose « les bonnes pratiques, de la conception à la réalisation », milite pour une ingénierie de qualité et apporte des réponses précises et opérationnelles.

Je suis convaincu qu'il sera précieux à tous ceux qui s'engagent pour un aménagement durable et responsable des stations de montagne et de leurs espaces valléens.

**Joël Giraud**

Député, président du groupe montagne de l'Assemblée nationale  
Vice-président du conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur,  
délégué à la montagne et au désenclavement du massif des Alpes

# Avant-propos

## Les retenues d'altitude : spécificités et expression du besoin

Le parc français de barrages d'altitude est riche de quelque cent cinq ouvrages implantés essentiellement dans les Alpes et les Pyrénées. Ce parc est jeune puisqu'essentiellement composé d'ouvrages de moins de dix ans, les premiers rares précurseurs ayant été construits au tout début des années quatre-vingt-dix. Il pourrait connaître une forte expansion, car les projets connus représentent le tiers de l'effectif actuel.

Les retenues d'altitude sont des ouvrages hydrauliques implantés dans les stations de loisirs de montagne et destinés à créer une réserve d'eau. Cette eau, majoritairement dédiée à la production de neige de culture, peut aussi être consacrée à d'autres usages, principaux ou secondaires, tels le stockage d'eau brute pour la production d'eau potable, la création de plans d'eau à des fins touristiques (baignade, pêche) ou plus rarement l'irrigation. Les retenues d'altitude sont donc souvent des ouvrages à usages multiples.

L'implantation de ces ouvrages en montagne, entre 1 200 et 2 700 mètres, en fait indubitablement des retenues d'altitude, et non des retenues collinaires comme elles sont parfois désignées à tort, ces dernières relevant d'une problématique de barrages de plaine. Cette situation entraîne des difficultés spécifiques dans toutes les phases : conception, réalisation, exploitation et, s'il y a lieu, réhabilitation.

Parmi les plus importantes difficultés rencontrées, on peut citer : des contextes géologiques et géotechniques complexes, des aléas spécifiques à la montagne, des dispositifs techniques, parfois fragiles, propres aux retenues d'altitude, une fenêtre de construction très limitée dans l'année, des sollicitations importantes par la glace, des structures soumises au froid intense, une surveillance difficile en conditions hivernales, etc.

Les retenues d'altitude présentent également des spécificités techniques propres, dont les deux principales sont les suivantes : (i) compte tenu des conditions topographiques de la montagne, elles sont implantées sur des zones de replat, ne sont pas souvent en prise directe dans les talwegs et sont en général conçues en déblai-remblai, comme un bassin, avec un remblai les ceinturant partiellement ; (ii) compte tenu des conditions géotechniques, elles sont très souvent étanchées artificiellement par géomembrane sur l'ensemble de leur cuvette et de leurs talus. Enfin, d'un point de vue écologique, les sites de montagne sont souvent très riches mais également fragiles.

Tous ces éléments conduisent à des difficultés de faisabilité, de choix de site, de conception et de réalisation mais aussi à des difficultés d'exploitation et à des pathologies particulières auxquelles les bureaux d'études et les exploitants n'ont pas nécessairement de réponses techniques adéquates. Plus encore que pour les autres barrages, les solutions sont complexes et interdisciplinaires.

Les ouvrages concernés sont des barrages de retenue au plan administratif (décret n° 2006-881 du 17 juillet 2006). Ils barrent un bassin versant par un remblai étanche ou étanché. Il s'agit très généralement de petits barrages, de hauteur inférieure à 15 mètres et de volume stocké modeste, de l'ordre de quelques dizaines à centaines de milliers de mètres cubes. L'abondante littérature technique sur les petits barrages, en particulier les recommandations en vigueur telles que celles du CFBR (2002), s'applique donc entièrement aux retenues d'altitude. Toutefois, leurs spécificités font que les manuels techniques existants n'apportent pas des réponses complètes aux questions des cabinets conseils et des exploitants et, en toutes hypothèses, aucun d'entre eux ne constitue un manuel intégré consacré aux retenues d'altitude.

Le retour d'expérience des retenues d'altitude en service et des projets en cours est en demi-teinte, montrant de nombreuses pathologies, des incidents, ainsi que des défauts de conception et de réalisation. La réhabilitation des retenues d'altitude dont la sécurité ou la fiabilité n'est pas satisfaisante est également une préoccupation essentielle des exploitants et de leurs bureaux d'études.

Le présent livre, spécifique aux retenues d'altitude, vise à apporter une réponse intégrée à ces questions.

## **Des aléas spécifiques et des risques potentiellement forts**

Outre les aléas classiques rencontrés en plaine (crues, séismes), les retenues d'altitude peuvent être exposées à des aléas spécifiques aux zones de montagne : les avalanches, les phénomènes torrentiels, les aléas géologiques (glissements de versant, écroulements, chutes de blocs). L'intensité de la plupart de ces aléas montagnards est très difficile à quantifier aux périodes de retour rares à exceptionnelles, ce qui rend délicate la conception des ouvrages de protection des retenues lorsqu'ils s'avèrent nécessaires.

Les retenues d'altitude, malgré des volumes modestes, induisent des risques potentiellement importants. Le retour d'expérience montre qu'une retenue d'altitude sur deux « intéresse la sécurité publique », au sens où la rupture de la partie en remblai de l'ouvrage ou l'expulsion brutale du volume d'eau stocké aurait des conséquences graves pour les personnes et les biens situés en aval. Plusieurs raisons expliquent cette situation : (i) leur position dominante au-dessus d'installations à forte fréquentation touristique ou des zones résidentielles de station de ski ; (ii) les pentes fortes et des géologies de versant qui conduiraient à la formation de phénomènes torrentiels en cas de largage de débits importants ; (iii) la proximité

entre retenue et enjeux en aval et les délais d'arrivée d'une onde de rupture extrêmement réduits.

La sécurité attendue d'une retenue d'altitude dépend des risques qu'elle fait peser sur les zones situées en aval. Les retenues « intéressant la sécurité publique » doivent avoir une fiabilité très élevée, conforme à celle d'un ouvrage de génie civil dont la rupture impacterait lourdement les populations. Pour atteindre un tel objectif, il convient, dès les études préliminaires d'un projet, de rechercher et d'évaluer précisément les sites susceptibles d'accueillir la retenue: (i) d'y étudier les aléas naturels spécifiques aux zones de montagne et (ii) d'analyser les conséquences sur les zones en aval en cas de défaillance du futur ouvrage.

Ce livre propose des réponses aux questions d'évaluation des sites, d'analyse des aléas et d'étude d'onde de submersion.

## Des milieux naturels riches et fragiles

Les milieux d'altitude présentent une grande richesse écologique, notamment caractérisée par une flore et une faune remarquables et par des zones humides à forte valeur patrimoniale. Une grande fragilité ainsi qu'une dynamique très lente sont deux autres de leurs caractéristiques: toute dégradation du milieu s'inscrit dans une durée bien plus longue qu'à de plus faibles altitudes et les dynamiques naturelles de reconstitution peuvent s'y étendre sur des décennies.

L'étude des impacts environnementaux est essentielle et doit être abordée dès le démarrage du projet. Elle doit approcher l'aménagement de manière globale et permettre d'avoir une vue d'ensemble du projet et de ses différents impacts sur l'environnement, en particulier sur les milieux aquatiques. L'étude doit également recenser les sites où les projets d'aménagement sont contraints par des enjeux environnementaux particuliers (milieux remarquables, dispositions réglementaires, etc.).

À de telles fins, ce livre propose des éléments d'aide à la décision et de hiérarchisation des sites vis-à-vis des questions liées aux impacts environnementaux.

## L'organisation d'un projet

L'organisation d'un projet de retenue d'altitude est complexe: phasage des études, coordination des cabinets conseils, autorisation et consultation administratives, caractère interdisciplinaire des sujets traités, etc. Elle impose que le maître d'œuvre dispose de compétences fortes, au moins dans l'une des deux disciplines de base que sont le génie civil et la géotechnique. Mais le maître d'œuvre devra également posséder des compétences plurielles minimales dans les différents domaines qui concernent un projet de retenue d'altitude — l'écologie, la géologie, l'hydrologie, l'hydraulique et les phénomènes gravitaires de montagne — afin qu'il soit en mesure de dialoguer avec les spécialistes dont il va s'entourer. À cet égard, et ce,

pendant toute la phase de conception, il aura un rôle fondamental de conseil auprès du maître d'ouvrage dans la consultation, le choix et la coordination des chargés d'études qui vont travailler autour de lui.

Un projet avance nécessairement par étapes. Pour chacune, il faut connaître la nature des études nécessaires, les livrables attendus et les processus administratifs. Les étapes chronologiques suivantes sont particulièrement importantes : (i) choix du site, (ii) études d'avant-projet suivies des procédures d'autorisation administratives, (iii) études de projet, (iv) consultation des entreprises, (v) suivi du chantier et (vi) surveillance et exploitation de l'ouvrage. Le maître d'œuvre aidera le maître d'ouvrage à consulter les services de l'État qui devront être associés au projet le plus tôt possible et de préférence dès le choix du site.

Ce livre propose des éléments d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrage et leurs bureaux conseils quant à l'organisation d'un projet de retenue d'altitude.

## La réglementation relative à la sécurité des barrages

La réglementation relative à la sécurité des barrages a connu de récents changements importants. Le décret n° 2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques remplace la notion de « classement comme intéressant la sécurité publique » introduite dans la circulaire interministérielle du 14 août 1970 par des classes d'importance décroissante A, B, C et D de barrages de retenue en fonction de critères géométriques.

Les classes de barrages de retenue selon le décret du 11 décembre 2007.

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques
A	$H \geq 20$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : $H^2 + \sqrt{V} \geq 200$ et $H \geq 10$
C	Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel : $H^2 + \sqrt{V} \geq 20$ et $H \geq 5$
D	Ouvrage non classé en A ou B ou C et pour lequel $H \geq 2$

*H* : hauteur de l'ouvrage, exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet ;

*V* : volume retenu, exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale.

À ce jour, selon ces critères géométriques, les barrages d'altitude sont essentiellement en classes C et D, et plus rarement en classe B.

Le préfet peut modifier le classement d'un ouvrage s'il estime qu'il ne suffit pas à assurer la prévention adéquate des risques pour la sécurité des personnes et des biens. Certains barrages d'altitude, plus particulièrement ceux relevant de la

classe géométrique D, sont susceptibles d'être concernés par ce « surclassement » administratif compte tenu de leur impact potentiel en cas de rupture.

Les barrages de retenues sont soumis à autorisation dès lors qu'ils relèvent des classes A, B et C (décret n° 93-743 du 29 mars 1993 modifié) et, pour ceux qui relèvent de la classe D, dès lors qu'ils barrent le lit mineur d'un cours d'eau. Une large majorité des projets de retenues d'altitude relève donc d'une procédure d'autorisation qui prévoit, notamment, une enquête publique.

Les barrages d'altitude de classes A et B doivent faire l'objet d'une étude de dangers (décret du 11 décembre 2007 et arrêté du 12 juin 2008), à l'instar de ce qui est pratiqué pour les installations classées pour l'environnement (ICPE). L'étude de dangers constitue une analyse de risques de l'ouvrage qui explicite les risques auxquels l'ouvrage est soumis et sa fiabilité. Pour les projets de retenue d'altitude de classes A et B, l'étude de dangers fait partie intégrante du dossier d'autorisation. Pour les ouvrages en service, l'étude de dangers des barrages de classe A doit être réalisée avant le 31 décembre 2012 et celle des barrages de classe B avant le 31 décembre 2014. Elle devra ensuite être actualisée au moins tous les dix ans.

Les prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques sont fixées dans l'arrêté du 29 février 2008 : le dossier de l'ouvrage, les consignes de surveillance, les visites techniques approfondies, les rapports de surveillance et d'auscultation, le registre journal, etc.

Ce livre rappelle les prescriptions réglementaires importantes intervenant lors des différentes phases de la vie d'une retenue d'altitude : en conception, lors du chantier, en exploitation, en réhabilitation. De nombreuses recommandations techniques sont données en fonction de la classe géométrique<sup>1</sup> ( $A_g$ ,  $B_g$ ,  $C_g$  ou  $D_g$ ) de l'ouvrage en projet.

## Un livre de recommandations pour les retenues d'altitude

Le présent livre de recommandations est destiné principalement aux propriétaires et aux exploitants ainsi qu'aux bureaux d'études intervenant dans les différents domaines de la conception, de la surveillance et de la réhabilitation des retenues d'altitude.

Il vise à constituer un manuel intégré pour la conception, la réalisation, la surveillance et la réhabilitation de ces aménagements. Toutefois, il ne peut prétendre constituer un référentiel technique complet. De fait, les lecteurs sont invités à consulter la littérature technique spécialisée à laquelle il renvoie, ce dernier ayant pour vocation de préciser, dans le contexte de la montage, les règles de

---

<sup>1</sup> Dans la suite du livre, nous ajouterons l'indice g à la lettre désignant la classe du barrage pour indiquer qu'en présence d'un tel indice, seule la classe géométrique ( $A_g$ ,  $B_g$ ,  $C_g$  ou  $D_g$ ) de l'ouvrage, au sens du tableau *supra*, est considérée, c'est-à-dire sans prise en compte d'un éventuel surclassement décidé par le service de contrôle.

l'art pour la conception de petits barrages, le plus souvent munis d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane.

Le livre débute par une synthèse rapide du retour d'expérience des retenues d'altitude (chapitre 1). On présente ici les pathologies et les défauts rencontrés régulièrement sur le parc existant, l'objectif étant ensuite de proposer des solutions techniques pour les prévenir.

Le chapitre 2 traite de l'évaluation des sites et des composants essentiels de leur évaluation : les impacts environnementaux du futur aménagement, les aléas auxquels il peut être exposé, l'onde de submersion et ses conséquences en aval qui seraient engendrées par la rupture du barrage ou l'expulsion de son volume d'eau. Elle vise à donner aux maîtres d'ouvrage et à leurs cabinets conseils des éléments d'aide à la décision pour l'implantation d'un projet de retenue d'altitude.

La conception des retenues d'altitude est développée au chapitre 3. Les règles de l'art applicables aux petits barrages sont rappelées et sont déclinées dans le contexte d'ouvrages hydrauliques en montagne. Le livre traite les aspects essentiels de la conception des retenues d'altitude, de leurs équipements et des ouvrages associés. Concernant l'étanchéité de la fondation et du remblai, il se focalise sur la conception de retenues étanchées par un dispositif d'étanchéité par géomembrane, qui constitue la solution privilégiée, et donc sur la technologie des géosynthétiques. Il insiste également sur les aspects géotechniques essentiels pour ces ouvrages.

L'exécution des travaux et leur vérification de conformité méritent également une attention particulière en montagne, où les fenêtres saisonnières pour la réalisation des travaux sont très limitées (chapitre 4). Les aspects liés à l'organisation des chantiers, ainsi qu'à la première mise en eau, y sont développés.

La surveillance, l'exploitation et l'entretien des ouvrages en service font l'objet du chapitre 5. Ces activités sont développées au regard de la nouvelle réglementation relative à la sécurité des ouvrages hydrauliques. Le livre s'attache aux dispositions propres aux retenues d'altitude, liées à leurs difficiles conditions d'exploitation hivernale.

De nombreuses retenues d'altitude souffrent de pathologies et de défauts de conception ou de réalisation ; leur réhabilitation et leur remise à niveau s'imposent donc. Le chapitre 6 traite, sous forme de fiches de cas, les pathologies ou défauts couramment rencontrés : illustrations, mécanisme en jeu, conséquences potentielles et propositions de mesures correctives.

# Table des matières

Préface .....	V
Avant-propos .....	VII
Membres du groupe de travail et relecteurs	
Soutiens financiers au projet Baraltisur .....	XVII
1 – Le retour d’expérience sur les retenues d’altitude .....	1
<i>Le parc de retenues d’altitude en France</i> .....	1
<i>Retour d’expérience sur les aspects géologie, géotechnique et conception</i> .....	2
<i>Retour d’expérience sur les dispositifs d’étanchéité par géomembrane (DEG)</i> .....	4
<i>Retour d’expérience sur les aléas naturels</i> .....	4
<i>Retour d’expérience sur la surveillance et l’exploitation</i> .....	5
2 – Évaluation du site – Analyse des risques et des impacts .....	7
<i>Introduction: impacts environnementaux,</i> <i>analyse des risques et des aléas déterminants, choix du site</i> .....	7
<i>Étude des impacts environnementaux</i> .....	10
Description et mise en perspective des milieux de montagne .....	10
Le projet dans son contexte réglementaire .....	14
Éléments de méthode pour les études – Notices d’impacts et documents d’incidence .....	27
<i>Étude de l’aléa hydrologique</i> .....	35
Spécificités des bassins versants de montagne .....	35
Crue de projet .....	36
Formules empiriques régionalisées, basées sur des régressions multiples ..	37
Transfert d’information entre deux bassins versants .....	40
Modèles préparamétrés .....	41
La méthode du Gradex .....	46
Shyreg: une méthode d’estimation régionale des pluies et des débits de crue .....	48
Proposition de démarche .....	50
Cas des très petits bassins .....	52
Effet de la fonte des neiges .....	53
Calcul de laminage .....	53
<i>Aléa sismique</i> .....	54
Contexte réglementaire et pratique .....	54
Retenues d’altitude relevant de la catégorie des ouvrages « à risque normal » .....	55

Retenues d'altitude relevant de la catégorie	
des ouvrages « à risque spécial » .....	57
Cas des failles potentiellement actives à proximité immédiate du site ....	58
<i>Aléas géologiques</i> .....	58
Caractéristiques des phénomènes .....	58
Choix de l'implantation du site par rapport aux aléas géologiques .....	63
Éléments de méthodologie .....	64
<i>Étude des aléas spécifiques aux zones de montagne</i> .....	66
Caractéristiques des phénomènes .....	67
Choix de l'implantation du site par rapport aux aléas naturels .....	78
Éléments de méthodologie pour la détermination de l'aléa	
au niveau du site d'implantation projeté .....	82
<i>Étude de l'onde de submersion du barrage et de ses conséquences</i> .....	95
Caractéristiques de l'onde de submersion du barrage :	
différents cas de figure .....	95
Évaluation de l'onde de submersion d'une retenue d'altitude	
sans transport solide intense .....	96
Évaluation des phénomènes torrentiels potentiellement générés .....	105
<b>3 – Conception des retenues d'altitude</b> .....	111
<i>Introduction</i> .....	111
<i>Typologie des retenues d'altitude</i> .....	113
<i>Caractérisation géologique et géotechnique du site et des matériaux</i> .....	115
Reconnaitances de terrain .....	116
Essais de laboratoire .....	121
Synthèse géologique et géotechnique .....	132
<i>Conception des ouvrages géotechniques</i> .....	133
Introduction .....	133
Préparation de la fondation .....	134
Conception du dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) .....	135
Géométrie du remblai .....	157
Drainage du remblai .....	167
Déblais, cuvette et abords .....	171
Phasage et contenu des études de conception	
des ouvrages géotechniques .....	173
<i>Justification de la stabilité des ouvrages et de leurs fondations</i> .....	175
Situations de calcul .....	176
Mode de calcul des sollicitations .....	180
Valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques .....	185
États-limites et justifications correspondantes .....	187
<i>Conception des ouvrages associés</i> .....	192
Dispositif d'évacuation des crues .....	192
Ouvrages de prise d'eau, de vidange et conduites sous remblai .....	203
Dispositif propre aux retenues d'altitude: le système de bullage .....	208
Dispositifs de protection contre les aléas naturels gravitaires .....	210
<i>Dispositif d'auscultation</i> .....	219
Généralités .....	219

Principes de conception du dispositif d'auscultation .....	220
Détails de conception .....	222
<i>Organisation des études de conception</i> .....	224
Les études préliminaires .....	224
Les études d'avant-projet .....	224
Les études de projet .....	226
Cas des barrages de classes Ag, Bg et Cg avec forts enjeux, soumis à la consultation du CTPBOH et à l'obligation d'une étude de dangers .....	226
4 – Exécution des travaux – Contrôle d'exécution .....	229
<i>Organisation de la maîtrise d'œuvre</i> .....	229
Spécificités des travaux de retenues d'altitude .....	229
En phase d'études .....	229
En phase de travaux .....	230
<i>Planches d'essai de mise en œuvre des matériaux du remblai</i> .....	232
<i>Contrôle d'exécution des ouvrages géotechniques</i> .....	233
Nature du contrôle .....	233
Suivi des terrassements .....	234
Contrôle des matériaux d'emprunt .....	235
Contrôle de compactage .....	236
<i>Mise en œuvre et contrôle d'exécution des bétons et autres structures</i> .....	237
Ouvrages en béton .....	237
Ouvrages en enrochements bétonnés .....	238
Ouvrages en gabions .....	239
<i>Mise en œuvre et contrôle d'exécution du DEG</i> .....	239
Planches d'essais de mise en œuvre du DEG .....	239
Mise en œuvre du DEG .....	240
Qualité et contrôles du DEG .....	245
<i>Exécution et contrôle d'exécution des ouvrages de drainage</i> .....	248
Cas des drains et filtres granulaires .....	248
Cas des géosynthétiques .....	249
<i>Exécution et contrôle d'exécution des conduites et collecteurs</i> .....	250
Les collecteurs sous géomembrane .....	250
Conduites sous remblai .....	251
<i>Vantellerie</i> .....	252
<i>Auscultation</i> .....	252
Mise en place des matériels d'auscultation .....	252
Auscultation en phase travaux .....	252
<i>Première mise en eau de la retenue</i> .....	253
<i>Dossier de récolement</i> .....	254
5 – Surveillance, exploitation et entretien des retenues d'altitude ...	255
<i>Fondements réglementaires et techniques</i> .....	255
Responsabilité du propriétaire .....	255
Maintien de l'ouvrage en bon état de service .....	256
Rôle des différents intervenants .....	256

<i>La surveillance des barrages</i> .....	260
Organisation par le propriétaire .....	260
Surveillance visuelle .....	262
Visite technique approfondie .....	268
Étude de dangers – Revue de sûreté – Examen technique complet .....	272
Tenue du registre journal et rapport de l'exploitant .....	272
Auscultation .....	273
Visites d'inspection du service de contrôle .....	278
<i>L'exploitation et l'entretien des barrages</i> .....	279
Contrôle de la végétation .....	279
Entretien et réparation du DEG .....	281
Entretien des ouvrages hydrauliques .....	283
Entretien du dispositif de drainage et d'auscultation .....	285
Entretien des ouvrages ou dispositifs de protection contre les aléas de montagne .....	285
Interventions diverses .....	286
Gestion des situations de danger .....	287
<i>Synthèse et éléments de coût de la surveillance, de l'exploitation et de l'entretien des retenues en service</i> .....	289
<b>6 – Recommandations pour la réhabilitation et la mise à niveau des retenues d'altitude</b> .....	291
<i>Diagnostic des retenues d'altitude</i> .....	291
Initiation de l'étude de diagnostic .....	291
Analyse de la conception et du dimensionnement des ouvrages .....	292
Analyse du comportement de l'ouvrage .....	294
Analyse des moyens de surveillance .....	296
Conclusions de l'étude de diagnostic .....	297
<i>Principales pathologies et défauts des retenues d'altitude – Techniques de confortement</i> .....	297
Préambule .....	297
Endommagement de la géomembrane .....	298
Évacuateur de crues sous-dimensionné ou conception défailante .....	303
Stabilité mécanique insuffisante – Dispositif de drainage insuffisant ....	307
Mesures et techniques correctives .....	310
Écoulements non contrôlés le long de la conduite de vidange ou de prise d'eau ou depuis un point de raccordement amont .....	312
Dispositif d'auscultation insuffisant ou inadapté .....	315
Retenue d'altitude exposée à des aléas de montagne .....	317
<b>Références bibliographiques</b> .....	321
<b>Coordonnées des auteurs</b> .....	329

# Membres du groupe de travail et relecteurs

## Soutiens financiers au projet Baraltisur

La coordination générale de ce livre a été assurée par Laurent PEYRAS et Patrice MÉRIAUX (Cemagref). Le groupe de travail était constitué de :

- Gérard DEGOUTTE (Cemagref/CGAAER)
- Luc DEROO (ISL)
- André EVETTE (Cemagref)
- Hugues GIRARD (Cemagref)
- Dominique LAIGLE (Cemagref)
- Marc LEFRANC (EDF)

Le groupe de travail a œuvré collectivement sur l'ensemble des recommandations. Plus particulièrement, les différents thèmes traités ont été développés à travers les contributions suivantes :

### ► Retour d'expérience sur les retenues d'altitude

*Animateurs* : Hugues GIRARD, Laurent PEYRAS

*Contributeurs* : Antoine BARD (ENGEES), Thomas BETH (ENSG)

### ► Impacts environnementaux

*Animateur* : André EVETTE

*Experts* : Marie BAR (DDAF 73), Jacques DUPUY (Cime Consultant), Philippe RAVIOL (Diren Rhône-Alpes)

### ► Hydrologie

*Animateurs* : Jacques LAVABRE (Cemagref)

*Contributeur* : Luc DEROO

### ► Aléas et calculs sismiques

*Animateur* : Luc DEROO

*Contributeurs* : Marc LEFRANC, Sébastien MERCKLE (Cemagref)

### ► Géologie et géotechnique

*Animateur* : Laurent PEYRAS

*Contributeurs* : Frédéric BERGER (Cemagref), Thomas BETH, Hugues GIRARD

*Experts* : Bernard COUTURIER (Grenoble INP/ENSE3), François KEIME (Sage Ingénierie)

► **Aléas et ouvrages de protection spécifiques à la montagne**

*Animateur*: Dominique LAIGLE

*Contributeurs*: Patrice MÉRIAUX, Mohamed NAAIM (Cemagref)

► **Onde de submersion**

*Animateurs*: Gérard DEGOUTTE, Dominique LAIGLE

*Contributeur*: André PAQUIER (Cemagref)

*Experts*: Nicole GOUTAL (EDF), Vincent KOULINSKI (ETRM)

► **Conception des ouvrages géotechniques**

*Animateur*: Gérard DEGOUTTE

► **Justification des ouvrages**

*Animateurs*: Luc DEROO, Laurent PEYRAS

*Contributeurs*: Gérard DEGOUTTE, Hugues GIRARD

► **Géosynthétiques**

*Animateur*: Hugues GIRARD

*Experts*: Olivier ARTIÈRES (Tencate Geosynthetics), Jean-Marie CAILLAUD (consultant géosynthétiques), François CAQUEL (LRPC), Daniel FAYOUX (AppliGéo), Yves GÉRARD (YGD-Conseil), Alain HÉRAULT (Colbond Geosynthetics), Sébastien LE BONTE (Siplast-Icopal), Jean-Louis MARÉCHAL (Ferrari), Gaëtan POTIÉ (Renolit), Jacques SAINTOT (ECE), Nathalie TOUZE-FOLTZ (Cemagref)

► **Ouvrages associés, auscultation**

*Animateur*: Luc DEROO

*Contributeur*: Christian EXCOFFON (Abest)

► **Exécution des travaux**

*Animateur*: Marc LEFRANC

*Contributeurs*: Luc DEROO, Hugues GIRARD, Laurent PEYRAS

► **Surveillance, exploitation et entretien**

*Animateur*: Patrice MÉRIAUX

*Contributeurs*: Hugues GIRARD, Dominique LAIGLE

► **Réhabilitation**

*Animateur*: Marc LEFRANC

*Contributeurs*: Hugues GIRARD, Laurent PEYRAS

Le livre a bénéficié des expertises approfondies suivantes :

- François DELORME (EDF)
- Paul ROYET (Cemagref)
- Michel LINO (ISL)
- Daniel POULAIN (Cemagref)
- Didier RICHARD (Cemagref)
- Anne LENFANT (DDAF 73)

Le Syndicat national des téléphériques de France (SNTF), sous la coordination de Serge RIVEILL et Robert TARDIEU, a apporté son expertise technique à ce livre.