



Projet BARALTISUR

Programme **RDT 2** Rapport de fin de contrat

Coordonnées du laboratoire : **Cemagref**

Identité et coordonnées des responsables du projet de recherche

- **Patrice MERIAUX**, Chef de l'Unité de Recherche « Ouvrages hydrauliques et hydrologie » (OHAX), Cemagref Aix-en-Provence, CS 40061, 13682 Aix-en-Provence Cedex 5
tél: 04 42 66 99 51 / fax : 04 42 66 88 65 / adél : patrice.meriaux@cemagref.fr
- **Didier RICHARD**, Chef de l'Unité de Recherche « Erosion torrentielle, Neige et Avalanches » (ETNA), Cemagref Grenoble, Domaine Universitaire – 2 rue de la Papeterie, BP 76 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex
tél: 04 76 76 27 73 / fax : 04 76 51 38 03 / adél : didier.richard@cemagref.fr

Date : 21/12/2009

N° de contrat : 07-000013

Date du contrat : 10/10/2007

Table des matières

Remarques concernant ce document	4
Synthèse	5
Résumés	13
Rapport scientifique	16
Annexe : Textes des publications	19
Annexe : partie confidentielle	20

Remarques concernant ce document

- ❖ La mise en forme de ce rapport, hormis sa partie scientifique et les annexes, doit être respectée. Ce format imposé permettra au SERVICE DE LA RECHERCHE une copie automatique vers d'autres documents à usage interne ou externe.
- ❖ Votre rapport doit nous parvenir :
 - sous format papier (accompagné du CD) en 3 exemplaires au moins pour le responsable du programme (Sylvie CHARRON au MEEDDM¹) et en 2 exemplaires pour son animateur scientifique (à l'attention de Martine MONTEIL, SOGREAH²), en recto-verso, interligne simple, sans couverture plastique ni spirales. Des exemplaires supplémentaires, à la charge du ou des bénéficiaire(s), seront éventuellement demandés (art. 4 de la convention)
 - sous forme électronique (envoyer à : martine.monteil@sogreah.fr).
- ❖ Les versions électroniques des résumés et de la synthèse de votre rapport doivent impérativement nous parvenir sous format modifiable rtf afin de pouvoir être réutilisés pour valorisation ou publiés (après relecture de votre part), ainsi que sous format pdf (art. 4 de la convention). Merci de limiter la taille de votre document à 5Mo.
- ❖ Les documents de ce rapport, en dehors de l'éventuelle partie confidentielle, serviront aussi bien pour l'évaluation du projet que pour la valorisation des résultats.

¹ Sylvie Charron, Responsable du programme RDT, MEEDDM, CGDD/DRI/Service de la Recherche,

² Tour Voltaire, 92055 LA DEFENSE Cedex
Martine Monteil, SOGREAH, 6 rue de Lorraine, 38130 Echirolles

Synthèse

(Destinée aux utilisateurs et gestionnaires publics)

Titre du projet : BARALTISUR

Nom du Programme : RDT 2

Nom des responsables scientifiques du projet :

Patrice MERIAUX, Cemagref Aix-en-Pce / Unité OHAX

Didier RICHARD, Cemagref Grenoble / Unité ETNA

Chef de projet :

Laurent PEYRAS, Cemagref Aix-en-Pce / Unité OHAX

Coordinateur pour le thème 2 :

Mohamed NAAIM, Cemagref Grenoble / Unité ETNA

Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

Cemagref Bordeaux / Unité REBX (« Réseaux, épuration et qualité des eaux »)

Bureau d'études ISL

Electricité de France (EDF), Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH)

EN FRANÇAIS

Contexte général

Quelle situation, quels enjeux motivent ce projet ?

Les retenues d'altitude : spécificités et expression du besoin

Le parc français de barrages d'altitude est riche d'environ 120 ouvrages construits pour la plupart dans les Alpes ou les Pyrénées. Ce parc est jeune avec essentiellement des ouvrages de moins de 10 ans et connaît encore une forte expansion.

Les retenues d'altitude sont des ouvrages hydrauliques implantés dans les stations de loisirs de montagne et destinés à créer une réserve d'eau. Majoritairement, l'usage de l'eau est la production de neige de culture.

Leur implantation en montagne entre 1200 et 2700 m en fait indubitablement des retenues d'altitude. Cette situation entraîne des difficultés spécifiques dans toutes les phases de la vie des ouvrages : en conception, en réalisation, en exploitation et, s'il y a lieu, en réhabilitation. Parmi les plus importantes difficultés, 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. D'un point de vue écologique, les sites de montagne sont souvent très riches, mais aussi fragiles. Les retenues d'altitude présentent également des spécificités techniques propres, dont les deux principales suivantes : i) compte tenu des conditions topographiques de la montagne, elles sont implantées sur des zones de replat, ne sont en général pas en prise directe dans les talwegs et sont donc 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 intérieurs. 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.

Enfin, 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 voire des accidents, des défauts de conception et de réalisation. La réhabilitation des retenues d'altitude dont la sécurité ou la fiabilité n'est pas satisfaisante est ainsi également une préoccupation essentielle des maîtres d'ouvrages et de leurs bureaux d'études de conseil.

Des aléas spécifiques et des risques potentiellement forts

En plus des aléas classiques rencontrés en plaine (crue, séisme), les retenues d'altitude sont potentiellement exposées à des aléas gravitaires 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 excessivement délicate la conception des ouvrages de protection des retenues lorsqu'ils s'avèrent nécessaires. Or, plusieurs incidents, déplorés lors de la dernière décennie et par chance sans gravité pour les personnes et les biens en aval, montrent que des retenues en service actuellement ont été implantées dans des zones soumises à des aléas gravitaires, notamment d'avalanches : des expulsions brutales, totales ou partielles (vagues, run-up), du réservoir d'eau se sont ainsi produites à l'occasion d'impacts de plan d'eau par une avalanche.

D'une façon générale, les retenues d'altitude, malgré des volumes de stockage le plus souvent modestes (moyenne 40 000 m³), 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 stockée 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 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 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 d'aménagement, de rechercher et évaluer précisément les sites pouvant potentiellement 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.

Une implantation dans des milieux naturels très souvent riches et fragiles

Les milieux d'altitude présentent une grande richesse écologique, caractérisée notamment par une flore et une faune remarquables et par des zones humides à forte valeur patrimoniale. Ils sont également caractérisés par une grande fragilité ainsi que par une dynamique très lente : 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 étaler 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.).

Une réglementation de sécurité venant d'évoluer

La réglementation relative à la sécurité des barrages a connu de récents changements importants. Le décret n°2007-1735 du 11/12/2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques remplace la notion de « classement comme intéressant publique », introduite dans la circulaire interministérielle du 14 août 1970, par des classes d'importance décroissante A, B, C, D de barrages de retenue en fonction de critères géométriques.

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

Les classes de barrages de retenue selon le décret du 11/12/2007, avec :

- H : la 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 : le 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.

A ce jour, selon ces nouveaux critères, les barrages d'altitude sont essentiellement en classes C et D, parfois en B, exceptionnellement en A. Ils sont soumis aux prescriptions relatives à la sécurité et à la sûreté des ouvrages hydrauliques et détaillées dans l'arrêté du 29 février 2008 (dossier de l'ouvrage, consignes de surveillance, visites techniques approfondies, rapports de surveillance et d'auscultation, registre journal, etc.).

En outre, 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. Une partie importante des barrages d'altitude est susceptible d'être concernée par ce « surclassement » administratif compte tenu de leur impact potentiel en cas de rupture.

Enfin, les barrages de retenues sont soumis au régime de l'autorisation dès lors qu'ils relèvent des classes A, B ou C (décret 93-743 du 29 mars 1993 modifié). Une large majorité des projets de retenues d'altitude relève donc d'une procédure d'autorisation, prévoyant notamment une enquête publique.

Naissance du projet BARALTISUR

Les lignes qui précèdent rappellent que le projet BARALTISUR a pour origine la constatation du contexte techniquement et scientifiquement délicat qui entoure les retenues d'altitude, concernées de

surcroît au premier chef par un renforcement récent des dispositions du Code de l'Environnement s'appliquant ouvrages hydrauliques.

Un pré-projet, soutenu en 2003 par le programme RDT1, avait conclu sur la pertinence de développer une action de recherche & développement relative à la sécurité des barrages d'altitude : cf. rapport « Sécurité et durabilité des barrages d'altitude pour production de neige de culture : état des lieux du parc existant et élaboration d'outils visant à améliorer la conception, la réalisation et l'entretien des ouvrages - Rapport de phase préliminaire d'activation du réseau d'acteurs » (MERIAUX P., PEYRAS L., GIRARD, H. – novembre 2005).

Objectifs généraux et structuration du projet

L'objectif général du projet BARALTISUR est d'améliorer la sûreté (sécurité et durabilité) des retenues d'altitude, tant vis-à-vis des aménagements futurs que des ouvrages aujourd'hui en service, par la mise en œuvre et la généralisation de pratiques appropriées de conception, de réalisation et de maintenance-réhabilitation. Il en va de l'intérêt des populations qui vivent – de façon permanente ou non - à l'aval des ouvrages mais aussi des nombreux montagnards dont l'activité est liée à celle de la station de ski locale, elle-même souvent tributaire du bon fonctionnement et de la rentabilité de ses installations de neige de culture.

Il intervient dans un contexte de tensions grandissantes sur la ressource en eau en montagne [CGEDD, 2009]³, à terme probablement aggravé par les effets du changement climatique [SCOTT et al., 2004] [CERON et DUBOIS, 2005]. Ce contexte conduit à la multiplication des aménagements de stockage d'eau pour la neige de culture et à l'augmentation de leur capacité, non sans inquiéter les défenseurs de l'environnement alors que les installations de neige de culture sont, par ailleurs, présentées comme les garants de la pérennité de l'activité socio-économique liée aux stations de sports d'hiver.

Le projet s'inscrivait préférentiellement dans *l'axe 4* de l'appel à propositions RDT2 de 2006, c'est-à-dire dans une démarche préventive de réduction d'un risque spécifique à un territoire – la montagne aménagée pour les sports d'hiver – et mettant en jeu un aléa technologique (ou industriel) – la rupture du barrage - et des aléas naturels montagnards pouvant, à l'image des avalanches ou des divagations torrentielles, être causes et/ou effets aggravants de la catastrophe technologique. Il émergeait également à *l'axe 1* surtout sous l'angle de la capitalisation des connaissances existantes sur les aléas naturels de montagne et de l'étude de leurs interactions possibles avec l'aléa de type industriel que constitue la rupture d'un barrage. Enfin, le projet a été labellisé en 2006 par le Pôle de Compétitivité euro-méditerranéen « Gestion des Risques et Vulnérabilité des Territoires ».

Sur la base des conclusions du rapport 2005 de pré-projet évoqué ci-dessus, le projet BARALTISUR a été structuré en *deux thèmes de recherche et développement* prioritaires :

- **Thème 1** (*capitalisation-valorisation-transfert*) : élaboration d'un guide technique pour la conception, la réalisation, l'entretien, la surveillance et la réhabilitation des barrages d'altitude ;
- **Thème 2** (*recherche*) : étude d'amélioration des modèles pour le dimensionnement de la hauteur de « run-up »⁴ au barrage consécutive à l'impact d'un aléa gravitaire (avalanche, mouvement de terrain, lave torrentielle, ...).

³ Rapport du CGEDD « Neige de culture : Etat des lieux et impacts environnementaux. Note socio-économique » (BADRE M., PRIME J.L., RIBIERE G., juin 2009).

⁴ Hauteur de « run-up » : hauteur maximum de ressac consécutive à une vague remontant sur la rive du plan d'eau ou sur le parement amont du barrage.

Dans la suite de cette synthèse, nous distinguerons en temps que de besoin ce qui relève du thème 1 ou du thème 2, tels que définis ci-dessus.

Quelques éléments de méthodologie (et éventuelles difficultés rencontrées)

Thème 1 :

Une enquête sur le parc de barrages d'altitude a été réalisée en 2008 : quelque 65 retenues d'altitude ont été passées en revue et ont fait l'objet d'une analyse documentaire ou d'une visite détaillée sur site.

Le guide de recommandations « Retenues d'altitude », livrable de ce thème du projet BARALTISUR, a été élaboré, sous la conduite du chef de projet Laurent PEYRAS, docteur-ingénieur en génie civil, par un comité de rédaction pluridisciplinaire ainsi constitué :

- Cemagref : Frédéric BERGER, Gérard DEGOUTTE, André EVETTE, Hugues GIRARD, Dominique LAIGLE, Jacques LAVABRE, Patrice MERIAUX, Florence et Mohamed NAAIM, André PAQUIER, Laurent PEYRAS ;
- EDF-CIH : Marc LEFRANC;
- bureau d'études ISL : Luc DEROO.

En évolution par rapport aux objectifs initiaux du projet, on notera que le guide a été enrichi d'un chapitre relatif à l'impact environnemental des retenues d'altitude, dont la rédaction a été assurée par André EVETTE (Cemagref Grenoble / Unité EMGR « Ecosystèmes montagnards »).

Un comité de pilotage s'est réuni une fois par an pour valider les principales étapes de la rédaction. Il était formé de représentants de professionnels de la montagne ou de l'ingénierie des barrages et d'organismes co-financeurs du projet :

- Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de la Savoie,
- bureau d'études ABEST,
- Comité Français des Barrages et des Réservoirs (C.F.B.R.),
- Syndicat National des Téléphériques de France (S.N.T.F.),
- Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur,
- Direction des Etudes de l'Aménagement Touristique de la Montagne (D.E.A.T.M.),
- Commissariat à l'Aménagement des Alpes de la Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires (DIACT).

L'animation énergique et volontaire du chef de projet a permis le respect du planning de rédaction. Tous les chapitres du guide ont fait l'objet de relectures croisées et de relectures par des experts extérieurs au comité de rédaction. Enfin, la présence dans le comité de pilotage de professionnels de la montagne a permis d'aboutir à une rédaction consensuelle du chapitre délicat sur les impacts environnementaux des retenues d'altitude.

Thème 2 :

Ce thème est dédié au développement de connaissances et d'outils d'aide à la décision pour l'évaluation des vagues engendrées par les mouvements gravitaires rapides dans les retenues d'altitudes et les surélévations qui résultent lors de la réflexion sur les berges. Le travail a d'abord consisté à réaliser une large recherche bibliographique pour disposer d'une large base de données expérimentales et d'accéder aux connaissances existantes. Par la suite nous avons développé plusieurs classes de modèles numériques (1d, 2d et 3d) que nous avons validé sur les données expérimentales recueillies.

Résultats obtenus

Thème 1 :

- publication du guide « Retenues d'altitude »⁵ de recommandations techniques et scientifiques (352 pages, Quae Editions 2009) ;
- autres actions de valorisation-transfert : articles ou communications scientifiques ou techniques, conférences grand public, sessions de formation continue, etc.

Thème 2 :

- Trois classes de modèles numériques de simulation des vagues produites par l'impact d'un mouvement gravitaire rapide,
- publication d'articles scientifiques et techniques.

Implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, valorisation

Thème 1 :

- Implications pratiques : le guide « Retenues d'altitude » livré est, par essence, un ouvrage de recommandations préférentiellement destinées aux maîtres d'ouvrage et aux bureaux d'ingénierie qui les assistent dans les opérations de construction ou de gestion des retenues d'altitude.
- Recommandations et limites éventuelles : celles-ci sont indiquées dans le corps du guide « Retenues d'altitude »
- Réalisations pratiques et valorisation : se reporter à la section valorisation ci-après.

Thème 2 :

- Implications pratiques : Certains des modèles développés ont été interfacé avec le logiciel Excell pour faciliter leur usage opérationnel,
- Recommandations et limites éventuelles : la question de la masse volumique sur l'onde de submersion reste très approximative et nécessiterait une étude plus approfondie (cas des avalanches de neige).
- Réalisations pratiques et valorisation : se reporter à la section valorisation ci-après.

Partenariats mis en place, projetés, envisagés

Thème 1 : bureau d'étude ISL, EDF-CIH, SNTF, ANPNC

Thème 2 : aucun

Pour en savoir plus (quelques références)

<http://www.quae.com/fr/livre/?GCOI=27380100581230>

⁵

Guide communiqué aux deux évaluateurs du programme RDT2 en marge de la présente synthèse.

Liste des opérations de valorisation issues du contrat (articles de valorisation, participations à des colloques, enseignement et formation, communication, expertises...)

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

- Publications scientifiques parues « NILS RAYNAUD » - Revue Ingénieries EAT, n° spécial 2006
- Publications scientifiques à paraître - « Dispositifs d'étanchéité par géomembrane des retenues d'altitude : retour d'expérience et recommandations » - Revue Ingénieries EAT, n° spécial 2009
- "Mountain reservoirs with geomembrane lining systems in France: feedback, behaviour, pathology and guidelines" - Revue « Geotextiles and geomembranes »
- Publications scientifiques prévues

COLLOQUES

- Participations passées à des colloques - « Rencontres géosynthétiques » 2009, avril 2009, Nantes
- Colloque « Les barrages dans les Alpes » - Chambéry, 5 mars 2009
- Colloque annuel de l'Association Nationale des Personnels de la Neige de Culture (ANPNC), 22 avril 2008 à La Motte d'Aveillans (38)
- Participations futures à des colloques - 9th International Conference on Geosynthetics-9ICG, Brazil 2010 : "Mountain reservoirs with geomembrane lining systems in France: behaviour, pathology, guidelines and outstanding projects"

THESES

- Thèses passées
- Thèses en cours

ARTICLES DE VALORISATION-VULGARISATION

- Articles de valorisation parus
- Articles de valorisation à paraître
- Articles de valorisation prévus

AUTRES ACTIONS VERS LES MEDIAS

- Actions vers les médias (interviews...) effectuées Interview par Mme Sophie GUILLIEN, journaliste d'Alpes Magazine, pour un dossier spécial « barrages de montagne », printemps 2009.
- Reportage TV par France 3 Rhône-Alpes
- Actions vers les médias prévues

ENSEIGNEMENT – FORMATION

- Enseignements/formations dispensés - Formations continues « Bases de la conception des barrages et retenues d'altitude » :
. 2 et 3 mai 2007 – Aix-en-Provence
. 11 au 13 mai 2009 - Grenoble
- Enseignements/formations prévus Reconduite biennale de la session de formation continue « Bases de la conception des barrages et retenues d'altitude »

EXPERTISES

- Expertises menées - Plusieurs expertises de retenues d'altitude dans le cadre de l'enquête de retour d'expérience conduite au titre du projet ;
- Audition par la mission « Neige de culture » du CGEDD 2008-2009 : MM. BADRE et RIBIERE.
- Expertises en cours
- Expertises prévues

Méthodologies produites

METHODOLOGIES (GUIDES...)

- Guide « Retenues d'altitude » - Ed. QUAE – 352 pages

<http://www.quae.com/fr/livre/?GCOI=27380100581230>

- Guide « Risques et impacts des retenues d'altitude » Ed.

QUAE - 32 pages

<http://www.quae.com/fr/livre/?GCOI=27380100354350>

Méthodologies en cours
d'élaboration

Méthodologies prévues

AUTRES

Précisez...

Résumés

EN FRANÇAIS

Résumé

1/2 à 1 page

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 : stockage d'eau brute pour la production d'eau potable, création de plans d'eau à des fins touristiques, irrigation, etc.

En raison de leur implantation, les difficultés techniques, réglementaires, environnementales et de sécurité publique liées à ces retenues sont nombreuses et spécifiques. Tous les acteurs, décideurs ou non, s'y trouvent inmanquablement confrontés au cours des étapes de la vie de ces ouvrages.

Thème 1 :

Edité en livrable de ce thème du projet BARALTISUR, le guide « Retenues d'altitude », véritable manuel intégré dédié à ces aménagements, apporte des réponses aux questions d'évaluation des sites, d'analyse des aléas naturels et technologiques et d'étude d'onde de submersion. Il 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 et à la hiérarchisation des sites vis-à-vis des questions liées aux impacts environnementaux. Il établit les règles de l'art techniques en matière de conception, de réalisation et de surveillance, en rappelant les prescriptions réglementaires à prendre en compte.

Bien que principalement destiné aux propriétaires, aux exploitants et aux bureaux d'études, il intéresse tous ceux qui sont concernés par les retenues d'altitude.

Thème 2 :

L'impact d'un mouvement gravitaire rapide, tel un écroulement ou une avalanche, dans une retenue d'altitude produit des vagues dont la nature et l'amplitude dépendent des grandeurs de l'impactant (ici le mouvement gravitaire rapide) et de la profondeur d'eau du lac. Dans ce thème nous avons synthétisé les connaissances scientifiques et les principales lois d'échelle qui permettent d'évaluer le volume d'eau déplacé lors de l'interaction et l'onde hydrodynamique qui en résulte, en insistant non seulement sur l'amplitude des vagues mais aussi sur leurs natures. L'extension des retenues d'altitude étant limitée, les vagues produites rencontrent rapidement la berge du lac. Elles génèrent une surélévation, dite run-up, dont l'amplitude dépend des caractéristiques de l'onde incidente et de la pente de la berge. Dans ce thème, nous avons rassemblé suffisamment de données expérimentales et nous avons développé trois modèles numériques pour étudier ce phénomène aussi bien en termes d'ondes produites qu'en termes de run-ups. Nous avons ainsi construit des outils numériques permettant d'étudier l'ensemble du phénomène, outils qui intègrent la géométrie et la bathymétrie réelle des lacs. Les versions 1D de ces outils sont interfacés avec des logiciels du commerce (Excell) pour faciliter leur usage dans le cadre des études d'ingénierie.

Mots clés

BARRAGE D'ALTITUDE, RETENUE D'ALTITUDE, CONCEPTION, REALISATION, ENTRETIEN, REPARATIONS, DISPOSITIF D'ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANE, RISQUES NATURELS DE MONTAGNE, ONDES DE SUBMERSION, RUN-UPS

In English

Abstract

1/2-1 page

Mountain reservoirs are hydraulic structures located in the winter sports resorts and designed to create a storage of water. This water, mainly dedicated to the snowmaking, can be devoted to other uses: storage of raw water for drinking water supply, tourism, irrigation, etc.

Because of their location, technical, water policy, environmental and public safety difficulties related to these mountain reservoirs are numerous and specific. All stakeholders, policy makers, ... are inevitably faced to these difficulties during the life stages of these structures.

WP 1 :

As a product of the Work Package 1 (WP 1) of the "BARALTISUR" project, the guide "Mountain reservoirs", a true integrated manual dedicated to these altitude hydraulic structures, provides answers to questions of site assessment, analysis of natural and technological hazards and study of the rupture wave. It features elements of decision support for operators and their advising offices on organizing an altitude project and the ranking of sites related to environmental impacts. It establishes the rules of the art techniques in the design, construction, surveillance, monitoring and repairs, recalling the regulatory requirements to consider.

Although primarily intended for owners, operators and engineering firms, it concerns all those involved in the mountain reservoirs.

WP 2 :

The impact of a rapid gravitational mass movement (debris flow, snow avalanche) in a lake produces water waves whose nature and magnitude depend on the magnitude of impactor and the water depth of the lake. In this issue we synthesized the existing scientific knowledge and the main data and scaling laws for assessing the volume of water displaced during the interaction and the wave resulting.

The extension of the reservoirs are limited. The waves produced meet rapidly the lake shores. They generate an elevation, called the run-up, whose amplitude depends on the characteristics of the incident wave and the slope of the bank. In this issue, we gathered enough experimental data and we developed three numerical models to study this phenomenon in terms of waves produced and in terms of run-ups. The numerical models are able to study the whole phenomenon from the impact to the run-up. The developed tools were interfaced interfaced with commercial software (Excel) to facilitate their use in engineering studies.

Key words :

Mountain reservoir, Altitude small dam, Design, Construction, Maintenance, Repairs, Geomembrane lining system, Mountain natural hazards, Wayer waves, Run-ups

Rapport scientifique

Titre du projet : BARALTISUR

Nom du Programme : RDT 2

Nom des responsables scientifiques du projet :

Patrice MERIAUX, Cemagref Aix-en-Pce / Unité OHAX

Didier RICHARD, Cemagref Grenoble / Unité ETNA

Chef de projet :

Laurent PEYRAS, Cemagref Aix-en-Pce / Unité OHAX

Coordinateur pour le thème 2 :

Mohamed NAAIM, Cemagref Grenoble / Unité ETNA

Noms des autres partenaires scientifiques bénéficiaires :

Cemagref Bordeaux / Unité REBX (« Réseaux, épuration et qualité des eaux »)

Bureau d'études ISL

Electricité de France (EDF), Centre d'Ingénierie Hydraulique (CIH)

NOTE IMPORTANTE

Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).

Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.

Thème 1 : Présentation rapide du guide « Retenues d'altitude »

Le guide de recommandations (352 pages), qui a été publié en livrable de ce thème 1 du projet BARALTISUR, est destiné principalement aux maîtres d'ouvrage et à leurs services techniques 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 constitue un manuel intégré pour la conception, la réalisation, la surveillance et la réhabilitation de ces aménagements. Ayant surtout pour vocation de préciser, dans le contexte de la montagne, les règles de l'art pour la conception de petits barrages étanchés par géomembrane, le guide renvoie en temps que de besoin à la littérature technique spécialisée du domaine.

Résumé du contenu du guide

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

La **partie II** traite du choix des sites d'implantation et des composants essentiels de leur évaluation : les impacts environnementaux du futur aménagement, les aléas naturels, notamment de montagne, auxquels il peut être exposé, l'onde de submersion et ses conséquences pour l'aval qui seraient engendrées par la rupture du barrage ou l'expulsion de son volume d'eau. Elle vise à donner aux maîtres d'ouvrages, 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 en **partie III** du guide. Les règles de l'art applicables aux petits barrages sont rappelées et sont déclinées dans le contexte d'ouvrages hydrauliques en montagne. On insiste sur les aspects géotechniques et sur la technologie des géosynthétiques, essentiels pour ces ouvrages.

L'exécution des travaux et leur vérification de conformité (**partie IV**) méritent également une attention particulière en montagne, où les fenêtres saisonnières pour la réalisation des travaux sont très limitées. On développe aussi dans cette partie les aspects liés à l'organisation des chantiers.

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

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

Contenu du guide :

Se reporter aux deux exemplaires remis à destination des évaluateurs du programme RDT 2 en marge de ce rapport.

Par ailleurs, voir le lien de l'éditeur :

<http://www.quae.com/fr/livre/?GCOI=27380100581230>

Thème 2 : rapport scientifique joint ci-après .

Annexe : Textes des publications

*Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).
Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.*

Voir le guide au format papier « RETENUES D'ALTITUDE » - Editions QUAE, 352 pages

Annexe : partie confidentielle

Vous pouvez insérer ici toute information ou résultat qui revêt une part de confidentialité.

Merci de préciser le degré de confidentialité de ces données.

Nous vous recommandons de préciser dans la partie non confidentielle l'existence de ces données confidentielle et d'expliquer la raison de leur confidentialité.

Cette partie ne sera pas diffusée sur le site Internet du Ministère.

Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).

Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.