

Sécurité et pathologie des barrages pour la production de neige de culture : premiers retours d'expérience

Patrice Mériaux ^a, Gérard Degoutte ^b, Hugues Girard ^c et Laurent Peyras ^a

Dans les stations de sports d'hiver, la construction de petits ou moyens barrages destinés à stocker de l'eau pour l'alimentation des installations de neige de culture se multiplie depuis une décennie, sur l'ensemble des massifs français (Mériaux, 2005). Les maîtres d'ouvrages des installations sont, en général, des communes de montagne ou des sociétés privées ou mixtes d'aménagement.

Ces ouvrages, souvent dénommés localement « retenues collinaires », sont sans conteste des barrages, tant sur le plan réglementaire que technique. Ils sont implantés dans des zones d'altitude (figure 1) et s'avèrent potentiellement exposés à des aléas naturels spécifiques au milieu montagnard (avalanches, glissements de terrain, débordements torrentiels ou chutes de blocs). Par ailleurs, en cas de rupture accidentelle du barrage ou d'expulsion instantanée de tout ou partie de leur retenue, l'onde de submersion engendrée pourrait déclencher, sur les pentes à l'aval, des phénomènes torrentiels catastrophiques tels que laves ou coulées boueuses.

Sur le plan réglementaire, ces ouvrages relèvent des dispositions de la loi sur l'eau (régime de la déclaration ou de l'autorisation) et, comme ils se trouvent souvent à l'amont immédiat d'enjeux majeurs, ils sont dans ce cas soumis aux prescriptions relatives aux « barrages intéressant la sécurité publique » au sens de la circulaire du 14 août 1970, en dépit de volumes stockés relativement faibles.



◀ Figure 1 – Barrage d'altitude sous (haute) protection paravalanche, dominant une station de ski (P. Mériaux).

Les sites d'implantation de ces barrages révélant très généralement des fondations perméables ou à tout le moins hétérogènes, les concepteurs retiennent la solution de la création d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG) pour assurer l'étanchéité à la fois du remblai, qui ferme du côté aval la retenue, et de l'ensemble de la cuvette (CFG¹, 1991) dont la partie amont est généralement terrassée en déblai. Dans la majorité des cas, la géomembrane ne dispose d'une couverture de protection qu'en partie haute des talus intérieurs de la cuvette, dans la zone de batillage. Lors des forts et fréquents manèges du plan d'eau, la géomembrane est alors exposée directement, sur de grandes surfaces, à des conditions d'environnement très difficiles (cycles gel-dégel, actions des glaces, du vent, des ultraviolets, etc.) : ceci engendre fréquemment des pathologies et des processus de dégradations rapides du DEG.

S'appuyant sur une enquête de retour d'expérience dans un département de montagne et sur

1. Comité français des géosynthétiques.

Les contacts

a. Cemagref, UR Ouvrages hydrauliques et hydrologie, 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5

b. CGAAER – Cemagref, 3275 Route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix-en-Provence Cedex 5

c. Cemagref, UR Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun, Gazinet, 33612 Cestas Cedex

2. Direction départementale de l'agriculture et de la forêt.

3. Organisme professionnel de qualification de l'ingénierie : infrastructure, bâtiment, industrie.

l'étude de quelques cas récents de désordre ou d'incident, cet article présente les principaux défauts de conception et quelques pathologies rencontrées, en particulier concernant le DEG, et évoque les actions envisagées pour améliorer la conception et la pérennité des aménagements.

Enquête de retour d'expérience dans un département de montagne

Initié par la DDAF² du département concerné, en charge au titre de la police de l'eau de l'instruction des dossiers de projet et du contrôle des barrages en service, ce travail a été conduit par le Cemagref durant l'été 2004.

L'enquête a porté sur 16 barrages d'altitude en service, constituant l'essentiel du parc des ouvrages de ce type construits entre 1994 et 2003 dans le département.

Description synoptique des aménagements

- Altitude d'implantation : 1 200 à 1 800 m (moyenne : 1 500 m).
- Volume de retenue : 5 000 à 80 000 m³ (moyenne : 40 000 m³).
- Type de barrage : barrage en remblai et cuvette en déblai étanchés par DEG.
- Hauteur maximale du remblai : 4 à 14 m par rapport au terrain naturel (moyenne : 8 m).
- Fruit du talus amont : 1,5 à 3.
- Fruit du talus aval : 1,5 à 3,5.
- Évacuateur de crues en général de type déversoir en enrochements bétonnés, installé sur le remblai, avec un dissipateur d'énergie souvent absent ou rustique.
- Dispositif d'auscultation : point de collecte, en général unique, des débits de drainage.
- Organe de vidange : conduite traversant le remblai ou sa fondation.
- Statut administratif : autorisation ou déclaration.

Méthode de travail

Au vu de notre expérience antérieure, le plan d'un rapport-type de visite a tout d'abord été élaboré, inventariant tous les points à examiner au cours de la visite et des discussions avec les participants.

Les visites d'ouvrage se sont déroulées du 20 au 29 juillet 2004, avec, dans la grande majorité des cas, la participation des maîtres d'ouvrages ou des exploitants : ceci fut particulièrement précieux pour la pertinence du retour d'expérience et le recueil des questionnements des gestionnaires d'ouvrages. Dans les jours qui ont suivi les visites, les rapports par barrage ont, le cas échéant, pu être complétés suite à l'examen de documents techniques remis par le service de la police de l'eau (dossiers d'avant-projet, en général, extraits du dossier d'autorisation ou de déclaration).

Synthèse des résultats

Les conclusions les plus marquantes de l'enquête concernant les 16 barrages peuvent se récapituler ainsi :

– la plupart des barrages intéressent – ou sont susceptibles d'intéresser (étude d'impact de la rupture à faire) – la sécurité publique, au sens de la circulaire d'août 1970 ;

– la majorité des barrages n'ont pas fait l'objet d'une étude sur l'impact de leur rupture éventuelle vis-à-vis des enjeux aval ou d'une étude spécifique sur leur exposition aux aléas de montagne, alors que certains ouvrages ont été construits sur des sites soumis à des aléas avérés, contre lesquels il est difficile de se protéger (il a été évoqué au moins un cas d'avalanche ayant franchi une retenue de barrage au cours d'un hiver récent, *a priori* sans conséquence apparente, le plan d'eau étant pris en glace) ;

– les concepteurs et maîtres d'œuvre de ces ouvrages ne présentent pas de nombreuses références dans la construction de barrages et/ou n'ont qu'une expérience récente dans ce domaine – la plupart d'entre eux n'ayant pas les qualifications de l'organisme de qualification de l'ingénierie (OPQIBI³) pour la conception de ce type d'ouvrage hydraulique ;

– les études géologiques et géotechniques sont souvent restées à un niveau sommaire d'« avant-projet » ;

– dans la moitié des cas, les fruits de talus aval sont raides (strictement inférieurs à 2) et ne garantissent probablement pas la stabilité du remblai avec un coefficient de sécurité suffisant en cas de défaillance de la géomembrane et/ou de saturation du dispositif de drainage ;

– pour une dizaine de barrages, les études hydrologiques ont été sommaires et 12 barrages ont

des évacuateurs de crues sous-dimensionnés au regard des règles de l'art actuelles (Degoutte, 1997) ;

- 5 barrages présentent des défauts sur leur dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG), amenant des désordres récurrents ;

- seuls 3 barrages sur 16 sont dotés d'un dispositif d'auscultation satisfaisant (jaugeage des débits de fuite) et régulièrement mesuré, alors que la plupart d'entre eux ne disposent pas d'équipement permettant d'apprécier leur comportement. Parfois, par seule ignorance, le seul intérêt reconnu aux fuites est celui de pouvoir les refouler par pompage dans la retenue et non de s'en servir pour évaluer le comportement du barrage.

Ces constats montrent des insuffisances au niveau de la conception, parfois de la réalisation et de l'auscultation, dénotant surtout une méconnaissance des spécificités du domaine délicat qu'est la construction des barrages à étanchéité mince.

Les visites de contrôle réglementaires auxquelles les auteurs ont été associés dans d'autres départements ou des informations obtenues par ailleurs ont permis de constater qu'un certain nombre de défauts, désordres et/ou incidents relevés lors de cette enquête particulière se retrouvaient sur d'autres barrages similaires des massifs alpin et pyrénéen.

Présentation de deux sinistres récents

Sur la période 2004 à 2005, les services de police de l'eau ont eu connaissance d'au moins deux sinistres ayant affecté des barrages d'altitude en chantier ou en exploitation.

Glissements de terrain

En août 2004, dans une station des Alpes du Nord, des glissements de terrain impliquant l'ouvrage se sont déclenchés au cours du chantier d'extension d'un barrage d'altitude étanché par DEG.

Les travaux en cours consistaient à doubler la capacité de la cuvette du barrage construit au début des années 1990, pour la porter à 50 000 m³. Les études initiales avaient mis en évidence des conditions géologiques complexes du versant d'implantation de la future retenue et des indices de mouvements anciens dans son environnement. Pour le projet d'extension, le complément d'étude géotechnique a été



◀ Figure 2 – Glissement localisé du talus de déblai (P. Mériaux).

sommaire – le parti ayant été pris d'adapter les dispositions constructives à l'avancement des travaux, par l'intermédiaire d'une mission de suivi géotechnique.

Lors du chantier, un premier signe d'instabilité était rapidement déploré dans le talus de déblai amont de la partie de cuvette fraîchement terrassée (figure 2).

Dans les jours qui ont suivi, alors que le chantier de pose de la géomembrane était bien avancé, de spectaculaires désordres (mouvements décimétriques) se sont manifestés plus en aval, sur le barrage en remblai lui-même : glissement du pied de talus déstabilisant le local technique de l'usine à neige et rupture de la conduite de vidange récemment remblayée. D'autres indices et mesures ont plus tard confirmé que, d'un mouvement relativement localisé affectant un talus de déblai, le phénomène avait évolué vers un glissement généralisé du versant.

Le barrage préexistant ayant été vidangé pour les besoins du chantier, il n'y a eu fort heureusement aucune conséquence pour l'aval. Toutefois, l'ouvrage initial est inexploitable et le site va devoir être définitivement abandonné, après remise en état.

Déchirures de la géomembrane dues à l'action de la glace

Dans une station des Alpes du Sud, au printemps 2005, la chute de grosses plaques de glace depuis les bords de la cuvette d'un barrage de 40 000 m³ de capacité a provoqué d'importantes déchirures de la géomembrane, plusieurs fois décimétriques. Ceci a entraîné la vidange non contrôlée de la retenue, fort heureusement aux trois-quarts vide, et on estime à environ 2 500 m³ le volume d'eau qui a transité par le réseau de

4. Service d'études techniques des routes et autoroutes – Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

5. Commission internationale des grands barrages.

6. Comité français des grands barrages, devenu Comité français des barrages et réservoirs (CFBR).

drainage, constitué sous la géomembrane par un géocomposite drainant. Cet ouvrage n'était pas réceptionné, mais avait déjà été mis en eau pour la saison hivernale. Compte tenu de l'ampleur des désordres et d'une vitesse de vidange *a priori* rapide, une expertise-diagnostic de l'accident a été confiée par le maître d'ouvrage à un bureau d'études spécialisé indépendant de la maîtrise d'œuvre. Le diagnostic a conclu à l'absence de désordres graves sur le dispositif de drainage du remblai, mais a conditionné la remise en service du barrage – après réparation, bien sûr, des surfaces déchirées – au respect d'un protocole très strict d'exploitation pour la remise en eau de l'ouvrage, la gestion de sa retenue et son auscultation.

Depuis, il a été signalé un incident analogue au précédent – lors du même hiver 2004-2005 – sur un barrage des Alpes du Nord : déchirure de 2 m² de la géomembrane, repérée au cours du premier remplissage de la retenue, grâce au suivi du débit de fuite. Dans ce cas aussi, le barrage était neuf.

Il semblerait, donc, qu'à ce jeune âge, de telles déchirures de géomembranes non intégralement protégées par une structure de couverture (figure 3) soient assez courantes – les systèmes de bullage n'étant pas toujours opérationnels et les exploitants ne maîtrisant pas bien encore la gestion de la cote de la retenue en fonction des conditions météorologiques. D'ailleurs, les systèmes de bullage, destinés à limiter la formation de glace en surface de la retenue, sont loin d'être la panacée pour la protection de la géomembrane. En effet, dans le premier exemple ci-dessus, la densification du système de bullage réalisée lors du chantier de réparations de l'été 2005 n'a pas empêché l'apparition de nouvelles déchirures dues à la glace en décembre 2005.

► Figure 3 – Illustration d'effets de la glace (H. Girard).



Retours d'expérience pour la conception du DEG

Conception du DEG

Suite aux retours d'expérience analysés précédemment, il nous paraît important de rappeler ici quelques points essentiels à prendre tout particulièrement en considération pour la conception du DEG des barrages d'altitude.

Tout d'abord, parmi les documents existants sur lesquels peuvent s'appuyer les concepteurs, peuvent être cités :

– « *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes* » (CFG, 1991) ;

– « *Étanchéité par géomembranes des ouvrages pour les eaux de ruissellement routier, Guide technique* », ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (SETRA-LCPC⁴, 2002) ;

– « *Étanchéité des barrages par géomembrane – technique actuelle* », (CIGB⁵, 1991) ;

– « *Les géosynthétiques dans les barrages* », (CFGB⁶/CFG, 2002) ;

– « *Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement* » (CFG, 2001).

Ensuite, sur la base des documents précités, le concepteur doit notamment veiller à examiner, avec la plus grande attention, les points suivants :

– le choix de la géomembrane doit être adapté aux conditions des barrages d'altitude (température, ultraviolets, vents, glace) ;

– un dispositif de drainage eau et gaz doit être généralement prévu sous la géomembrane (avec une pente suffisante pour éviter les risques de sous-pressions) ; *a minima*, il convient de séparer les débits de drainage eau provenant des versants de ceux qui seraient issus de fuites de la géomembrane, et de permettre la mesure régulière des débits et en toutes saisons ;

– la conception et le dimensionnement de la structure support du DEG doivent permettre d'éviter tout poinçonnement de la géomembrane, en fonction de l'agressivité du fond de forme et de la hauteur d'eau stockée ;

– les raccordements du DEG aux ouvrages (vidange, alimentation, évacuateur de crues) doivent être étudiés et réalisés avec soin ;

– la stabilité des talus, de la couche support et des couches de protection éventuelles doivent être examinées soigneusement : les pentes du talus recommandées sont le plus souvent de 1/2 à 1/3 suivant la nature des matériaux et la hauteur des talus ;

– la structure de couverture de la géomembrane (cf. ci après « Questionnement à propos du dispositif de couverture de la géomembrane »), si elle existe, doit être conçue et mise en œuvre de façon à ne pas endommager la géomembrane ;

– les matériaux utilisés, granulaires et géosynthétiques, ainsi que leurs conditions de mise en œuvre, doivent faire l'objet de spécifications précises, suivant les normes en vigueur ; on citera en particulier les normes NF EN 13252 et 13361 qui spécifient les caractéristiques requises pour les géotextiles et produits apparentés et pour les géomembranes utilisés dans les barrages et réservoirs (mais ne donnent pas de valeurs seuils).

Il est de plus recommandé de préconiser des matériaux (géotextiles ou produits apparentés et géomembranes), des soudeurs et des chefs de chantier certifiés (ASQUAL⁷ ou garanties strictement équivalentes) et de prévoir des contrôles de conformité intégrant, en phase finale, une évaluation globale de l'étanchéité ainsi qu'un dossier de récolement et de synthèse des résultats des différents contrôles. Lors des travaux, des points d'arrêt doivent être prévus ; à ces points, les entreprises ont besoin de l'accord du maître d'œuvre pour continuer les travaux. Il s'agit notamment de la réception des supports et des drains à la fin du terrassement (à ce stade, il doit être prévu une réception contradictoire entre les entreprises d'étanchéité et de terrassement) et du contrôle de qualité de la géomembrane avant recouvrement (si prévu).

Enfin, une attention particulière doit être apportée à la protection des personnes vis-à-vis du risque de noyade, notamment lorsque l'étanchéité de l'ouvrage est assurée par une géomembrane non revêtue : il convient de vérifier que des dispositions visant à assurer, en toutes saisons, la sécurité des tiers (promeneurs, skieurs...) et plus généralement de toutes personnes susceptibles de s'approcher de l'ouvrage (ex. : agents d'exploitation) aient bien été prises. Elles peuvent comprendre : l'installation d'une clôture de protection sur toute la périphérie du bassin, une signalisation adaptée rappelant les dangers et l'interdiction d'accès au site, la mise en place de dispositifs de secours (bouées de sauvetage, cordes à nœuds, échelles...), etc.

Questionnement à propos du dispositif de couverture de la géomembrane

Dans la majorité des aménagements étanchés par DEG qui ont été examinés à ce jour, le choix a été fait de ne pas protéger la géomembrane sur l'intégralité de la surface de la cuvette. Un tel choix présente l'intérêt de faciliter la surveillance et les réparations de la géomembrane. Cependant, l'expérience montre qu'en phase d'exploitation, il conduit à des incidents récurrents, nécessitant des réparations quasi annuelles.

L'installation d'une structure de couverture pour protéger la géomembrane permet de prévenir les dégradations par la glace et d'augmenter la durabilité du DEG, qui se trouve soustrait de ce fait aux agressions extérieures (ultraviolets, gel-dégel, chutes de pierres, actes de vandalisme, etc.). Elle nécessite, cependant, une conception et une mise en œuvre soignées de la protection, couplées à un réseau de drainage pertinemment conçu de manière à faciliter la localisation ultérieure d'éventuelles fuites. L'utilisation de méthodes électriques de détection de défauts peut permettre de s'assurer de l'étanchéité de la géomembrane avant et après son recouvrement (CFG, 2003). La stabilité de la structure de couverture doit également être étudiée avec soin dans la mesure où il existe en général dans le DEG une interface géotextile-géomembrane qui constitue un plan de glissement privilégié ; il convient donc d'assurer la stabilité de cette structure (frottement, pente adaptée, butée en pied, ancrage). La couverture intégrale a tendance à être adoptée, semble-t-il avec succès, pour les barrages d'altitude de plus grande capacité. Ajoutons que, dans le cas des barrages d'altitude, les surfaces de plan d'eau sont presque toujours faibles, et l'énergie des vagues par grand vent est donc réduite. De nombreuses solutions de couverture de protection existent et seraient donc à étudier pour ces ouvrages.

Pour les plus petits barrages d'altitude, il est à se demander si des dispositions ou dispositifs appropriés (ex. : systèmes de bullage fiabilisés, consignes de gestion, nature ou traitement spécifique de la géomembrane, choix d'une couche support lisse et rigide, remblai drainé et auto-filtrant...), techniquement et économiquement viables, peuvent pallier de façon efficace les inconvénients de la non-protection extérieure de la géomembrane.

7. Cf. www.asqual.com

Drainage sous la géomembrane

Plusieurs projets ou réalisations comportent une géomembrane non drainée, ou bien drainée par des tranchées ou éperons en graviers espacés de 5 à 10 m. D'autres projets prévoient un drainage généralisé grâce à un géocomposite drainant sur lequel la géomembrane est directement posée.

L'absence de drainage est, sauf cas particuliers, une grave erreur qu'il est inutile de commenter. De même, un drainage discontinu de la géomembrane nous paraît une solution risquée à déconseiller vivement dans la plupart des situations. En effet, si une fuite se crée dans la géomembrane (déchirure, poinçonnement, décollement...), celle-ci ne se produira pas forcément au droit d'un éperon drainant et l'hétérogénéité du remblai – qui est le cas général – ne garantit absolument pas que les écoulements soient captés par le système de drainage. Un drainage complet constitue une sécurité complète si la pose est correcte et si la capacité d'écoulement est suffisante (pour les géocomposites drainants, il faut veiller à bien prendre en compte le fait que la capacité hydraulique des produits dépend de la charge qu'ils supportent). Cela s'impose encore plus en cas de géomembrane recouverte par un dispositif de protection pour laquelle il s'avère délicat de détecter un défaut *a posteriori*. La solution d'un drain en géocomposite drainant, qui fait appel à la même technicité de pose que la géomembrane, nous paraît tout à fait adaptée aux barrages d'altitude. Enfin, la garantie de continuité totale du drain est plus forte qu'avec un matériau granulaire dans le cas de petits chantiers plus ou moins bien surveillés.

Actions réalisées ou projetées pour contribuer à l'amélioration du parc d'ouvrages

Instruction des projets au titre de la loi sur l'eau

Les projets de barrages d'altitude sont soumis à une simple *déclaration* ou à *autorisation* selon leur taille et sont instruits par les services de police de l'eau, au nom du préfet.

La réglementation vient d'évoluer (ou est en passe de le faire) sur deux points qui concernent, en particulier, les barrages d'altitude :

– les ouvrages intéressant la sécurité publique sont désormais *obligatoirement soumis à autorisation* ;

– les exigences de surveillance par le maître d'ouvrages vont être modulées dans un prochain texte en fonction de l'importance des barrages et de la nature de l'occupation aval (alors qu'aujourd'hui les exigences sont plutôt de type « tout ou rien »).

Par ailleurs, pour faciliter l'instruction des dossiers d'autorisation et de déclaration des projets de barrages d'altitude et afin de contribuer à l'amélioration des études techniques de ces ouvrages, les auteurs ont rédigé, à la demande du ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD), un document technique « *Guide pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des barrages d'altitude* » (Cemagref-MEDD, 2006). Ce guide, disponible depuis juillet 2006, a été diffusé à l'ensemble des préfectures de département ayant à traiter des dossiers de barrages d'altitude. Il fixe plus particulièrement les préconisations en matière de ce qui doit être exigé par le service de police de l'eau, de la part du pétitionnaire, sur les aspects techniques de la sécurité de ces ouvrages et de leurs équipements.

Comme nous l'avons vu, les barrages réalisés en montagne présentent plusieurs difficultés particulières : forte pente des thalwegs et terrassements malaisés, valeur élevée du ratio volume de remblai/volume d'eau stockée, risque de déclenchement de glissements lors des terrassements ou après, risque d'avalanches ou de chutes de blocs dans la retenue, prise en glace de l'eau stockée, difficulté de la surveillance visuelle du fait de l'enneigement, fréquentation généralement forte en aval de la retenue... Ces ouvrages présentent donc des risques à la fois spécifiques et élevés. Ces risques sont encore accrus car, du fait de la taille généralement faible des ouvrages, il a été difficile – jusqu'à une période récente – de convaincre les acteurs de leur construction que pour autant, ils nécessitent des études préalables soignées et une très bonne technicité.

Autant de raisons ont conduit à réaliser un tel guide pour l'instruction des demandes d'autorisation ou des dossiers de déclaration de barrages d'altitude. Destiné aux services de police de l'eau, ce document rappelle les rôles et responsabilités respectives des maîtres d'ouvrages et des services de police de l'eau, propose un cadre de contrôle de la complétude des dossiers et de leur recevabilité technique, fixe les prescriptions à porter dans l'arrêté d'autorisation et indique les actions de contrôle liées à la réception des ouvrages.

Toutefois, ce guide a également pour vocation d'être transmis aux maîtres d'ouvrages (publics ou privés) et à leurs bureaux de conseils, intégralement ou partiellement, pour définir les cahiers des charges des différentes missions d'ingénierie à engager pour réaliser un projet de barrage d'altitude ou encore pour compléter un dossier « loi sur l'eau ». À cette fin, une annexe du guide est destinée principalement aux maîtres d'ouvrages. Elle ne constitue toutefois pas un référentiel technique pour la conception, la réalisation et l'exploitation de ces barrages, qui est envisagé à moyen terme (cf. ci-après « Projet de guide technique de recommandations »).

En définitive, ce qui est recherché à travers ce guide est une homogénéité dans le contenu des études et une amélioration de leur qualité, avec trois objectifs sous-jacents : (i) faciliter l'instruction des dossiers par les services de police de l'eau et une plus grande autonomie de ces derniers ; (ii) réunir les meilleures conditions de réalisation des études de conception, des travaux de construction puis d'exploitation et de maintenance des ouvrages ; (iii) au final, avoir des ouvrages présentant de meilleures garanties vis-à-vis de la sécurité publique.

Projet de guide technique de recommandations

Les maîtres d'ouvrages, publics ou privés, affichent un souci évident de faire construire des barrages d'altitude capables de durer dans le temps, sans présenter de risques pour les populations en aval (vis-à-vis de la rupture ou de la surverse du

remblai) et pour les skieurs, promeneurs ou agents d'exploitation évoluant à proximité des ouvrages (vis-à-vis des risques de chute et de noyade dans la retenue).

Les gestionnaires au quotidien de ces barrages sont, dans bien des cas, les agents des services chargés de la sécurisation du domaine skiable (déclenchement préventif des avalanches, surveillance et signalisation des pistes, secours aux blessés...). Très aguerris aux questions de sécurité et « habitués » en quelque sorte à surveiller des installations à risque, ils sont prêts à s'approprier des consignes d'inspection et de surveillance du (ou des) barrage(s) dont ils ont la charge sur leur station.

Ces deux catégories d'acteurs expriment donc un besoin fort de disposer d'un référentiel technique spécifique pour ce type particulier de barrages construits en montagne. À l'heure actuelle, un tel ouvrage spécifique n'existe pas en France, comme à l'étranger.

Aussi, vient de démarrer la rédaction, avec la participation d'un collège pluridisciplinaire d'experts, d'un guide technique de recommandations pour *la conception, la réalisation, l'entretien et la réhabilitation des barrages d'altitude*. Ce guide s'appuiera sur la bibliographie existante et couvrira un public allant des maîtres d'ouvrages aux bureaux d'ingénierie. Le montage financier de ce projet de guide est bouclé (soutiens acquis du conseil régional PACA⁸ et de la DIACT⁹) et la parution de l'ouvrage est prévue pour l'année 2008. □

8. Provinces-Alpes-Côtes-d'Azur.

9. Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires.

Remerciements

Les auteurs remercient la direction de l'eau du ministère de l'Écologie, ainsi que plusieurs DDAF et gestionnaires de barrages d'altitude, pour avoir encouragé, aidé ou permis les travaux et investigations cités dans cet article.

Résumé

Dans les stations de sports d'hiver, la construction de barrages destinés à stocker de l'eau pour la fabrication de neige de culture se multiplie depuis la dernière décennie. Implantés entre 1 300 et 2 500 m d'altitude et d'une hauteur moyenne d'une dizaine de mètres, ces barrages sont, dans leur grande majorité, étanchés par un dispositif d'étanchéité par géomembranes (DEG) sans protection (ou avec protection limitée à la partie haute des talus), recouvrant la face amont des remblais et l'ensemble de la cuvette. Dans des milieux aussi difficiles, la géomembrane est directement exposée à de multiples agressions : cycles gel-dégel, ultraviolets, chocs et tractions dus à la glace, chutes de pierres, mouvements de terrain, etc. S'appuyant sur une enquête dans un département de montagne et sur l'étude de quelques cas récents de désordres ou d'incidents, cet article présente les premiers retours d'expérience sur la sécurité et la pathologie de ces ouvrages et évoque les actions envisagées pour améliorer la pérennité des aménagements.

Abstract

In winter sports resorts, the construction of dams to provide water storage for the snowmaking have significantly increased over the last decade. These high-altitude dams ranging from 1,300 meters to 2,500 meters, about 10 m high, are mostly waterproofed with a Geomembrane Sealing System (GSS) over the upstream face of the embankment and the whole reservoir. If uncovered, the geomembrane is directly exposed to multiple attacks: freeze-thaw cycles, UV radiation, impacts and tensile stresses due to the floating ice, stone falls, slope sliding, etc. Integrating results from a technical survey in a department of the French Alps and relating some recent incidents, this paper presents a first feedback on safety of high-altitude dams and proposes some actions to improve it.

Bibliographie

- Cemagref-MEDD/Direction de l'eau, 2006, *Guide pour l'instruction des dossiers d'autorisation ou de déclaration des barrages d'altitude*, coordination : L. PEYRAS.
- CFG, 1991, *Recommandations générales pour la réalisation d'étanchéité par géomembranes*, Fascicule 10, www.cfg.asso.fr, 47 p.
- CFG, 2001, *Guide pour la réalisation de planches d'essais d'endommagement*, www.cfg.asso.fr, 16 p.
- CFG-CFGB, 2002, *Les géosynthétiques dans les barrages : matériaux et utilisations*, Actes du colloque technique commun CFG-CFGB, Saint-Étienne, Loire, 18-19 juin, 148 p.
- CIGB, 1991, *Étanchéité des barrages par géomembranes – Technique actuelle*, Bulletin 78, 140 p.
- CFG, 2003, *Présentation de méthodes de détection de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes*, www.cfg.asso.fr, 44 p.
- DEGOUTTE, G., 1997, coord., *Petits barrages – Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi*, CFGB, co-édition ENGREF-Cemagref Éditions.
- MÉRIAUX, P., 2005, Sécurité des barrages d'altitude pour l'alimentation d'installations de neige de culture, *Cahier spécial « Risques » de la revue de l'IPGR (CD-ROM)*.