

2/2004

aquaterra

Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**

SECURITE DES BARRAGES

**Tous les risques
sont sous
contrôle**





Henri Pougatsch, chef de la section barrages, OFEG

En Suisse, les ouvrages d'accumulation sont sûrs

Il y a 50 ans déjà, la Confédération a pris les premières dispositions en vue d'assurer la sécurité des ouvrages de retenue, dispositions qui depuis lors sont continuellement adaptées en collaboration avec les exploitants. Les barrages en béton et en remblai, comme presque tous les grands ouvrages techniques, représentent un facteur risque. On ne peut jamais exclure un écoulement incontrôlé d'une importante masse d'eau – que ce soit suite à une rupture de barrage, en raison d'un éboulement d'une masse rocheuse ou d'un glissement de terrain dans un bassin de retenue. En Suisse, le risque de tels cas de figure est néanmoins très faible.

Les connaissances scientifiques, les possibilités techniques et le savoir-faire pratique acquis lors du boom de la construction entre 1950 et 1970 n'ont pas cessé de se développer, apportant également un gain de sécurité aux anciens barrages. Depuis des décennies, lors de la planification et de la construction d'ouvrages d'accumulation, on veille à ce que ces derniers supportent toutes les charges non seulement lors de l'exploitation normale, mais aussi lors de situations extrêmes, telles que des tremblements de terre importants.

La surveillance des barrages en béton et en remblai prescrite par l'OFEG garanti la détection de la moindre déviation du comportement normal. En 1978, les déformations du barrage de Zeuzier, rapidement mises en évidence, ont montré l'efficacité des mesures de sécurité et de la gestion des crises lors de situations exceptionnelles. En cas de danger, notre pays dispose de systèmes d'alarme performants en cas d'urgence.

Au lieu d'accroître les risques – ce qui est fréquemment craint – les ouvrages d'accumulation confèrent une sécurité accrue lors de fortes précipitations, spécialement en région montagneuse en contribuant à l'amélioration de la protection contre les crues.

De plus en plus, les lacs d'accumulation sont gérés de manière à ce que, lors de situations météorologiques critiques, ils puissent retenir d'importants volumes d'eau, en vue d'écrêter les débits de pointe et ainsi atténuer les crues dans les vallées.



Bien surveillés

En Suisse, il y a plus de 1000 ouvrages d'accumulation, destinés pour la plus grande partie d'entre eux à l'utilisation de la force hydraulique. Pour minimiser les risques de submersion des régions situées en aval, la conception, la construction et l'exploitation des grands barrages sont placés sous la surveillance de l'OFEG. **Page 3**



Risque sismique?

En Suisse, lors de séismes de forte intensité, de nombreux bâtiments situés près de l'épicentre s'effondreraient. Les barrages en béton et en remblai par contre seraient peu menacés. Grâce à leur conception, ils sont capables de reprendre les forces horizontales, telles qu'elles surviennent lors d'un séisme, contrairement à nombre d'immeubles. **Page 8**



NLFA sous contrôle

La construction de tunnels peut entraîner des tassements du terrain en surface, lorsque la pression hydrostatique dans le massif rocheux baisse, en raison d'un effet de drainage. La Confédération a multiplié ses contrôles, afin de protéger les quatre barrages situés près des nouveaux tunnels ferroviaires du Gothard et du Lötschberg. **Page 11**

Lors d'une catastrophe, les grands ouvrages d'accumulation risquent d'inonder de grands territoires et provoquer d'énormes dégâts. Pour éviter un tel scénario, la Confédération veut maintenir les risques résiduels au plus bas. En ce qui concerne la protection des personnes et des objets de valeurs à l'aval d'une retenue, ses exigences dans le domaine de la sécurité des barrages sont très strictes. C'est l'OFEG qui est responsable de la surveillance de plus de 200 ouvrages d'accumulation.

La population peut dormir sur ses deux oreilles

Le barrage de Cleuson en Valais: en Suisse tous les grands ouvrages de retenue sont conçus de manière à pouvoir résister également à des charges exceptionnelles.

Le 9 octobre 1963 lors d'un match de qualification pour la ligue des champions, le club de football Real Madrid rencontre l'équipe écossaise du Glasgow Rangers. A Longarone, village situé au pied sud des Dolomites, de nombreuses personnes se sont rassemblées dans le bar du village pour suivre le match à la télévision. Tenus en haleine par le match, personnes ne se doutent de la catastrophe qui se prépare tout près d'eux au barrage du Vajont, et qui cette nuit allait tous les décimer.

A 22 heures 39, un énorme éboulement s'est produit au Mont Toc. Une immense masse de terre et de rochers déstabilisée par les eaux du nouveau lac d'accumulation s'est mise à glisser sur plus de deux kilomètres terminant sa course dans le bassin d'accumulation. Evaluée à 260 millions de mètres cubes, cette masse a provoqué une gigantesque vague qui s'est fracassée contre le barrage haut de 262 mètres. En quelques secondes, les masses d'eau ont avalé la partie inférieure d'Erto, ainsi que le cœur de Casso. Puis 25 millions de mètres cubes d'eau projetés par-dessus le barrage en béton se sont engouffrés, quelques centaines de mètres en contrebas, dans l'étroite gorge du val Piave. Un court-circuit éclairant la vallée comme en plein jour, a été suivi par un souffle qui n'a épargné ni les hommes ni les ani-

maux. Cinq minutes après l'éboulement rocheux, une vague de 70 mètres de haut s'est abattue sur Longarone et les communes avoisinantes et a déferlé dans la vallée en décimant la population. Plus de 2000 personnes ont perdu la vie dans la catastrophe – quelques cadavres ont été entraînés jusque dans l'Adriatique.

Non-respect de tous les signaux d'alarme

Le barrage, terminé en 1960, a résisté à la catastrophe sans subir de gros dommages. Aujourd'hui encore, on peut voir dans les Dolomites ce monument, témoin d'une grave erreur de conception, car jamais à cet endroit un lac d'accumulation n'aurait dû être créé. Déjà avant la construction de l'ouvrage de retenue du Vajont, une expertise



Dans le Val Varuna au-dessus de Poschiavo GR, ces barrages en remblai (à gauche) protègent la vallée des avalanches et des laves torrentielles. L'eau de la retenue sur l'Alp Dado GR est utilisée pour l'enneigement artificiel.

géologique avait montré le manque de stabilité des versants de son bassin. Et en 1960, lors du premier essai de mise en eau, un important pan de rocher s'était détaché et avait glissé dans le bassin de retenue. La société électrique responsable savait que des chemins s'étaient déplacés de plusieurs mètres et que de nouvelles fissures s'étaient formées dans le Monte Toc, mais elle avait sous-estimé toutes les mises en garde – jusqu'à ce que ce fût trop tard.

Impossible en Suisse

«Le risque nulle n'existe pas, mais une telle catastrophe ne pourrait pas se produire chez nous», assure Henri Pougatsch, chef de la section barrages à l'OFEG. «En Suisse depuis des décennies, le haut standard de sécurité garantit une bonne protection de la population». Avec son équipe composée de cinq collaborateurs, l'ingénieur en génie civil s'occupe essentiellement de la sécurité des 212 grands et moyens ouvrages d'accumulation que compte notre pays, et qui sont placés sous la surveillance de la Confédération. En cas de défaillance, les ouvrages d'accumulation peuvent occa-

sionner d'énormes dégâts» constate Henri Pougatsch. «Ce qui justifie les exigences sévères imposées au niveau du projet, de la construction, de l'exploitation et du contrôle de tels aménagements».

Plus le volume d'un bassin d'accumulation est grand, plus les conséquences en cas de rupture seront graves pour les personnes vivant en aval. Raison pour laquelle les contraintes de sécurité sont particulièrement sévères. L'OFEG surveille tout ouvrage qui dépasse de 10 mètres le niveau d'étiage, ou le niveau du terrain. Sont aussi répertoriés les barrages à partir d'une hauteur de 5 mètres, si leur capacité de stockage atteint les 50'000 mètres cubes. Depuis 1999, l'Ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation prévoit aussi la surveillance des ouvrages de moindres dimensions, s'ils représentent un danger particulier pour les personnes ou les biens.

Première priorité: la sécurité structurale

86 pour cent des ouvrages d'accumulation soumis à la surveillance de l'OFEG

servent à la production d'énergie hydroélectrique. Parmi ceux-ci, nombreux sont ceux qui datent de l'époque du boom de la construction entre 1950 et 1970. Les producteurs d'électricité ont alors érigé des douzaines de grands barrages dans les Alpes – dont les œuvres les plus imposantes culminent à plus de 200 mètres: Grande Dixence VS, Mauvoisin VS, Contra TI et Luzzzone TI.

La Confédération suit activement les projets, dès leur conception. La sécurité structurale des barrages représente un des trois piliers du concept de sécurité. En Suisse, chaque barrage soumis à la surveillance de la Confédération doit être conçu et réalisé de manière à ce qu'il soit en mesure de résister à tous les cas de charges prévisibles. Pour cela les ingénieurs civils doivent tenir compte de facteurs tels que le poids propre de l'ouvrage, la poussée de l'eau et celle des sédiments ou les influences climatiques. Mais aussi les conséquences possibles d'événements naturels tels que crues, laves torrentielles, glissements de terrain, éboulements rocheux, chutes de glaciers, avalanches et tremblements de terre, – doivent être pris en compte dès le début de la conception de tels ouvrages.



La sécurité structurale de l'ouvrage de retenue est assurée: travaux d'entretien du bassin d'Airolo TI (à gauche) et assainissement du barrage en béton de Zeuzier VS (à droite) après sa fissuration suite à la construction d'une galerie de sondage.

Tirer les leçons des accidents ayant eu lieu à l'étranger

La catastrophe de Malpasset près de Fréjus, dans le sud de la France, survenue en 1959, a montré combien étaient importants les travaux de reconnaissances au stade du projet. Un barrage-voûte de 59 mètres de hauteur fût érigé dans les années 50 au-dessus de cette ville pour constituer un réservoir d'eau potable. Les fondations du barrage étaient ancrées dans une roche gneissique, dont la perméabilité s'est fortement réduite suite à la pression exercée par l'eau. Sous les fondations, la pression interstitielle a augmenté parallèlement au remplissage, mettant en péril l'équilibre de l'ouvrage. Lors de la première mise en eau, peu avant d'atteindre le remplissage maximal, de fortes précipitations ont fait monter en peu de temps le niveau du lac de 4 mètres, augmentant par-là même les sous-pressions. Le 2 décembre au soir, le massif de fondation s'est soulevé entraînant la rupture du barrage. Les flots ont précipité 423 personnes dans la mort. Ici également, des semaines avant l'accident, on avait détecté des fissures dans la partie inférieure du bar-

rage, qui n'avaient pas été inspectées de plus près.

«La première mise en eau est toujours la phase la plus délicate. Raison pour laquelle le remplissage d'un nouvel ouvrage se fait toujours par étapes», commente Henri Pougatsch. «Ceci est valable aussi lorsqu'on augmente la capacité d'une retenue par le rehaussement d'un barrage existant». Les graves événements, tels qu'ils sont survenus en Italie et en France, ont permis aux ingénieurs et aux autorités de surveillance de tirer de précieuses leçons.

La vidange de fond sert d'écluse de sécurité

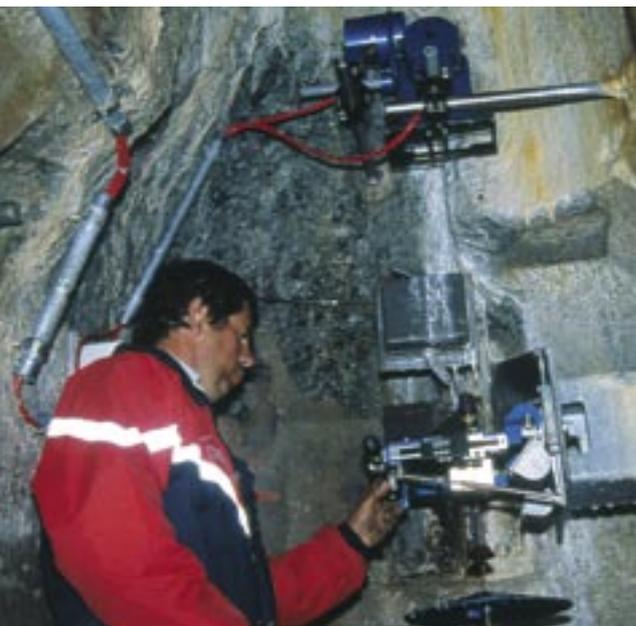
Dans notre pays, la vidange de fond obligatoire fait partie des mesures de sécurité structurales. L'exploitant peut alors rapidement abaisser le niveau d'un bassin d'accumulation, voire vidanger totalement une retenue dans les délais les plus courts, lorsqu'un danger de submersion du couronnement, ou pire encore, une rupture de barrage menace. En plus, la Confédération exige pour chaque ouvrage d'accumulation un évacuateur de crues, permettant le passage

de crues avec sécurité, même lorsque le bassin est plein.

En août 1978, le barrage de Palagnedra au Tessin a été l'objet d'une telle situation de crue. D'intenses précipitations ont amené 2000 mètres cubes d'eau par secondes dans le bassin d'accumulation. L'ouvrage d'évacuation, dimensionné pour seulement 800 mètres cubes par seconde, était de plus obstrué par des bois flottants, ce qui entraîna un déver-

Plus de 1000 ouvrages d'accumulation

En Suisse, il y a plus de 1000 ouvrages d'accumulation. La plupart d'entre eux servent de bassin d'accumulation d'eau pour la production d'énergie. Les retenues sont aussi importantes pour l'approvisionnement en eau, l'irrigation, l'enneigement artificiel, l'élevage de poissons ou la régulation des cours d'eau. Les ouvrages d'accumulation sont destinés à retenir non seulement de l'eau, mais aussi des alluvions, de la glace, des avalanches de neige ou des matières en suspension telles que du sable.



Surveillance minutieuse des barrages: contrôle des déformations du barrage-poids de la Grande Dixence VS (à gauche), mesure de l'eau d'infiltration au barrage d'Isel GR (au milieu) et surveillance des mesures d'inclinaison au barrage de Molina GR (à droite).

sement par-dessus le couronnement et une érosion latérale. La crue s'est heureusement atténuée avant que des dégâts plus graves n'affectent le barrage. Suite à cet incident, de nombreux ouvrages d'accumulation ont dû être contrôlés concernant leur capacité d'évacuation, et sur ordre de la Confédération certains d'entre eux ont dû être adaptés structurellement pour répondre à une plus grande sécurité lors d'événements exceptionnels.

Les problèmes rencontrés avec les petits ouvrages

Actuellement, l'accompagnement des projets par l'OFEG consiste surtout à contrôler les études et travaux de transformation et d'augmentation de capacité, ainsi que d'assainissements d'ouvrages existants (par exemple les chantiers de la Maigrauge FR, Mühleberg BE et Wettingen AG). Car depuis 1970, seuls de rares ouvrages d'accumulation ont été construits pour la production d'énergie. Actuellement, on construit presque exclusivement des barrages pour la protection contre les crues, l'enneigement

artificiel, et la rétention des sédiments. Même si les réservoirs d'eau des canons à neige représentent de petits volumes, l'OFEG a dû intervenir à différents niveaux pour des raisons de sécurité. «Maints projets ne respectaient pas les règles de construction», déplore Henri Pougatsch. «Souvent on a omis de faire appel à un ingénieur expérimenté». Au Lauberhorn, au-dessus de Wengen BE, afin de garantir la sécurité, on a été contraint de réduire la capacité de stockage d'eau prévue.

Surveillance régulière des ouvrages d'accumulation

Le deuxième pilier du concept suisse de sécurité consiste en une surveillance régulière et précise de l'ouvrage d'accumulation. «Afin de détecter le plus tôt possible toute modification dans le comportement des barrages, de leurs fondations, ou de leurs environs, ceci afin de reconnaître à temps toute entrave à la sécurité», explique Henri Pougatsch. Les exploitants doivent régulièrement procéder à l'examen de l'état de leurs installations par des mesures et

des contrôles visuels. Sont par exemple analysés, les déformations des ouvrages de retenue, les eaux de percolation, le comportement des fondations, les sous-pressions le bon fonctionnement des organes de décharge, ou les dangers naturels qui peuvent survenir dans la région de la retenue. Outre les contrôles de routine effectués par le personnel exploitant et des ingénieurs civils spécialisés, des experts et l'OFEG, en tant qu'autorité de haute surveillance pour les grands barrages, effectuent des inspections périodiques de la sécurité des installations. Les expertises concernant les grands ouvrages sont effectuées tous les cinq ans. La Confédération peut encore exiger des analyses spécifiques concernant par exemple d'anciens ouvrages et la sécurité face à des événements naturels.

Examen réussi

L'efficacité de ces contrôles a été démontrée en 1978 au barrage de Zeuzier, au-dessus de Sion. Début décembre, des mesures ont révélé qu'en l'espace d'un mois, le couronnement du barrage-voûte s'était déplacé de cinq millimètres



Grâce à la transformation de l'évacuateur de crue du barrage en remblai de Mattmark VS, une réserve supplémentaire pour la protection contre les crues a pu être créée (à gauche). Des grands lacs d'accumulation – tels que Mauvoisin VS (à droite) – peuvent écrêter des crues en emmagasinant l'eau, ou en la dérivant vers d'autres vallées.

en direction de la retenue, et non vers la vallée ce qui est habituel en automne à réservoir plein.

Les travaux de perforation d'une galerie de reconnaissance entrepris dans la région pour le projet du tunnel routier du Rawil, ont dû être suspendus en raison de déformations toujours plus marquées du barrage. Ces travaux avaient entraîné des tassements du soubassement rocheux et provoqué d'importantes fissures dans la voûte. Le bassin d'accumulation a été entièrement vidé, les fissures ont été réparées dans les règles de l'art, et la retenue a ensuite pu être remise en eau. Depuis lors, le barrage se comporte tout à fait normalement.

Plan d'urgence

«Malgré toutes les mesures de prévention, une situation de danger ne peut pas être totalement exclue», explique Henri Pougatsch. «Le troisième pilier de la sécurité consiste en un plan d'urgence, afin que les habitants vivant au-dessous d'un barrage puissent être informés et le cas échéant évacués à temps». Les 62 ouvrages d'accumulation présentant une

capacité de retenue de plus de 2 millions de mètres cubes ont été équipés d'un système d'alarme eau doté de sirènes spéciales dans la zone rapprochée. En cas d'urgence sont alarmées toutes les personnes habitant dans des zones qui, en cas de rupture soudaine d'un ouvrage de retenue, risquent d'être inondées en deux heures au plus. Dans la région de Martigny VS, par exemple, située à l'aval de plusieurs grandes retenues, la population disposerait, en cas de rupture d'un barrage – selon le plan d'évacuation local – de 20 minutes pour fuir et se réfugier sur les versants limitrophes.

Les bassins d'accumulation œuvrent pour la protection contre les crues

Les barrages avec leur grande importance économique pour les Alpes suisses ne représentent pas seulement un facteur risque, ils représentent aussi un aspect positif particulièrement en situations de crise. En effet, selon la saison et leur niveau de remplissage, les lacs d'accumulation peuvent emmagasiner beaucoup d'eau lors de fortes précipitations, et ainsi atténuer les crues dans

les vallées latérales et les plaines. Lors de la crue de septembre 1993, alors que la situation dans la vallée de Matter était des plus critiques, on a pu dériver près de 160'000 mètres cubes d'eau par heure dans le bassin d'accumulation de la Grande Dixence. En octobre 2000 également, l'état-major de crise valaisan a utilisé les ouvrages de retenue pour atténuer les débits de pointe. La recrudescence des précipitations hivernales, réduit la nécessité de remplir totalement les retenues dès l'automne. On dispose ainsi d'une marge pour la gestion des crues, sans pour autant prêter les exploitants.

Internet:

- www.bwg.admin.ch > barrages
- www.swissdams.ch
- www.vaw.ethz.ch
- www.katarisk.ch



Même d'intenses séismes ne provoqueront pas l'effondrement d'un barrage

En Valais, malgré le risque sismique élevé, même de fortes secousses sismiques ne parviendraient pas à mettre en péril le barrage d'Emosson, au-dessus de Martigny. Ceci est valable pour tous les autres grands ouvrages de retenue du pays.

A nulle part ailleurs en Suisse il n'y a eu, au cours des siècles passés, autant de séismes qu'en Valais. Et c'est paradoxalement dans une des régions les plus menacées de notre pays que se trouvent les plus grands barrages. Mais les spécialistes demeurent confiants, car contrairement aux immeubles, les murs de retenue et les digues sont conçus pour absorber les forces horizontales. Ils pourraient donc résister à celles provenant d'un tremblement de terre de forte intensité sans essuyer de gros dégâts.

Avec ses 285 mètres de hauteur, le barrage-poids de la Grande Dixence, situé tout au fond du Val d'Hérémence en Valais, peut retenir jusqu'à 400 millions de tonnes d'eau. Près de 6 millions de mètres cubes de béton - ce qui représente plus du double du volume de la pyramide égyptienne de Chéops - résistent à l'énorme poussée de l'eau. La construction du barrage, terminée en 1961, a duré près de 10 ans. En son pied, le mur atteint une épaisseur de 198 mètres. Lorsque la retenue est pleine, l'énorme charge exercée par l'eau provoque un déplacement du couronnement vers l'aval qui peut dépasser les 10 centimètres.

Mais la Grande Dixence n'est pas la seule à battre tous les records en matière

de force hydraulique. Le Valais produit, en moyenne, 27 pour cent du courant issu des centrales hydro-électriques indigènes. Il se trouve ainsi clairement en tête des cantons producteurs devant les Grisons. Les ouvrages de Mauvoisin, Emosson, Zeuzier, Moiry, Gebidem et Mattmark se trouvent également en tête de la liste des plus grands barrages.

Activité sismique accrue

En Suisse, il se trouve que le Valais est aussi la région où la terre a le plus tremblé au cours des derniers siècles. Le dernier grand séisme a secoué la région de Viège en 1855 - à une époque où il n'y avait pas encore de grands murs de retenue ou de

grandes digues. Cette activité sismique élevée dans les Alpes est due à la collision avec le continent eurasien de la plaque africaine, qui se dirige vers le nord. Ce télescopage engendre d'énormes contraintes qui broient et plissent les roches aux limites des plaques. Les séismes se produisent lorsque les contraintes accumulées se dissipent, par saccades.

Les ouvrages de retenue résistent même aux intenses séismes

Les forces d'inertie horizontales générées par les séismes affectent avant tout des ouvrages tels les bâtiments et les ponts, qui y sont très sensibles. En l'absence de mesures constructives parasismiques

particulières, ces ouvrages sont en général conçus de façon à ce que la structure porteuse transmette le poids propre et les charges utiles dans les fondations. Ils ne peuvent cependant transmettre les forces horizontales que de manière restreinte, et les ouvrages non protégés risquent de s'effondrer lors d'intenses séismes.

«Les barrages sont conçus de manière totalement différente», explique Georges Darbre, responsable des études spéciales à la section des barrages auprès de l'OFEG. «Leur fonction statique principale est d'absorber les forces horizontales générées par la pression des masses d'eau et de les diriger vers les fondations. Parce que les murs de retenue et les digues sont construits pour résister aux charges horizontales, ils peuvent bien mieux supporter les forces d'inertie engendrées par un séisme». Seules les digues composées de matériaux supportant mal les secousses sismiques en raison de leur mode de construction peuvent se révéler critiques, le corps d'appui de la digue ayant alors tendance à se liquéfier. Ce mode de construction particulier n'a jamais été utilisé en Suisse.

Importantes réserves de portance

Jusqu'à présent, on ne connaît, de part le monde, aucun cas de rupture de barrage dû à un séisme qui ait entraîné la mort. «Les barrages bien conçus disposent d'une réserve de portance considérable», explique Georges Darbre.

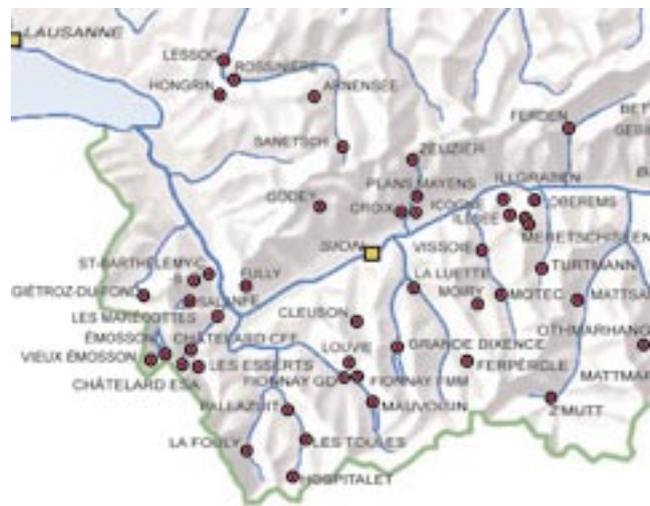
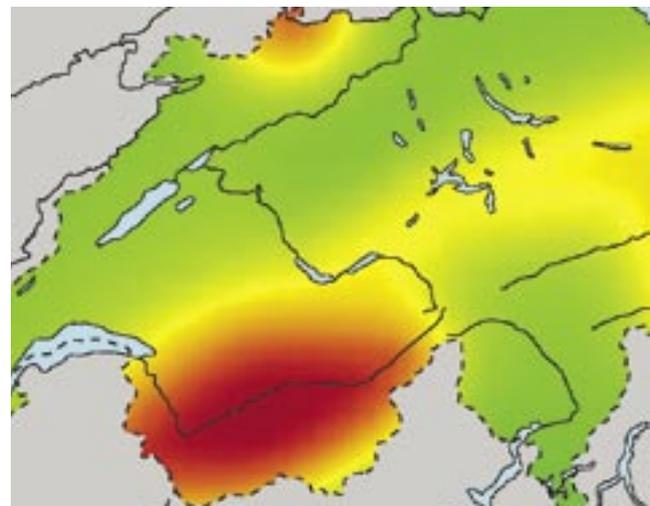
Le 20 juin 1990, un violent séisme d'une magnitude de 7,5 sur l'échelle de Richter a fait près de 40'000 morts dans le nord-ouest de l'Iran. Le barrage à contreforts de Sefid-Rud, d'une hauteur de 106 mètres, a résisté à des mouvements du sol extrêmes, qui se situaient bien au-delà des valeurs de dimensionnement. Des dégâts importants ont certes été occasionnés à la partie supérieure du barrage. Ils ont cependant pu être réparés, et l'ouvrage d'accumulation a rapidement été remis en service.

Armé pour affronter des événements extrêmes

Dans notre pays, aucun barrage n'a été jusqu'ici soumis à de fortes secousses sismiques. Le séisme le plus important du dernier millénaire survenu en Europe au nord de l'arc alpin, qui a entièrement détruit la ville de Bâle en 1356, a atteint une magnitude d'environ 6,9 sur l'échelle de Richter. Pour parer aux situations les plus extrêmes, les grands barrages doivent, en Suisse, pouvoir résister aux séismes les plus intenses d'une période de retour de 10'000 ans. Un événement d'une telle ampleur occasionnerait pourtant des mouvements plus faibles que ceux du tremblement de terre catastrophique de 1990 en Iran. Le risque potentiel est généralement le plus élevé lorsque les retenues sont pleines. Les bassins d'accumulation alpins n'étant cependant remplis que pendant les quelques mois d'automne, le risque pour les riverains en aval en est encore une fois réduit. On ne doit donc pas craindre un écoulement incontrôlé des eaux en raison de la défaillance d'un barrage.

L'apparition de fissures demeure possible

Des fissures pourraient toutefois apparaître et des joints s'ouvrir dans la partie supérieure d'un mur de retenue, qui est la zone la plus sollicitée lors d'un tremblement de terre. La faible poussée d'eau prévalant au niveau du couronnement ferait cependant que la quantité d'eau relâchée soit faible. «De plus, il faut s'attendre à ce que de telles fissures et de tels joints se referment en grande partie d'eux-mêmes après un séisme, par l'effet du poids propre du barrage», explique l'ingénieur civil Martin Wieland, président du comité des aspects sismiques des projets de barrage de la commission internationale des grands barrages (ICOLD). En cas d'apparition de fissures, le niveau d'eau d'une retenue



Les bâtiments sont bien plus sensibles aux séismes que les barrages. La grande concentration de barrages en Valais ne représente pas un danger, et ce malgré un risque sismique accru dans cette région.



Même le bassin versant de la retenue est régulièrement surveillé, pour parer à toute chute de rochers (en haut). Des instruments de mesures enregistrent les secousses sismiques au barrage de Mauvoisin (en bas).

serait aussitôt abaissé pour des raisons de sécurité.

Ce sont les vieux barrages en rivière, avec leur structure supérieure aérienne, qui sont les plus menacés. Il est en effet concevable que leurs piliers élancés et le pont de service sur lequel se trouvent souvent de lourdes machines, s'écrouleraient lors d'intenses secousses sismiques. Seules les parties supérieures des installations, derrière lesquelles ne se trouve pas d'eau, seraient cependant touchées.

De grands glissements de terrain ou des effondrements rocheux dans le secteur de la retenue, dus à un fort séisme, sont presque aussi dangereux que la rupture d'un mur de retenue ou d'une digue. En particulier, lorsque la retenue est pleine, la vague ainsi provoquée pourrait passer par-dessus le barrage. Les flancs des retenues sont, de ce fait, régulièrement contrôlés.

Encore beaucoup de questions en suspens

En Suisse, la sécurité parasismique des ouvrages de retenue fait partie intégrante des évaluations standard de la sécurité depuis des décennies. La recherche dans le domaine du comportement des barrages lors de séismes a pourtant fait d'énormes progrès depuis la période de la construction de la plupart des barrages. En cela, les critères et les méthodes de dimensionnement parasismique des barrages ont aussi considérablement évolué.

Beaucoup de questions restent en suspens malgré les nouvelles connaissances. Par exemple, on connaît peu la manière dont les oscillations provoquées par un séisme attaquent un barrage dans l'espace et comment le béton et la roche, sur laquelle le mur repose, se comportent lors de fortes sollicitations. Pour tenter de répondre à ces questions, la Confédération finance depuis 1982 des projets de recherche sur le comportement des barrages lors de tremblements

de terre. Ces dernières années, l'accent a été mis sur l'observation scientifique des oscillations in situ. A cet effet, quelques grands barrages ont été équipés d'un réseau d'instruments destinés à mesurer les accélérations des ouvrages. Ils doivent fournir avant tout des indications sur les propriétés dynamiques des barrages-poids et des barrages-voûtes, les plus répandus dans notre pays, et montrer ce qu'il se passe au niveau de la surface de contact entre le barrage et sa fondation.

Évaluation de la sécurité après chaque séisme

L'OFEG, en tant qu'Autorité de haute surveillance, est aussitôt avertie lorsqu'un séisme d'une magnitude de 3 ou plus sur l'échelle de Richter frappe la Suisse ou une région limitrophe. L'annonce est faite par le service sismologique suisse basé à Zurich, par l'intermédiaire de la centrale nationale d'alarme. «Nous effectuons aussitôt des calculs pour déterminer auprès de quels barrages l'intensité de 4 a été atteinte, puis nous informons les exploitants des ouvrages concernés et ordonnons des contrôles exceptionnels des ouvrages», explique Georges Darbre. «Cela arrive plusieurs fois par année». Souvent, le personnel d'exploitation a lui-même ressenti les secousses sismiques et a, de son propre chef, déjà initialisé les examens de sécurité. «Jusqu'ici, aucun dégât quelconque n'a jamais été relevé lors de tels contrôles, ni aucun comportement anormal constaté », confirme Georges Darbre.

Internet:

- www.sgeb.ch
- www.bwg.admin.ch > dangers naturels > séismes
- www.seismo.ethz.ch
- www.eaee.org
- www.iaee.or.jp

La construction des tunnels pour les nouvelles traversées alpines du Gothard et du Lötschberg ne doit pas engendrer de répercussions négatives sur les quatre ouvrages de retenue situés près des deux tracés NLFA. La Confédération a donc renforcé la surveillance des barrages de Santa Maria, Curnera, Nalps et Ferden. Grâce aux mesures supplémentaires de contrôle, tout mouvement suspect en surface et ses conséquences possibles sont rapidement détectés.



La construction des NLFA ne doit pas menacer les barrages

Construction du nouveau tunnel ferroviaire du Gothard près de Sedrun GR. Des mesures de surveillance supplémentaires garantissent la sécurité des ouvrages d'accumulation situés à proximité.

La construction d'un tunnel dans une roche faillée et saturée en eau peut entraîner d'importantes modifications des conditions hydrogéologiques. «L'effet de drainage abaisse fortement la pression de l'eau dans la roche, et conduit à la fermeture des failles, ce qui peut entraîner des tassements considérables en surface», explique Rudolf Müller, spécialiste en barrages auprès de l'OFEG. Fin 1978 des mesures de pendule au barrage-voûte de Zeuzier VS ont montré des déformations inhabituelles. Elles étaient dues à un tassement général du sol, formant une cuvette s'étendant sur 2 à 3 kilomètres. Le tassement au niveau du barrage atteignait 13 centimètres. Les flancs de la vallée s'étaient aussi rapprochés de près de 8 centimètres. D'après les géologues et les ingénieurs

ces mouvements – ainsi que les fissures dans la voûte – étaient dus au drainage du soubassement rocheux, induit par la construction de la galerie de sondage pour le tunnel du Rawil. Dès lors, le bassin d'accumulation a rapidement été vidé pour des raisons de sécurité et le barrage assaini à grands frais.

De tels tassements ont été observés dans la région de la route du col du Saint Gothard, suite à la construction du tunnel routier.

Autorités prévenues

Les autorités fédérales ont été prévenues déjà lors du projet des nouvelles transversales alpines NLFA. Sur sol grison, le tracé du tunnel de base du Gothard concerne trois barrages-voûtes: Santa

Maria, Curnera et Nalps des Forces hydrauliques du Rhin antérieur (KVR). Au Lötschberg, le tunnel de base et la fenêtre d'accès de Ferden à proximité du barrage du même nom au Lötschental. L'OFEG, associé à l'Office fédéral des transports, a décidé de surveiller de près ces quatre barrages, déjà au début des années 90. Ceci dans le but de détecter à temps tout mouvement de sol et déformation inhabituels des barrages, de leurs appuis ou de leur environnement. Ces contrôles supplémentaires servent non seulement de preuves à futur, mais aussi de système d'alarme.

Selon la volonté de la Confédération, les nouveaux tunnels, galeries et puits ne doivent ni menacer la sécurité des barrages, ni entraîner des pertes d'eau des retenues.



Mesure de distances, au millimètre près entre les versants du bassin d'accumulation de Santa Maria GR.

Pas des problèmes au Lötschberg

Alors qu'à Sedrun GR, les mineurs n'avaient pas encore atteint la zone critique de percement, le tunnel de base et la galerie d'accès dans le secteur du barrage de Ferden étaient déjà complètement excavés. «Comme l'avaient bien montré les mesures des eaux d'infiltration effectuées dans le tunnel, l'apport se situait bien au-dessous des valeurs pronostiquées, il n'y avait donc aucun problème», constate Rudolf Müller. «Si de plus importantes infiltrations d'eau devaient se produire, le maître d'oeuvre devrait étanchéifier la roche pour limiter l'effet de drainage et donc le risque de tassement de terrain.»

En surface également, ni les contrôles de variations altimétriques effectués à l'aide d'instruments de nivellement, ni les mesures de distances entre les flancs et les appuis du barrage n'ont montré des déformations sortant de l'ordinaire.

Les tassements mettent surtout en péril les grandes constructions

Au Gothard, le percement du tunnel est accompagné de mesures constructives efficaces contre les infiltrations d'eau. Les spécialistes considèrent dès lors l'apparition de tassements comme

peu probable. Mais ils ne sont pas totalement exclus. «Les ouvrages implantés en surface ne seront touchés que si des mouvements d'amplitude variable se font ressentir au niveau de leurs fondations», explique Rudolf Müller. «Les grands ouvrages tels que les barrages y sont plus sujets que les petites constructions.» Des fermetures, des ouvertures ou des cisaillements des flancs de la vallée dans lesquels les ouvrages de retenue sont ancrés, peuvent entraîner une surcharge excessive. Généralement, les barrages-voûtes sont plus sensibles aux mouvements du sol que les digues ou les barrages-poids.

Surveillance au niveau du projet du Gothard

Au Gothard, le contrôle élargi des barrages se fait à trois niveaux. Le premier niveau s'intègre dans l'activité de surveillance ordinaire, tel qu'il est préconisé par le concept de sécurité de l'OFEG pour tous les barrages du pays. De plus, les barrages de Nalps, Curnera et Santa Maria sont équipés d'installations de mesures, qui enregistrent les éventuelles déformations au niveau des barrages, de leurs fondations, ainsi que les sous-pressions et les drainages. Ce sont les exploitants des forces hydrauliques du Rhin

antérieur (KVR) qui en sont responsables, et qui entreprennent le premier contrôle des résultats.

Le second niveau consiste en un déploiement de mesures des déformations horizontales et verticales dans la région du barrage. Ces mesures permettent de détecter à temps les éventuelles déformations du terrain engendrées par les ouvrages souterrains. Le dépouillement de ce programme de mesures défini par l'OFEG se fera sous sa direction en collaboration avec ses experts. Ces deux niveaux de contrôle se complètent et forment les principes de base de la surveillance des barrages.

De plus, le maître d'oeuvre du tunnel de base et la KVR disposent de systèmes de mesures et de surveillance supplémentaires. Le but de ce troisième niveau consiste dans un premier temps à déterminer le comportement hydrogéologique probable, ceci dans le but de tester ou de mettre en place les mesures adéquates lors de la percée du tunnel. En outre, les barrages, les coupes transversales des vallées, les mouvements verticaux et d'autres points situés dans le secteur du barrage sont mesurés quasi en permanence et de façon étendue.

Contrôles à long terme

L'OFEG prévoit de poursuivre un certain temps, même après la fin de la construction, le programme de mesures du système de surveillance élargi. «Dans certaines circonstances, les tassements de terrain pouvant se faire à retardement, la Confédération poursuivra ses contrôles, notamment en ce qui concerne les variations par rapport au comportement normal», précise Rudolf Müller.

Internet:

- www.bav.admin.ch > Projets > NLFA

Été caniculaire 2003 en rétrospective

L'été 2003 chaud et sec a eu d'importantes répercussions sur les cours d'eau et leur exploitation. On a ainsi constaté une fonte exceptionnelle des glaciers; dans les bassins versants sans glaciers, les lacs et les cours d'eau ont atteint de très faibles niveaux, et les températures de l'eau ont atteint des valeurs exceptionnellement élevées. En maints endroits, il y a eu des hécatombes parmi les poissons d'eaux froides – dans le Rhin en aval du lac de Constance plus de 50'000 ombres de rivière ont péri.

Les offices fédéraux OFEFP et OFEG, ainsi que MétéoSuisse ont documenté cet événement et ses conséquences dans une publication commune. Le rapport «Canicule de 2003; conséquences sur les eaux» contient de nombreuses

analyses statistiques et apporte une vision globale du phénomène tant au spécialiste qu'au profane. Les résultats révèlent aussi que des événements exceptionnels de ce type ne peuvent être placés dans un contexte général qu'avec des données représentatives et sur un long terme.

Diffusion: OFEFP, Documentation, 3003 Berne, docu@buwal.admin.ch (Numéro de commande SRU-369-F) www.buwalshop.ch (à télécharger) Informations complémentaires: adrian.jakob@bwg.admin.ch

Lit de cours d'eau asséché dans l'Emmental BE, lors de l'été caniculaire 2003.



Aménagement de cours d'eau exemplaire



Protection contre les crues durable, Magliasina TI.

Une protection contre les crues durable le long des cours d'eau représente une condition essentielle de la conservation à long terme de notre cadre de vie. Cinq nouveaux dépliants montrent à l'aide de projets exemplaires, comment la nouvelle stratégie en vigueur à l'OFEG est appliquée sur le terrain. Les exemples de Brigue-Glis VS, Gürbetal BE, Heiden AR, Malcantone TI et Sachseln OW sont convainquants par leur conception adaptée et leur efficacité à long terme. Ces dépliants complètent les directives de l'OFEG parues en 2001 «Protection contre les crues des cours d'eau». Contenant des informations techniques, ils visent à

donner une impulsion aux solutions innovatrices en aménagement des cours d'eau. Ces exemples sont destinés aux autorités cantonales et communales, aux bureaux d'ingénieurs, ainsi qu'au public intéressé. Début 2005 la collection sera complétée par six nouveaux projets cantonaux.

Diffusion: OFEG, Case Postale, 2501 Bienne ou doku@bwg.admin.ch Informations complémentaires: www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/vbwbch.htm (à télécharger) Renseignements complémentaires: hans-peter.willi@bwg.admin.ch

Prévention des crues

La perception des dangers, l'estimation des dégâts, la protection des objets et la planification d'urgence sont les quatre éléments les plus importants d'une protection contre les crues efficace. Avec l'Office fédéral de la protection de la population et l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, l'OFEG a mandaté l'étude «Mitigation des crues – conclusions à partir de quatre exemples types». Cette recherche se base sur les événements survenus à Sachseln OW, Naters VS, Widnau SG et Lucerne. Elle résume les connaissances, propose des solutions pratiques et montre en particulier que le but visé ne peut être atteint que par une action commune de tous les participants. La publication s'adresse à tous les acteurs impliqués dans la mitigation des crues, notamment à ceux qui coordonnent les travaux. Il s'agit de quatre rapports partiels détaillés destinés avant tout aux spécialistes de l'aménagement de cours d'eau, des assurances, des techniques de construction et de la protection de la population. Rapports de l'OFEG, Série Eaux No. 6, Berne 2004

Diffusion: OFCL, Vente de la publication, CH-3003 Berne (Numéro de commande: 804.506.f); Internet: www.bbl.admin.ch, E-Mail: verkauf.zivil@bbl.admin.ch Informations complémentaires: roberto.loat@bwg.admin.ch



Feuille de l'Atlas 113 Murgenthal

La nouvelle feuille Murgenthal de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000 présente une région subdivisée en trois zones géologiques. Au nord s'étendent les chaînons les plus méridionaux du Jura plissé. Le soubassement du bassin molassique affleurant a été très fortement plissé et perturbé par des processus orogéniques. La partie centrale située entre le Jura et l'Aar est caractérisée par des dépôts récents dus aux eaux de fonte de différentes glaciations. Au sud-est de l'Aar apparaissent

les grès de la Molasse d'eau douce inférieure et de la Molasse marine supérieure, largement recouverts par des moraines et des graviers de plusieurs glaciations.

Dans ces plaines alluviales fertiles, qui sont exploitées intensivement par l'agriculture, se trouvent d'importants réservoirs d'eau souterraine, ainsi que des dépôts de graviers et de sables de grande valeur, convoités pour la construction. La feuille de l'Atlas Murgenthal permet aux autorités et aux planificateurs de résoudre leurs conflits d'intérêts et de mieux concilier les intérêts de la protection de

l'environnement et ceux de l'économie.

Diffusion: Office fédéral de topographie, CH-3084 Wabern;
Fax 031 963 23 25,

Internet: www.swisstopo.ch,

E-Mail: info@lt.admin.ch;

Prix: 50 francs.

Informations complémentaires:
www.bwg.admin.ch/service/katalog/f/geo-det.htm

Renseignements complémentaires:
peter.hayoz@bwg.admin.ch

Informations online concernant la construction parasismique

La nouvelle norme SIA 261 «Actions sur les structures porteuses» est en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2004. Elle assure une prise en compte suffisante de la sécurité parasismique des constructions lors de leur planification et de leur dimensionnement. La Centrale de coordination pour la mitigation des séismes, gérée par l'OFEG, fournit des informations complémentaires sur Internet afin d'aider les spécialistes et d'autres intéressés dans sa mise en pratique. Ces informations comprennent un catalogue des séismes historiques en Suisse, ainsi que les zones d'aléas sismiques et les classes des sols de fondation. A l'aide du moteur de recherche, l'utilisateur peut vérifier la sismicité d'un lieu ou d'une maison par son adresse ou ses coordonnées. Les cartes de sols de fondation comportent d'importantes données techniques. Elles peuvent être complétées par des informations de fond – telles que le relief, la topographie ou des photographies aériennes. Actuellement seules les cartes des cantons de Nidwald, du Valais et de la région d'Yverdon sont disponibles en ligne; d'autres vont suivre.

Informations complémentaires:

www.bwg.admin.ch > Thèmes

> Dangers naturels > séismes

> carte des sols de fondation selon norme SIA 261

Renseignements complémentaires:

olivier.lateltin@bwg.admin.ch



Microzonation dans la région d'Yverdon

La Journée suisse du géologue : une plate-forme pour l'OFEG

A sa 2^e Journée suisse du géologue, qui se tiendra à Lucerne le 28 avril 2005, l'Association suisse des géologues attend plus de 450 géologues de la pratique, de la recherche ou de l'administration. Le thème de la journée sera «Géologie de dehors et de dedans».

Pour l'OFEG ce sera une plate-forme idéale pour présenter les produits de l'office et soigner les contacts avec les clients, car les principaux partenaires du Service géologique national participeront à cette manifestation. L'OFEG est aussi engagé dans le comité de patronage. Dans le cadre de l'exposition parallèle qui présentera les produits et les services en rapport avec le travail du géologue, le Service géologique national présentera sur trois stands distincts l'hydrogéologie, le centre d'informations géologiques et la commission géotechnique.

Informations complémentaires:

www.chgeol.org

Renseignement complémentaires:

christoph.beer@bwg.admin.ch

Valeurs hydrologiques extrêmes : recensement des besoins

Pour mener à bien leurs différentes tâches liées à l'hydrologie, les bureaux d'ingénieur, les administrations, les exploitants des usines hydro-électriques, les hautes écoles et d'autres utilisateurs doivent pouvoir disposer d'informations sur les valeurs hydrologiques extrêmes. Un recensement des besoins effectué par l'OFEG montre que pour plus de 50 pour cent des clients actuels et potentiels le thème «étiages» est capital. Les domaines intéressés sont notamment l'utilisation des forces hydrauliques, l'approvisionnement en eau et la protection des eaux. L'accent est mis sur les caractéristiques de la courbe de distribution – en particulier le débit minimal Q347 atteint 347 jours par an. Seulement 7 pour cent des personnes interrogées connaissent la banque de données NQStat de l'OFEG concernant les

étiages. Après une courte information sur cette nouvelle offre, plus de 50 pour cent des personnes pourraient y être intéressées.

Dans le domaine des statistiques des hautes eaux, certains clients utilisent les analyses disponibles sur Internet, d'autres commandent les séries des maxima annuels. Des informations complémentaires sous forme graphique – en particulier les diagrammes de fréquence – sont aussi très demandés. Des données sur des périodes de retour supplémentaires (avant tout HQ30, HQ300) sont aussi demandées.

Informations complémentaires:

www.bwg.admin.ch/themen/wasser/f/extrem.htm

Renseignements complémentaires:

caroline.kan@bwg.admin.ch

Zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré



Durée de séjour hétérogène des eaux souterraines en milieu fissuré.

Dans les roches meubles, les zones de protection sont déterminées par le temps de séjour des eaux souterraines. Mais celui-ci étant parfois très hétérogène dans les aquifères fissurés, l'ordonnance sur la protection des eaux de 1998 stipule que le dimensionnement doit être basé sur la vulnérabilité du bassin d'alimentation du captage. Jusqu'ici, aucune méthode adéquate n'était définie. Ce nouveau

guide pratique «Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré – Méthode des distances, méthode des isochrones, méthode DISCO» comble cette lacune et établit la démarche méthodologique sur une base hydrogéologique fondée. Elle a été développée par le Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel (CHYN) sur mandat des offices fédéraux OFEFP et OFEG, en collaboration avec la Société suisse d'hydrogéologie (SSH).

Ce guide s'adresse aux autorités compétentes, aux géologues-conseils et aux ingénieurs, ainsi qu'aux chercheurs. Son utilisation systématique lors de la délimitation et de la mise à jour des zones de protection des eaux en milieu fissuré permettra de mieux protéger les zones de captages d'eau potable dans les régions concernées.

Diffusion: OFEFP, Documentation, 3003 Berne, docu@buwal.admin.ch (Numéro de commande VU-2505-F) ou www.buwalshop.ch (à télécharger)

Renseignements complémentaires:

ronald.kozel@bwg.admin.ch

Mesures à moulinets multiples aux Etats-Unis



Pour mesurer la qualité et les performances de leurs turbines, les forces hydrauliques ont besoin entre autres de mesures exactes des débits. La section instruments et laboratoires de l'OFEG effectue sur demande de telles mesures au moyen de son installation de mesures à moulinets multiples – parfois aussi à l'étranger. En juillet 2004, la section a, en collaboration étroite avec l'EPFL, effectué des mesures dans une centrale électrique de Seattle City Light au nord des Etats Unis. Il s'agissait de comparer deux turbines juxtaposées. En raison de la grande taille de la conduite forcée (section de 7,3 sur 10,7 mètres), les mesures de débits dans la conduite d'amenée à la turbine étaient relativement délicates. Les 48 moulinets hydrométriques ont été fixés sur un cadre avec 12 perches de mesures, réparties sur la section d'entrée de la turbine. En raison de la vitesse d'écoulement de 3,6 m/s, le cadre guidé par des galets dans la rainure de batardeau devait résister à une charge de 40 KN. Les résultats sont comparables aux mesures effectuées en 1996 par l'EPFL, l'analyse détaillée des résultats permettra d'affiner les conclusions.

Renseignements complémentaires:

daniel.wyder@bwg.admin.ch, henri-pascal.mombelli@epfl.ch

Quatre nouvelles cartes de la cartographie géologique



Celui qui connaît les roches peut décoder l'histoire d'un paysage. A l'occasion de la parution de la feuille dédiée au Cervin, l'OFEG a organisé - avec Zermatt-Tourisme – des visites guidées et des excursions géologiques pour initier les touristes à la fascinante histoire de la formation des Alpes.

Ces dernières années, la cartographie géologique a augmenté sa production de feuilles d'Atlas à l'échelle 1:25'000. A part la carte du Cervin, elle a aussi publié la feuille Büren an der Aare qui couvre les premiers chaînons du Jura plissé et le Plateau molassique. Dans la partie orientale du Seeland, où les glaciers de

l'Aar et du Rhône jadis se rencontraient, l'Aar serpente dans la plaine fertile en formant de larges méandres.

La feuille Nyon complète la série des cartes géologiques du bassin lémanique. Elle invite à une promenade sur le sommet de la Dôle pour admirer la magnifique vue sur le Jura vaudois et étudier sa géologie. La carte comprend aussi les sols quaternaires de la Côte. Là où mûrissent aujourd'hui les grappes de raisin, le glacier du Rhône a déposé ses moraines il y a plus de 10 000 ans.

La feuille Gruyères permet de décoder une zone clé des Préalpes. C'est depuis le Château

de Gruyères que l'on a la plus belle vue sur la région avec ses formations géologiques variées. Et pour l'étude des roches une promenade dans les gorges de la Jogne s'impose.

Diffusion: voir Feuille de l'Atlas 113 Murgenthal

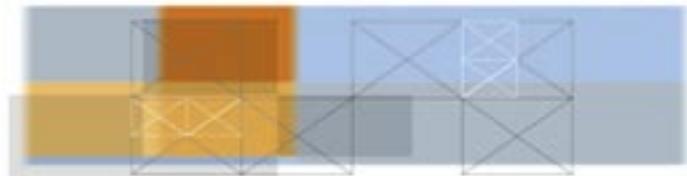
Renseignements complémentaires: yves.gouffon@bwg.admin.ch



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

Impressum aquaterra 2 / 2004
aquaterra est le périodique de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG). Il paraît deux fois par an en langue allemande et française.
Editeur: Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
L'OFEG est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, DETEC.
Ont collaboré à ce numéro: Georges Darbre, Alfred Kobelt, Rudolf Müller, Alexandre Oberholzer, Henri Pougatsch et Theodor Sonderegger pour la coordination thématique.

Conception, texte et production: Beat Jordi, Bienne
Réalisation visuelle et layout: Beat Trummer, Bienne
Adresse de la rédaction: OFEG, rédaction aquaterra, Ruedi Bösch, 2501 Bienne; Tél. 032 328 87 01, Fax 032 328 87 12, E-Mail: ruedi.boesch@bwg.admin.ch
Abonnements et changements d'adresses: l'abonnement au périodique est gratuit: OFEG, Communication, Case postale 2501 Bienne; Tél: 032 328 87 01, Fax: 032 328 87 12; E-Mail: info@bwg.admin.ch



Numéro de commande: ISSN 1424-9480 (version allemande) ISSN 1424- 9499 (version française)
Impression: Imprimerie Hertig & Co SA, 2500 Bienne
Tirage de ce numéro: 2700 (d), 1200 (f)
Copyright: après autorisation de l'éditeur, les articles peuvent être photocopiés en mentionnant les sources.
Date de bouclage de ce numéro: 6 août 2004
Internet: toutes les éditions d'aquaterra sont disponibles en format PDF sur le site internet de l'OFEG: www.bwg.admin.ch

Photographies: Schneider Ingenieure AG, Coire: 2 à dr., 12; Ingenieurbüro Foidl Hegland & Partner AG. Coire: 4 à g.; Dominique Béro, Champlan: 7 à g.; Service suisse de sismologie, Zurich: 9 au m.; Pierino Lestuzzi, Lausanne: 9 en haut; Patrick Smit, Zurich: 10 en b.; © AlpTransit Gothard SA, Lucerne: 11; OFEG: toutes les autres prises de vue et extraits de cartes. Extraits de cartes © 2004 swisstopo (BA046415)

Prochaine date de bouclage: 15 janvier 2005