

2/2005

aquaterra

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

HYDROGEOLOGIE

**Les eaux souterraines
sous la loupe**





Ronald Kozel,
Chef de la section
hydrogéologie,
OFEG

Principes pour la conservation à long terme des ressources en eau potable

L'hydrogéologie est une discipline des sciences naturelles qui étudie l'eau de la croûte terrestre. Cette science, relativement jeune, représente un trait d'union entre la géologie et l'hydrologie, bien qu'elle ait longtemps été dans leur ombre. Depuis quelques temps, l'intérêt porté à l'hydrogéologie a fortement augmenté en Suisse. Les annonces de pénuries d'eau et de pollutions des eaux souterraines ne passent pas inaperçues. Sensibilisée par l'Année internationale de l'eau proclamée par l'ONU en 2003, la population prend de plus en plus conscience qu'il faut s'engager pour la protection des eaux souterraines.

Mais pourquoi donc un office fédéral s'occupe-t-il d'hydrogéologie? Notre pays est heureusement à l'abri d'une grave pénurie d'eau, et normalement tout un chacun peut étancher sa soif à n'importe quel robinet sans arrières pensées. Car il jaillit de nos conduites suffisamment d'eau potable d'une qualité irréprochable, qui provient à plus de 80 pour cent des eaux souterraines. Celle-ci est souvent de qualité égale voire supérieure aux eaux minérales qui coûtent jusqu'à 1000 fois plus. C'est un véritable cadeau de la nature, qui doit être activement préservé. Les nouvelles crues survenues en août dernier, la pollution de l'eau potable dans les zones inondées, nous ont montré l'importance vitale et la vulnérabilité de nos ressources naturelles.

Les nappes d'eau souterraine doivent être explorées, gérées durablement et protégées, afin de préserver à long terme notre matière première la plus importante. Il est aussi primordial de bien connaître les eaux souterraines, afin de comprendre les mouvements de terrain, les inondations et le transport des polluants dans le sous-sol. A ce sujet, la section hydrogéologie du Service géologique national de l'OFEG récolte des données au niveau national. Elle documente, observe, évalue et informe, et se tient au service de l'administration, de l'économie, des praticiens et de la population. Grâce aux réseaux d'observation qualitative et quantitative des eaux souterraines, l'OFEG peut détecter précocement les problèmes, et ainsi permettre qu'à l'avenir nous puissions encore choisir entre une eau du robinet bon marché et les coûteuses eaux minérales en bouteilles.



Observation au niveau national

Avec ses réseaux de mesure nationaux, l'OFEG contrôle la quantité et la qualité des eaux souterraines. Ces données représentent des bases importantes pour l'utilisation et la protection durable des plus importantes réserves d'eau potable.

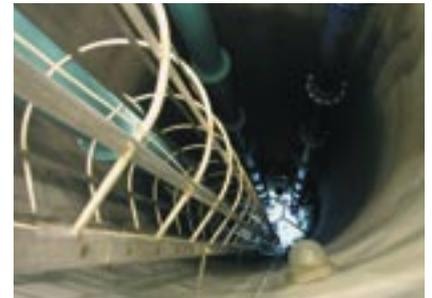
Page 3



Cheminement sinueux des eaux souterraines

Les traceurs artificiels servent entre autres à déterminer le cheminement des eaux souterraines, ou le bassin d'alimentation d'une source. L'OFEG exploite une centrale de coordination pour les essais de traçage.

Page 8



Trop près des cours d'eau

Pour améliorer la protection contre les crues, les cours d'eau ont besoin de plus d'espace. Ce qui entraîne des conflits d'intérêts avec les exploitants d'eau potable, car beaucoup de puits d'exploitation sont installés trop près des cours d'eau.

Page 11

Page de titre: Le captage de la source d'Heitenried FR est aussi une des stations de mesure servant à observer les eaux souterraines.

D'importants postes d'observation dans le sous-sol

En Suisse les eaux souterraines, circulant dans des roches meubles ou compactes, représentent la ressource la plus importante pour l'approvisionnement en eau potable et en eau à usage industriel (80%). Pour évaluer correctement la qualité et la quantité de ces réserves d'eau souterraine, et détecter d'éventuelles modifications, l'OFEG exploite un réseau national pour l'observation des eaux souterraines. Les données ainsi collectées représentent d'importantes informations qui permettent de détecter précocement les problèmes.

Résurgences dans la Molasse marine supérieure, sur la rive ouest du lac de Schiffenen FR. En hiver la paroi rocheuse se pare de stalactites de glace alimentées par l'eau de source qui s'écoule goutte à goutte des couches perméables.

Le village d'Heitenried FR se situe dans un paysage légèrement vallonné au centre du district de la Singine dans le canton de Fribourg. Il y a des milliers d'années, la progression puis le retrait du glacier du Rhône a fortement façonné ce territoire situé à près de 800 mètres d'altitude. Les dépôts de moraines et les petites dépressions que les masses de glace ont autrefois creusées dans le grès molassique tendre en attestent. Actuellement la région est dominée par l'agriculture. Les forêts et les haies ne représentent que 19 pour cent du territoire de la commune qui compte 9 kilomètres carrés. Les pâturages en représentent près de 46 pour cent, et 29 pour cent de la surface est dédiée à l'agriculture.

L'alternance de collines et de dépres-

sions pleine de charme détermine le régime hydrologique local. La quantité de précipitations annuelles, de 1300 millimètres, correspond à peu près à la moyenne de la partie sud du Plateau, à la périphérie des Préalpes. La topographie particulière de cette région fait qu'on y rencontre de nombreux petits bassins versants hydrogéologiques qui présentent un ruissellement superficiel plutôt faible. Le bassin versant de la source de Hangbüel, s'étendant sur 18 hectares au nord du village d'Heitenried, en fait partie. Cette source alimente en eau potable les 1200 habitants de cette commune à habitats dispersés. Ici chaque année, sur un mètre carré, il s'infiltré dans le sol près de 600 litres d'eau de pluie, l'autre moitié s'évapore ou s'écoule en surface.

L'eau qui s'infiltré dans le sous-sol passe d'abord à travers une fine couche de couverture constituée par un sol et des alluvions, elle coule ensuite lentement à travers les pores et les fissures du grès, avant de réapparaître dans la source plusieurs mois après les précipitations. Le captage comporte une galerie souterraine avec six tributaires, il se trouve directement dans des grès de molasse marine à une profondeur d'environ deux mètres. Ces grès se sont déposés là il y a près de 17 millions d'années, dans un bassin océanique peu profond en bordure des Alpes en formation.

Selon la saison et la pluviosité, entre 160 et 380 litres d'eau jaillissent chaque minute de la source de Hangbüel. « Cette variation relativement faible est typique



Installation des sondes de mesure en vue de l'enregistrement numérique des données concernant les eaux de la source d'Heitenried FR (à gauche), et émergence d'une source karstique productive dans le Kiental BE (à droite).

des débits de source dans les molasses, qui ne sont pas très perméables » explique Ronald Kozel, chef de la section hydrogéologie de l'OFEG. «De telles sources ne réagissent que très lentement au régime des précipitations en raison de la faible vitesse d'écoulement, ce qui est un avantage pour l'approvisionnement en eau particulièrement lors de longues périodes de sécheresse.»

Station du réseau de mesures NAQUA

La source de Hangbüel à Heitenried est l'une des 50 stations du réseau de base NAQUA_{TREND} mis en service depuis 1997. En étroite collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP, l'OFEG y suit à long terme la qualité des eaux souterraines. Ces stations réparties sur l'ensemble du pays doivent livrer des données représentatives sur l'état des nappes d'eau souterraines en Suisse. Le choix des emplacements de ces stations s'est fait sur la base de critères sévères, tels que la région géographique, l'utilisation du sol dans le bassin versant, les conditions géologiques du sous-sol, la taille et le genre de nappe d'eau souterraine,

ainsi que le type de station et l'utilisation du sol, par exemple.

Heitenried est donc représentatif des sources ayant un petit bassin d'alimentation intensivement exploité par l'agriculture, rencontrées dans les roches cohérentes du Plateau.

Pollution par l'agriculture

A Heitenried, l'agriculture nuit beaucoup à la qualité des eaux de source. Ces dernières années, le taux de nitrates mesuré de près de 26 milligrammes de NO₃ par litres dépassait légèrement les exigences concernant la qualité des eaux selon l'ordonnance suisse sur la protection des eaux qui est de 25 mg/l. Le seuil de tolérance, fixé pour l'eau potable par l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires, de 40 mg NO₃/l n'est toutefois jamais dépassé à Heitenried. Dans les zones agricoles, des taux de nitrate élevés sont souvent un indicateur d'autres pollutions des eaux souterraines, par des pesticides par exemple. Ainsi, la réduction du taux de nitrates favorise une diminution générale des polluants dans les eaux souterraines.

Dépistage précoce des problèmes

Les quelques 60 paramètres physiques et chimiques, régulièrement analysés aux stations de mesures NAQUA, livrent aux autorités fédérales des informations capitales pour un dépistage précoce des problèmes. «Sans un tel système de monitoring, le mandat constitutionnel concernant la protection des eaux souterraines ne pourrait pas être rempli» explique Ronald Kozel. Les analyses effectuées dans de nombreux captages d'eaux souterraines du Plateau, très peuplé et intensivement exploité, ont révélé des pollutions dues aux nitrates, aux traces de produits phytosanitaires et de divers hydrocarbures. «Les concentrations rencontrées ne représentent pas un danger pour la santé au vu des connaissances actuelles, mais exhorte à la prudence», précise l'hydrogéologue Ronald Kozel. «L'utilisation, par trop négligente durant des décennies, de nombreuses substances chimiques susceptibles de polluer les eaux, et l'essor des constructions dans les bassins d'alimentation d'importantes nappes d'eau souterraines menacent les ressources souterraines et compliquent leur protection.»



Mesure du débit d'une petite source jaillissant de la molasse (à gauche). Ce site fait partie du réseau de mesures NAQUA pour l'observation des eaux souterraines. Cette succession de couches dans les roches meubles d'une gravière du Seeland bernois (à droite) est typique des aquifères des grandes vallées fluviales.

De nombreuses menaces

De nos jours, suivant leur localisation, les eaux souterraines sont soumises à de nombreuses menaces. Parmi celles-ci, on compte le lisier et les eaux usées provenant de canalisations défectueuses, qui polluent les ressources souterraines avec des virus et des bactéries pathogènes. D'autres dangers émanent des engrais artificiels, des produits phytosanitaires, des substances toxiques provenant de décharges, des produits à base d'huiles minérales et des hydrocarbures halogénés volatils. De plus, il y a continuellement de nouveaux produits problématiques en circulation qui, lors de circonstances défavorables, peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines. Actuellement l'attention est portée aux éléments traces organiques, tels que les médicaments vétérinaires et les préparations opacifiantes pour examens radiographiques. Il faut des mois, voire des années pour que ces polluants introduits dans les eaux souterraines aient disparu. A cet effet, les caractéristiques du polluant, le sol et la couche de couverture, ainsi que le type et l'épaisseur de la roche jouent un rôle prépondérant.

Les graviers de fonds de vallées sont productifs

Dans les grandes vallées fluviales, les eaux souterraines s'écoulent sur des kilomètres à travers d'épaisses couches de roches meubles, composées essentiellement de graviers sablonneux. Lors de son passage dans les sols et les aquifères, l'eau est filtrée et ses polluants éliminés efficacement. Ce filtrage naturel permet un approvisionnement en eau potable sans traitements coûteux.

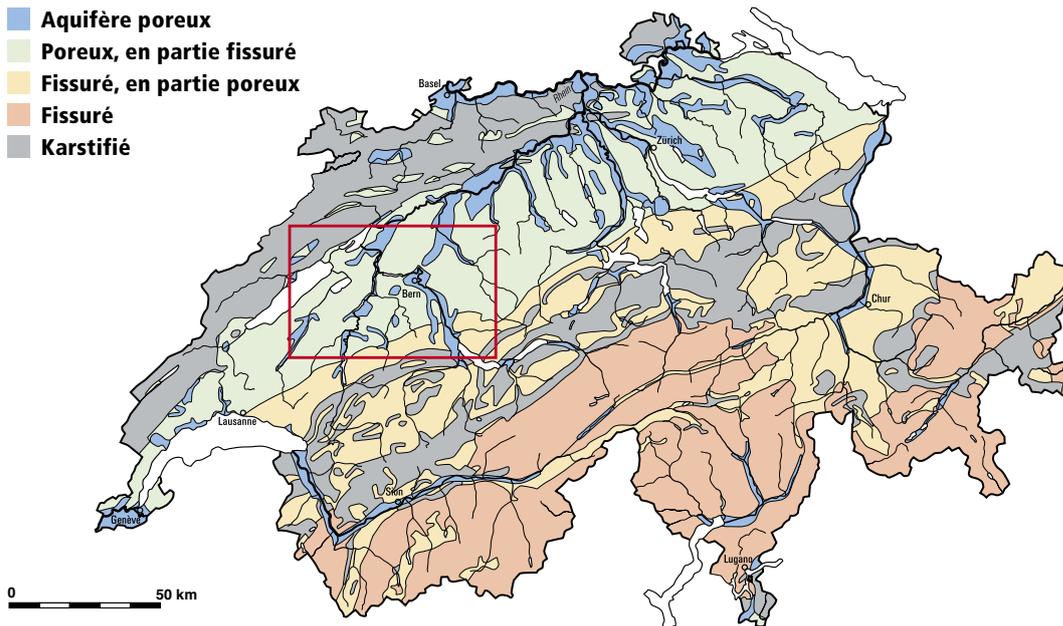
Mais dans ce cas, la menace d'une pollution à grande échelle par des foyers localisés n'est pas écartée, particulièrement par des polluants mobiles ou difficiles à éliminer. Voilà pourquoi près de 4000 sites contaminés devront être assainis ces 20 prochaines années, pour environ 5 milliards de francs. Les graviers de fonds de vallées, où sont stockés des tonnes de matériaux qui menacent les nappes d'eau souterraine, dans des décharges qui doivent être assainies, ou dans d'anciens sites industriels, sont pourtant la source la plus productive de l'alimentation en eau potable publique. Sur seulement 6 pour cent du territoire suisse, sont produits par année environ

360 millions de mètres cube d'eau potable ou 36 pour cent de la consommation nationale.

Des sources karstiques fragiles

Ce sont les captages d'eau potable situés dans les zones karstiques qui sont les plus menacés par les polluants. Ces karsts se rencontrent principalement dans le Jura et dans le Nord des Alpes. Dans des roches sujettes à la dissolution par l'eau telles que les calcaires, l'eau infiltrée au cours des millénaires a élargi les discontinuités géologiques pour former des fissures ouvertes, des conduits et des grottes. Dans les aquifères en roches meubles et cohérentes du Plateau, les eaux souterraines parcourent en règle générale un kilomètre en plusieurs mois. Dans les aquifères très karstiques par contre, il ne leur faut que quelques heures pour parcourir la même distance. Et lorsque le sol est peu épais, les couches filtrantes qui pourraient retenir les polluants et les eaux contaminées font défaut.

«Dans les karsts, le temps de séjour des eaux est moindre, elles sont donc plus vulnérables face aux pollutions. Les zo-



L'esquisse hydrogéologique de la Suisse donne une représentation schématique des principaux types d'aquifères. C'est dans les roches meubles des grandes vallées fluviales (bleu) que l'on rencontre les nappes d'eau souterraine les plus productives.

nes de protection des eaux souterraines pour les captages d'eau potable doivent donc impérativement être plus étendues et dimensionnées selon d'autres critères que dans les roches meubles», explique Ronald Kozel.

Délimitation des zones de protection

Pour que les sources exploitées puissent être protégées efficacement contre les polluants, sans que l'on ne doive par trop restreindre les activités économiques, l'OFEG a également participé à l'élaboration d'instructions pratiques pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines. Ainsi deux méthodes de délimitation des zones de protection ont été développées pour les aquifères karstiques et fissurés, qui présentent des vitesses d'écoulement très hétérogènes. Ces méthodes se basent d'abord sur la vulnérabilité de l'aquifère face aux polluants. Des critères tels que le type et l'épaisseur de la couche supérieure protectrice, le niveau de la nappe ou la turbidité après de vio-

lents orages permettent de déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines.

Niveau des nappes d'eau souterraine dans le collimateur

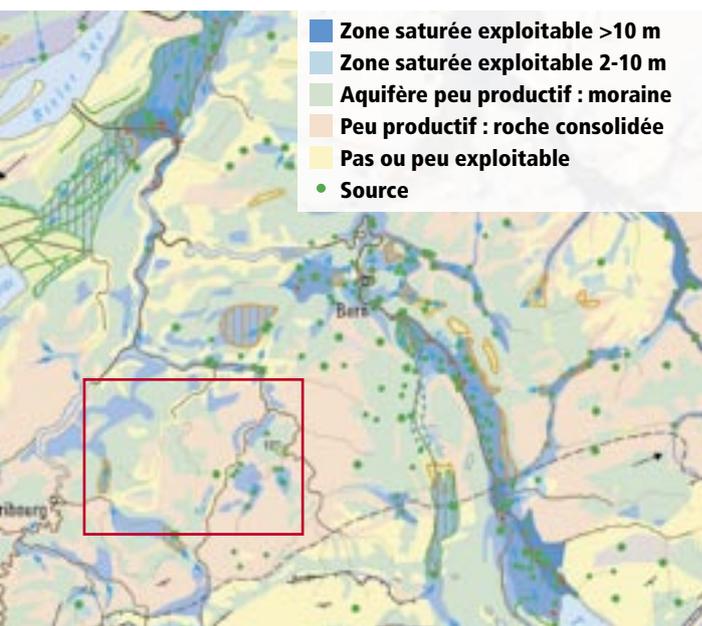
Outre les aspects qualitatifs, ces dernières années la question de la disponibilité des réserves d'eau souterraine suscite de plus en plus d'intérêt. «Beaucoup de sources, alimentées par des aquifères situés près de la surface, ont considérablement souffert des longues périodes

de sécheresse de l'été caniculaire 2003, et ont vu leur débit reculer de façon inhabituelle», explique Ronald Kozel. «Par contre, lors de ces périodes chaudes les nappes d'eau souterraine des vallées des grands cours d'eau alpins, alimentées par l'infiltration des rivières, ont comme d'habitude bénéficié de la fonte des neiges et des glaciers». Dans les petites vallées dont les cours d'eau n'ont pas un bassin hydrographique de haute montagne, le niveau des nappes phréatiques a cependant atteint en maints endroits les

Tâches de l'hydrogéologie à l'OFEG

La tâche principale de la Section hydrogéologie du Service géologique national consiste à observer de manière intégrale les eaux souterraines du territoire suisse. Pour cela l'OFEG exploite divers réseaux d'observation des eaux souterraines, l'OFEFP et l'Université de Berne participent partiellement à ce projet. L'Office est responsable du relevé, du contrôle, de l'analyse, de la livraison, de la publication et de l'archivage des données, ainsi que de leur diffusion.

De plus, en tant que centre de compétence de la Confédération, la Section hydrogéologie conseille les services fédéraux et cantonaux dans le domaine de l'hydrogéologie, s'occupe de la publication de rapports de base et de cartes, et dirige la centrale d'annonce des essais de traçage. De plus, elle représente les intérêts de la Confédération dans le domaine de l'hydrogéologie au sein de nombreuses commissions.



La carte hydrogéologique de la Suisse à l'échelle 1:500'000 (extrait, au centre) indique entre autres la productivité des nappes d'eau souterraine locales. La feuille Sarine/Saane 1:100'000 (à droite) représente en détail les conditions hydrogéologiques régionales, avec ici par exemple la région d'Heitenried FR. Les légendes en couleur sont très simplifiées.

cotes les plus basses mesurées jusqu'ici. Ceci s'est vérifié par exemple dans le Jura, le Plateau, les Préalpes et le sud du Tessin. Dans certaines régions, les aquifères à réaction lente et qui dépendent des précipitations, ne sont pas totalement remis de cette phase de sécheresse. Avec son «Bulletin de la quantité des réserves d'eau souterraine» (disponible en allemand) qui paraît tous les deux mois, l'OFEG donne un aperçu sur la situation actuelle.

C'est le réseau national d'observation des niveaux d'eaux souterraines et des débits de sources (NABESS), mis sur pied en 1975, qui fournit les bases de ces informations. Ce réseau comporte plus de 40 stations de mesure, qui fournissent depuis 1990 des séries de données ininterrompues. Ce réseau montre entre autres les répercussions de périodes pluvieuses continues et de périodes sèches sur les eaux souterraines, et l'influence des prélèvements d'eau potable sur les nappes. «Un approvisionnement en eau durable sur le plan national repose donc sur l'observation quantitative des eaux souterraines», ajoute Ronald Kozel. «De

plus, les données sur les niveaux des nappes phréatiques servent d'indicateurs de danger concernant les inondations dans les vallées fluviales. Et des débits de sources importants peuvent être des signaux d'alarme pour d'éventuels mouvements de terrain dans les zones montagneuses».

Observation intégrale des eaux souterraines

En raison du réchauffement climatique de plus en plus perceptible, l'observation intégrale des eaux souterraines va encore prendre de l'importance dans le futur. D'une façon générale, on doit s'attendre à une fonte accélérée des glaciers et à une concentration accrue des précipitations sur les mois d'hiver. «En été, la diminution de l'alimentation des nappes phréatiques pourrait entraîner à terme un recul du niveau des nappes phréatiques et avoir des répercussions négatives sur la qualité des réserves d'eau potable», craint Ronald Kozel. A l'avenir, afin de mieux évaluer les conséquences possibles du changement

climatique et d'informer efficacement et rapidement lors d'événements extrêmes, l'OFEG envisage d'intensifier l'enregistrement simultané de la qualité et de la quantité des eaux souterraines aux mêmes stations de mesure et de mettre ces données rapidement à disposition des intéressés. La station de mesure NAQUA d'Heitenried est un exemple où un enregistreur numérique relève depuis août 2005 les débits de la source, la conductivité électrique et la température. Les résultats des mesures sont transmis pratiquement en temps réel via une liaison par modem à la centrale de l'OFEG à Ittigen BE. Ceux-ci peuvent aussi être consultés à l'adresse Internet www.bwg.admin.ch.

Internet:

- www.bwg.admin.ch > thèmes > géologie et hydrogéologie
- www.umwelt-schweiz.ch > thèmes > protection des eaux > eaux souterraines
- www.hydrogeo.ch
- www.eurogeosurveys.org > Geology and Water



Sur les traces des eaux souterraines

Le cheminement des eaux souterraines est sinueux, et selon le type de roche qu'elles traversent, difficile à déterminer même pour des spécialistes. Pour définir ce parcours, la vitesse de l'eau ou le bassin d'alimentation d'une source, les hydrogéologues utilisent souvent des traceurs artificiels. L'OFEG exploite une centrale de coordination pour les essais de traçage.

Dissolution d'un colorant fluorescent lors d'un essai de traçage dans les eaux souterraines.

Quelles seraient les conséquences pour l'approvisionnement en eau potable le long de l'Aar, si un train-citerne chargé d'un produit chimique soluble dans l'eau subissait une avarie suite à un accident sur un des quatre ponts ferroviaires entre Bienne et Aarau? Dans les années 90, l'actuel office de l'environnement du canton de Soleure a voulu répondre à cette question et a utilisé dans ce but un essai de traçage du service hydrologique et géologique national pour déterminer les temps d'écoulement de l'Aar entre sa sortie du lac de Bienne et sa confluence avec le Rhin. A Brügg BE, soit quelques kilomètres en aval du lac de Bienne, le canal de l'Aar a été coloré sur toute sa largeur avec 150 kilos d'uranine. Ce colorant vert,

également connu sous le nom de fluorescéine, est le plus utilisé des traceurs en hydrogéologie appliquée. Comme tous les traceurs artificiels, utilisés pour colorer l'eau en vue de suivre sa propagation, l'uranine chimiquement stable et soluble à l'eau est sans danger pour l'homme, les animaux et les plantes. Des instruments spécifiques peuvent déceler cette substance à de très faibles concentrations, soit un millionième de gramme par mètre cube d'eau.

Liens entre cours d'eau et eaux souterraines

Les nappes d'eau souterraine productives situées dans les roches meubles des plaines alluviales, sont principalement

alimentées en période de crue par l'infiltration de l'eau des rivières. Sur le territoire du canton de Soleure entre Zuchwil et Niedergösgen, 23 stations de pompage ont été étudiées quant aux éventuels liens entre l'eau de l'Aar et les captages d'eau. L'essai de traçage devait montrer si le colorant versé dans l'Aar ressortait dans certains captages d'eau potable, et avec quel décalage temporel. Il devait aussi permettre de déterminer la concentration du traceur comparée à celle de l'eau du cours d'eau marqué. Les résultats obtenus permettent d'entreprendre les mesures adéquates pour protéger les captages d'eau potable lors d'une grave pollution de l'Aar.

Déterminer quand il faut intervenir

En mars 1994, lors d'un débit d'étiage moyen, il a fallu 17 heures pour que le colorant atteigne Zuchwil après 27 kilomètres de cheminement. Et 35 heures après le traçage, l'uranine était aussi détectée, à très faible concentration, dans la station de pompage du Rötiquai. Pendant la période de recherche qui a duré trois mois, dans 21 cas, ou 91 pour cent des captages d'eau potable testés, des traces d'uranine ont été détectées ce qui prouve bien le lien hydraulique qui existe avec l'Aar. Dans un rapport cantonal de 1996, on peut lire: «Lors d'un accident majeur d'une grande étendue, survenant sur l'Aar, les polluants pourraient alors parvenir librement, et souvent à une vitesse inquiétante, directement dans les captages d'eau souterraine». L'approvisionnement en eau potable entre Soleure et Aarau en serait temporairement gravement menacé. Sans mesures adéquates, les polluants pourraient dépasser les seuils de tolérance, et plusieurs stations de pompage seraient rendues inutilisables pour des années. Grâce aux essais de traçage, on connaît maintenant l'importance du risque et les temps d'intervention qui parfois s'élèvent à seulement quelques heures. En aval du lieu de l'accident, les stations de pompage devraient être stoppées le plus rapidement possible, afin d'empêcher le pompage d'eau polluée. Les résultats des essais de traçage livrent souvent d'importantes informations pour la protection des eaux souterraines et l'approvisionnement en eau potable.

Déterminer les bassins d'alimentation des sources

«Lors d'essais de traçage appliqués à l'hydrogéologie, il s'agit toujours de suivre le chemin de propagation de l'eau souterraine, grâce à un traceur fortement dilué encore détectable», ex-

plique Marc Schürch de la section hydrogéologie de l'OFEG. «Ainsi, on peut par exemple savoir où coule l'eau et à quelle vitesse, d'où elle vient et s'il y a une liaison entre deux points.» Particulièrement dans les situations hydrogéologiques complexes, typiquement rencontrées dans les domaines karstiques caractérisés par des réseaux de grottes étendus, cette technique est appropriée pour déterminer les bassins d'alimentation des sources ou dimensionner les zones de protection des eaux souterraines. «A cet effet, les traceurs artificiels sont souvent la seule preuve sérieuse pour étayer un fait», constate Marc Schürch.

Etude de cas dans le domaine karstique

Ainsi un essai de traçage mené aux Prés-d'Orvin BE, une zone de loisirs proche de Bienne, située sur un éperon karstique de la chaîne du Chasseral, a apporté la preuve qu'à cet endroit les eaux usées de nombreuses maisons de week-end s'infiltreraient illégalement directement dans la source Merlin à sept kilomètres de là. Quand l'eau s'écoulait à sa vitesse maximale, soit 437 mètres à l'heure, il n'a fallu attendre que 16 heures pour détecter les premières traces de colorant dans la source approvisionnant en eau potable la ville de Bienne, située 500 m plus bas. Comme en maints endroits des régions karstiques du Jura, l'absence généralisée de bonnes couches filtrantes compromet aussi dans le bassin versant de la source Merlin la qualité de l'eau qui y est captée. La couche d'humus, qui se trouve sur les formations calcaires désagrégées et délavées, est relativement fine, si bien que la dégradation des polluants par les microorganismes ne se fait qu'incomplètement. En résumé, dans ce bassin d'alimentation, les pollutions imputables aux eaux usées et aux déjections animales entraînent rapidement une importante pollution bactériologi-



Un colorant est versé dans une tranchée effectuée au-dessus d'un aquifère karstique. Son infiltration dans le sous-sol va permettre de déterminer les voies d'écoulement dans la roche.



Coloration d'une rivière et enregistrement du traceur infiltré dans le sous-sol.

que des eaux au niveau de la source Merlin.

Centrale de coordination des essais de traçage

L'OFEG gère depuis 1984, avec la Société suisse d'hydrogéologie SSH, une centrale de coordination des essais de traçage dans les eaux souterraines (INFO-TRACER). Elle enregistre les essais de traçage annoncés librement, renseigne sur les traçages réalisés ou en cours dans un bassin d'alimentation, et archive les données en vue d'une utilisation ultérieure. «La coordination de ces tâches par l'OFEG doit éviter les interactions spatiales et temporelles entre les essais de traçage, pour que les résultats ne soient pas faussés», explique Marc Schürch. Les bureaux de géologie et d'ingénieurs, les hautes écoles et les utilisateurs sont donc priés d'annoncer à temps leur projet de traçage à l'adresse suivante: tracer@bwg.admin.ch. Après examen des projets INFO-TRACER informe aussitôt les instances exécutantes et les autorités cantonales concernées sur les possibles interactions. Jusqu'ici la centrale a archivé près de 6000 essais de traçage dans les eaux souterraines suisses; on peut estimer que les deux tiers de l'ensemble des essais réalisés sont annoncés à l'OFEG.

Les isotopes, des traceurs naturels

Les traceurs artificiels se prêtent essentiellement à l'examen des eaux souterraines séjournant peu de temps dans le sous-sol. Pour des études de longue durée ou des recherches sur le cycle hydrologique à grande échelle, les spécialistes utilisent des traceurs naturels. A cet effet, ils analysent par exemple les traces de gaz stables issus de l'atmosphère ou les isotopes stables de la molécule d'eau tels que l'oxygène-18 et le deutérium, ainsi qu'un isotope radioactif, le tritium. Depuis 1992, l'OFEG gère un réseau national d'observation des

isotopes dans le cycle de l'eau (NISOT) totalisant 21 stations de mesure. Celui-ci fait partie du réseau fédéral d'observation GNIP de l'agence internationale de l'énergie atomique à Vienne (IAEA). Les signatures des isotopes sont enregistrées à intervalles réguliers dans les précipitations, dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines et ce au niveau de stations de mesures de référence. «Ces mesures isotopiques permettent de déterminer l'âge des eaux souterraines, leur provenance ou la proportion de l'infiltration des cours d'eau dans la nappe d'eau étudiée», explique Marc Schürch. «Grâce à ces précieuses informations, les spécialistes peuvent cerner les éventuels menaces et prendre les mesures de protection nécessaires.»

On peut identifier certaines caractéristiques telles que le temps de séjour ou l'origine des précipitations, car dans le cycle de l'eau le rapport de la quantité d'isotope lourd sur la quantité d'isotope léger peut être modifié au cours d'un changement de phase. Comme c'est par exemple le cas lors de la condensation des nuages en pluies. Ce fractionnement est dépendant de la température de l'air et de la pression de vapeur. Alors suivant la zone spécifique de précipitations, l'altitude et la saison, l'eau est marquée d'une empreinte isotopique caractéristique, telle une empreinte digitale. Par contre la datation de l'eau se fait grâce au tritium, dont les traces typiques sont conservées dans l'atmosphère suite aux essais des bombes à hydrogène effectuées au cours du siècle dernier.

Internet:

- www.bwg.admin.ch > thèmes > géologie et hydrogéologie > essais de traçage dans les eaux souterraines + observation des isotopes dans le cycle de l'eau
- <http://isohis.iaea.org>



Beaucoup de puits d'exploitation sont situés trop près des cours d'eau

Des projets pour l'amélioration de la protection contre les crues sont en cours un peu partout en Suisse. En maints endroits, ces cours d'eau fortement corsetés et stabilisés en dur obtiendront à nouveau plus d'espace et seront revitalisés. Mais de nombreux puits de pompage sont exploités à proximité de ces cours d'eau. Les exploitants craignent que des mesures d'aménagement hydraulique ne compromettent la qualité des eaux souterraines requise.

Les mesures d'aménagement de cours d'eau pour la protection contre les crues entraînent des conflits d'intérêts avec la protection de l'eau potable.

En Suisse, 73 pour cent de la population, soit près de 5,4 millions de personnes vivent en milieu urbanisé. Celles-ci se concentrent majoritairement à proximité de nos grands cours d'eau: le Rhône, l'Aar, le Tessin, la Reuss, la Limmat, la Thur et le Rhin. Dans les épaisses couches de graviers des plaines alluviales le long de ces cours d'eau, il y a d'abondantes nappes d'eau souterraine, dans lesquelles beaucoup de communes prélèvent leur eau potable. Contrairement à beaucoup de sources qui sont alimentées principalement par les précipitations ayant lieu dans leur bassin d'alimentation, dans les vallées c'est l'infiltration de l'eau des rivières qui contribue notablement au renouvellement des nappes d'eau. Car ces eaux souterraines sont en règle générale étroitement liées aux cours d'eau superficiels.

Difficile conflit d'objectif

«Par le passé, les distributeurs d'eau avaient souvent installé leurs puits d'exploitation à proximité immédiate des rives, pour pomper le plus d'eau potable possible» constate l'hydrogéologue Ronald Kozel de l'OFEG. «Actuellement cela s'avère être un désavantage surtout en ce qui concerne les cours d'eau étroitement corsetés, car cette promiscuité engendre des conflits d'intérêts notamment avec la protection contre les crues et l'écologie des cours d'eau.»

En maints endroits, la dynamique naturelle des cours d'eau est entravée par des lits rectifiés, des stabilisations des berges en dur et des digues imperméables. Le rétrécissement des lits entraîne souvent l'érosion du fond du lit des cours d'eau. Ce phénomène limite fortement la re-

distribution des sédiments, par érosion des berges et dépôt de graviers, et empêche l'inondation périodique des plaines alluviales qui étaient autrefois très étendues. Et il entraîne souvent un lent abaissement de la surface de la nappe phréatique.

Plus d'espace pour les rivières

Les inondations catastrophiques, ayant eu lieu en 1987 dans les Alpes, ont complètement changé notre façon de penser et ont donné une impulsion nouvelle à l'aménagement des cours d'eau. Les projets d'aménagements hydrauliques actuels, sur le Rhin alpin, la Thur, la Linth ou le Rhône, sont entrepris dans l'idée que les cours d'eau doivent à nouveau disposer de plus d'espace et être mieux mis en réseau avec leur environnement,



L'élargissement des berges, comme ici sur la Wiese à Bâle, peut porter atteinte à la qualité de l'eau potable des puits de pompage situés à proximité d'un cours d'eau.

et donc aussi avec les eaux souterraines. Un cours d'eau suffisamment large ralentit l'écoulement. Il permet aussi d'évacuer sans dommages les eaux et les matériaux charriés même lors de crues. Par exemple, lors des intempéries du mois d'août 2005, les tronçons déjà revitalisés ont permis en maints secteurs d'empêcher que des dégâts imputables aux inondations ne soient encore plus importants.

Les cours d'eau et les rivières en accord avec la nature ont une forte capacité d'auto-épuration et favorisent l'infiltration de grandes quantités d'eau. La revitalisation des cours d'eau apporte donc généralement aussi des bénéfices aux nappes d'eau souterraine. De plus, de tels cours d'eau offrent de précieux habitats à la flore et à la faune, et sont très appréciés comme lieux de récréation.

Conflits au niveau des zones riveraines

Des captages d'eau souterraine situés trop près des cours d'eau peuvent entraîner des problèmes de qualité de l'eau. La ville de Bâle, par exemple, capte son eau potable principalement par alimentation artificielle de la nappe phréatique avec de l'eau du Rhin. Celle-ci se fait par exemple dans la zone de récréation «Lange Erlen», le long de la rivière Wiese, où 14 aires boisées sont inondées avec de l'eau du Rhin qui s'infiltré dans la nappe. Par le passé, on avait déjà constaté lors des crues une baisse de la qualité dans les puits de captage proche des rives en raison de l'apport de bactéries fécales. Dans le cadre d'un projet pilote de revitalisation de cours d'eau, on a élargi le tracé de la Wiese sur 600 mètres. Les examens réalisés par l'Université de Bâle pendant la réalisation de ce projet ont montré que le temps de séjour de l'eau du Rhin s'infiltrant par l'ouverture de la zone riveraine consolidée et l'ameublissement du fond du lit, avait beaucoup diminué. Le puits situé à proximité du cours d'eau est envahi par les bactéries

particulièrement lors de débits moyens à élevés. Actuellement, on examine encore son comportement à long terme.

Respecter la distance par rapport aux berges

«Les captages d'eau potable situés à proximité immédiate des cours d'eau sont souvent mieux protégés par des digues consolidées, car dans un lit dynamique aucune couche protectrice stable à grande capacité filtrante ne peut se former», explique Ronald Kozel. Les «Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines» éditées en 2004 par la Confédération vont donc à l'encontre des revitalisations de cours d'eau dans la zone de captage S1 et dans la zone de protection rapprochée S2 des captages d'eau potable. Ceci en particulier à cause du risque d'atteinte ou de destruction des berges colmatées.

«A l'avenir, pour éviter de tels conflits, les nouveaux captages d'eau potable ne devraient plus être réalisés trop près des berges», préconise Ronald Kozel. «Lorsque des travaux de revitalisation sont entrepris à proximité de captages d'eaux souterraines, les intérêts de l'approvisionnement en eau potable, de la protection contre les crues, ainsi que de la protection des forêts alluviales doivent être scrupuleusement pesés et coordonnés.» Actuellement, un groupe de travail de la Société suisse d'hydrogéologie SSH, en collaboration avec des experts fédéraux de l'OFEPF et de l'OFEG, étudie intensivement les solutions envisageables. De plus, cette problématique est examinée dans le cadre du projet interdisciplinaire Rhône-Thur.

En ce qui concerne les forêts alluviales de Belp le long de l'Aar, le canton de Berne a trouvé une solution pour améliorer la protection contre les crues, au niveau de la jonction avec la Gürbe et pour revaloriser une remarquable forêt alluviale, sans porter atteinte aux importants puits de captage des communes de Köniz et de Muri.

Troisième correction du Rhône en cours

Lors de crues extrêmes, près de 11'000 hectares de terres sont menacés dans la vallée du Rhône VS entre Gletsch et le lac Léman. Sur ce tronçon de 160 kilomètres, on évalue à près de 10 milliards de francs les dégâts potentiels imputables aux inondations. Avec la troisième correction du Rhône, le canton et la Confédération entendent réduire ce risque et améliorer considérablement la sécurité en cas de crues. Parallèlement, il est prévu de revaloriser les fonctions biologiques et socio-économiques du fleuve. Cette troisième correction, encadrée par l'OFEG, est actuellement le plus grand projet d'aménagement hydraulique du pays. Ces 30 prochaines années, des investissements de près d'un milliard de francs sont prévus, dont une grande partie sera prise en charge par la Confédération.

Dans un premier temps, le gouvernement valaisan a ouvert la procédure de consultation concernant le plan sectoriel. Celui-ci renseigne sur les zones d'inondations potentielles, et fixe l'espace qui doit rester libre le long du Rhône, dans le but d'éviter que de nouvelles constructions ne rendent les travaux de sécurisation du fleuve impossibles. Le plan sectoriel définit



Importante inondation dans le bas Valais, suite à la rupture d'une digue du Rhône en octobre 2000.

également les procédures d'aménagement du territoire à considérer lors de nouvelles constructions ou installations dans les territoires incriminés. Dès l'initialisation du projet, le service cantonal des routes et des cours d'eau responsable a exigé la participation et la collaboration de tous les milieux concernés. Le succès d'un projet d'une telle complexité n'est garanti que si tous les intéressés collaborent au processus. Les résultats de la consultation seront disponibles fin 2005.

Pour protéger dans les plus brefs délais les zones les plus menacées, des mesures anticipées ont été prises, ou sont à l'étude. La protection de la région de Viège fait partie de ces projets prioritaires, une inondation majeure menacerait gravement l'usine chimique de la Lonza.

Détails sur les pages internet suivantes:

www.vs.ch/rhone.vs

Informations complémentaires:

jean-pierre.jordan@bwg.admin.ch

Plan d'action pour une meilleure protection contre les dangers naturels

Le Conseil fédéral entend améliorer la protection contre les dangers naturels. En mai 2005, il a chargé le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC), de mettre en pratique le plan d'action de la plate-forme nationale «dangers naturels» PLANAT, en collaboration avec les services fédéraux concernés.

Les catastrophes naturelles provoquent toujours plus de dégâts. Les raisons en sont multiples: constante augmentation et concentration des valeurs, infrastructures plus sensibles, plus grandes exigences en matière de mobilité et de communication, et incertitudes accrues face aux changements climatiques. La sécurité est un des besoins essentiels de l'homme, elle est aussi garante d'une société prospère. Et la protection contre les dangers naturels en fait partie.

La «Stratégie Dangers Naturels Suisse», présentée au Conseil fédéral début 2005, montre que notre pays investit annuellement plus de 2,5 milliards de francs dans la protection contre les dangers naturels. Dans son rapport, PLANAT évalue la gestion actuelle des dangers naturels et propose un plan d'action préventif avec des mesures ciblées. Ceci dans le but de réduire les risques existants, d'empêcher l'apparition de nouveaux risques et d'instaurer un dialogue sur la prise de conscience du risque par la société. PLANAT entend jouer un rôle déterminant dans la mise en pratique de ce projet.

Détails sur les pages Internet:

www.planat.ch > Planat > Stratégie

Naturgefahren Schweiz

Informations complémentaires:

simone.hunziker@bwg.admin.ch



Lave torrentielle à Brienz BE, en août 2005.

Assainissement des débits résiduels pour les centrales hydro-électriques frontières



Un tronçon à débit résiduel qui doit être assaini, près de l'usine hydro-électrique sur le Rhin à Rheinau ZH, ici avec l'île Klosterinsel.

Actuellement, 5 des 23 centrales hydro-électriques frontières font l'objet d'une procédure d'assainissement des cours aval. Il s'agit des

centrales de Wunderklingen (SH / D), Rheinau (ZH / D), Emosson (VS / F), Punt dal Gall – Ova Spin (GR / I) et Valle di Lei – Ferrera (GR / I).

L'OFEG a d'abord effectué un recensement écologique pour relever les déficits occasionnés par les prélèvements d'eau et évaluer le potentiel de revalorisation. Ceci dans le but d'assurer des débits résiduels appropriés, sans porter atteinte aux droits acquis des producteurs d'énergie. Pour tous les cours aval étudiés on dispose désormais d'un bilan écologique sommaire. Dans un deuxième temps, il s'agira de trouver des solutions écologiques et économiques en collaboration avec les centrales concernées, les cantons, les pays riverains et les organisations intéressées. Selon la loi sur la protection des eaux, ces assainissements devront être effectués jusqu'à fin 2012. Là où l'assainissement des cours aval ne concerne que la Suisse, ce sont les cantons qui devront définir les mesures à prendre et qui seront responsables de leur application.

Informations complémentaires:
hans.widmer@bwg.admin.ch

Surveillance par radar des glissements de terrain via satellite

Dans le but de mieux surveiller les pentes instables et les zones d'effondrements dans l'arc alpin, l'OFEG examine actuellement, dans le cadre d'un projet pilote, l'application de l'interférométrie radar par satellite. Le moindre mouvement est détecté au niveau des zones de glissement grâce à un radar en orbite. La précision de ces mesures est de l'ordre du millimètre, même si les satellites de l'agence spatiale européenne ESA sont sur une orbite située à 800 kilomètres de la Terre. Le projet, piloté par de l'OFEG en collaboration avec des représentants des cantons et des entreprises privées, a obtenu de très bon résultats, en particulier lors de la reconnaissance des glaciers rocheux actifs. Cette technique a également livré aux géologues et aux ingénieurs de précieux renseignements concernant les zones de glissement connues de Grächen (VS), Grindelwald (BE), Lauterbrunnen (BE), Lac Noir (FR) et Villars-Leysin (VD).

Informations complémentaires:
hugo.raetzo@bwg.admin.ch

Une nouvelle plate-forme «Dangers naturels» de la Convention alpine



Route détruite à la sortie d'Engelberg OW, en août 2005.

Suite à l'analyse des crues de 1999/2000 dans l'arc alpin effectuée par la Suisse, la Convention alpine a créé une plate-forme «dangers naturels». En raison de son expérience avec la plate-forme nationale «dangers naturels» PLANAT, la Suisse a été priée de présider cette nouvelle plate-forme jusqu'à la 9e Conférence alpine prévue fin 2006. Elle doit s'occuper de la gestion intégrale des risques et contribuer à réduire globalement les risques naturels dans l'arc alpin. Celle-ci comprend par exemple la cartographie des dangers, les plans d'affectation, l'entretien des forêts protectrices, la

revitalisation de cours d'eau, la réalisation d'ouvrages de protection ou la gestion des catastrophes. La plate-forme a aussi pour but de renforcer l'échange transfrontalier des règles de dimensionnement des mesures de protection et celui des méthodes qui ont fait leurs preuves dans la lutte contre les risques naturels.

Détails sur les pages internet:
www.alpenkonvention.org
Informations complémentaires:
simone.hunziker@bwg.admin.ch

Surveillance des petits ouvrages d'accumulation par les cantons

Dès 2006, les cantons assureront la surveillance des ouvrages de petite hauteur d'accumulation. L'ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation (OSOA), entrée en vigueur en 1999, a accordé aux cantons quelques années pour régler l'organisation de cette surveillance et indiquer les ouvrages qui devront être surveillés dès l'an prochain en vertu de l'OSOA. Comme jusqu'ici, l'ordonnance s'appliquera aux ouvrages d'accumulation dont la hauteur de retenue au-dessus du niveau d'étiage ou du niveau du talweg est de 10 mètres au moins. Les ouvrages, qui atteignent une hauteur de 5 mètres et dont la capacité de retenue est supérieure à 50'000 m³, seront également contrôlés. Désormais, l'OSOA s'appliquera aussi aux ouvrages de moindre dimension qui représentent un danger pour les personnes et les biens. Ainsi, quelques centaines de petits ouvrages d'accumulation seront nouvellement soumis à l'OSOA ; ils seront principalement surveillés par les cantons. Les autorités compétentes sont définies en fonction de la hauteur et du volume de retenue au cas par cas.

Les directives concernant l'application de l'ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation se trouvent sur Internet à l'adresse suivante: www.bwg.admin.ch

> **Themen > Talsperren**

Informations complémentaires:
georges.darbre@bwg.admin.ch

Nouvelle station limnimétrique pour la navigation rhénane à Bâle

Le niveau d'eau à Rheinfelden représente un repère important pour la navigation. Il renseigne sur le chargement que les bateaux à marchandises peuvent transporter sans risquer de s'échouer et de façon à ce que leur passage sous les ponts soit assuré. En cas de crues, lorsque certains niveaux d'eau sont atteints, la navigation est interrompue.

Mais entre Rheinfelden, d'où est communiqué via Internet ou par téléphone le niveau d'eau, et la ville de Bâle avec ses passages de ponts critiques, le fleuve parcourt environ 15 kilomètres et deux centrales hydroélectriques. S'ensuit un grand potentiel d'erreur lors de l'évaluation de la profondeur de l'eau et du tirant d'air sous les ponts à Bâle. En effet, le débit effectif du Rhin qui atteint Bâle une heure après sa mesure à Rheinfelden est encore modifié par la régulation au niveau des centrales hydroélectriques et par ses affluents Ergolz et Birse.

Pour des raisons de sécurité, l'étude réalisée par les deux demi-cantons de Bâle «Risikoeermittlung Rhein» (Etude de risques Rhin) a exigé, entre autres, la création d'une nouvelle échelle limnimétrique de référence à Bâle. La station hydrométrique existante à Bâle-Rheinhalle est la plus apte à remplir cette fonction. Elle sera rénovée et équipée d'un nouvel appareil de mesure radar. La navigation pourra vraisemblablement en bénéficier dans le courant 2006. D'ici là, les travaux de recon-



Plus de sécurité pour la navigation fluviale à Bâle.

version nécessaires seront entrepris: examen des valeurs (niveau d'eau équivalent, formule empirique pour déterminer l'enfoncement admissible, etc.) et préparation des utilisateurs aux changements à venir. Il est prévu de diffuser le niveau d'eau dans les médias spécialisés et à l'entrée du port de Bâle près du centre de trafic ainsi qu'à l'écluse de Birsfelden. L'échelle limnimétrique de Rheinfelden restera en place et demeurera consultable par téléphone.

Détails sur les pages Internet suivantes: www.portofbasel.ch
Informations complémentaires:
walter.gjenzdanner@bwg.admin.ch

Banque de données basses eaux NQStat actualisée

Le site Internet de l'OFEG dispose désormais d'une nouvelle version de la banque de données - basses eaux. Elle comprend, pour 344 stations de mesure de débits, des séries de mesures et des analyses statistiques des valeurs NMxQ – le débit d'étiage minimal moyen durant un nombre déterminé de jours – et les courbes de distribution de valeurs telles que Q347, c'est-à-dire le débit atteint ou dépassé pendant 347 jours par an.

Cette banque de données sert par exemple à estimer la période de retour de certaines basses eaux. Les valeurs de toutes les stations ont été actualisées. Etant donné qu'en Suisse,

les basses eaux ont souvent lieu en fin d'année, les calculs des NMxQ sont basés sur des années NQ. Celles-ci durent généralement de mai à avril de l'année suivante. Les données hydrométriques n'étant définitivement disponibles qu'à fin 2004, on ne dispose des calculs NMxQ que jusqu'en 2003/04.

La banque de données ne contient plus d'informations sur la durée pendant laquelle les valeurs sont inférieures à la valeur seuil et sur les déficits de débit. Un sondage avait révélé que celles-ci étaient peu demandées. Elles peuvent toutefois être obtenues sur demande sous une forme non actualisée.



Basses eaux, exemple de l'Emme pendant l'été caniculaire 2003.

Détails sur nos pages Internet:
www.bwg.admin.ch > **Themen**
> **Wasser > Extremwerte**
Informations complémentaires:
caroline.kan@bwg.admin.ch

Parution de deux nouvelles feuilles de l'Atlas géologique: St. Moritz et Piz Bernina



Désormais l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000 compte deux feuilles supplémentaires: St. Moritz et Piz Bernina. Elles donnent une vision détaillée des roches et des terrains meubles d'un important secteur de la Haute Engadine. Ce territoire est caractérisé par des modelés typiquement quaternaires, comme les moraines et les glaciers rocheux. Ces cartes montrent aussi les terrains instables les plus importants, comme la spectaculaire masse tassée et glissée de Gianda Laret – Brattas au-dessus de St Moritz, ainsi que les grands mouvements de terrain au sud du lac de Silvaplana et sur le flanc ouest du Fextal. Le

recensement de ces mouvements de terrain permet généralement une estimation correcte des sources de danger.

La plupart des roches représentées sur ces deux feuilles appartiennent au domaine austro-alpin, exceptés les schistes verts et serpentinites de la nappe de la Platta et des serpentinites de Malenco, attribués au domaine pennique. Ils représentent les témoins du plancher océanique d'une mer originelle, la Thétyts.

Un accident tectonique majeur, la ligne de l'Engadine, traverse la feuille St. Moritz et le coin NW de la feuille Piz Bernina. Cette faille dessine l'axe de la vallée de l'Engadine. Après

sa formation, l'édifice alpin a été décalé horizontalement de quelques kilomètres et basculé par ce système de failles.

Diffusion: Office fédéral de la topographie, CH-3084 Wabern; Fax 031 963 23 25; Internet: www.swisstopo.ch; E-Mail: info@lt.admin.ch; Prix: CHF 50.-
Détails sur nos pages internet: www.bwg.admin.ch/service/katalog/d/geo-det.htm
Informations 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 / 2005
 aquaterra est le périodique de l'Office fédérale des eaux et de la géologie (OFEG). Il paraît deux fois par an en allemand et en français.
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:
 Ronald Kozel, Marc Schürch et Jean-Pierre Tripet pour la coordination thématique
Conception, texte et production:
 Beat Jordi, Bienne
Traduction française:
 Marie-Louise Bühler, Port
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

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:
 30 août 2005
Internet: toutes les éditions d'aquaterra sont disponibles au format PDF sur le site Internet de l'OFEG: www.bwg.admin.ch

Photographies: agence de photos AURA, Lucerne: 1, 4 à g.; Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel CHYN: 2 au m., 8, 9, 10 au m., 10 en b.; Projet scolaire Matzendorf / Thilo Herold: 10 en h.; Christian Meuli, Consortium Protection contre les crues, Samedan: 11; Christian Regli, Géologie appliquée et de l'environnement, Université de Bâle: 12 en h.; Forcs aériennes suisses: 13 en b., 14 en b.; Comet Photoshopping GmbH, Zurich, Centre de documentation Rheinau: 14 en h.; Direction de la navigation fluviale, Bâle: 15 en h.; OFEG: les autres prises de vue et extraits de cartes. Les extraits de cartes © ont été reproduits avec l'accord de swisstopo (BA046415).