

L'eau souterraine

LES EAUX SOUTERRAINES sont invisibles.

La présente brochure se propose d'offrir à qui s'y intéresse un coup d'œil sur ce monde obscur, à la découverte d'un « trésor » caché sous nos pieds – le trésor vulnérable qu'est notre principale source d'eau potable. Cette exploration nous donnera un aperçu des efforts à consentir pour assurer durablement la qualité de l'eau qui sort de nos robinets...

Sommaire

- 4 L'eau souterraine, c'est ...
- 6 Aquifères en Suisse
- 8 Chercher et trouver l'eau souterraine
- 10 Cartes des eaux souterraines: visualiser l'invisible
- 12 Capter l'eau souterraine
- 14 Une qualité en devenir
- 17 Eaux souterraines: milieu vivant
- 18 Eaux souterraines: traitement et utilisation
- 20 Eaux souterraines: menaces biologiques et chimiques
- 23 Eaux souterraines: vulnérables aux interventions physiques également
- 24 Eaux souterraines: protection indispensable
- 27 Eaux souterraines: je suis directement concerné
- 28 Eaux souterraines: observation et surveillance
- 29 Curiosités
- 30 Glossaire
- 31 Impressum

EAUX SOUTERRAINES est une publication de l'OFEFP en rapport avec l'exposition itinérante «GRUNDWASSER – ein Schatz auf Reisen» réalisée à l'occasion de l'Année internationale de l'eau douce 2003 lancée par les Nations Unies.

UN APERÇU DU CYCLE DE L'EAU

PRÉCIPITATIONS

La vapeur – de l'eau à l'état gazeux – fait partie de l'atmosphère. C'est quand l'air est saturé d'eau qu'il se met à pleuvoir, neiger ou grêler.

ÉVAPOTRANSPIRATION

Une partie de la pluie redevient vapeur, au cours de sa descente du nuage à la terre déjà, ou en remontant progressivement dans l'atmosphère depuis le sol (évaporation). Par ailleurs, les plantes absorbent de l'eau par leurs racines et la restituent dans l'air par de petits pores ou stomates dans les feuilles (transpiration).

ÉCOULEMENT SUPERFICIEL

Une partie de l'eau de pluie s'écoule à la surface du sol et forme ruisseaux, lacs, mares, étangs ou fleuves.

SURFACE DU SOL

Elle est de nature très variable. Certaines surfaces imperméabilisent complètement le sol. D'autres laissent passer l'eau, qui peut ainsi s'infiltrer.

COUCHE SUPERFICIELLE VIVANTE

Elle contient des myriades de microorganismes, lesquels contribuent à purifier l'eau qui s'infiltrer. De plus, les plantes plongent leurs racines dans cette terre meuble dont elles tirent de l'eau et des substances nutritives.

SOUS-SOL NATUREL

La couche vivante repose sur un sous-sol naturel qui ne contient plus guère de matières organiques. Il est constitué de formations rocheuses variables selon l'endroit.

AQUIFÈRE

Le sous-sol est plus ou moins poreux. On nomme aquifère une roche meuble (p. ex. gravier, sable) ou dure dont les pores (interstices) sont reliés et suffisamment volumineux pour laisser l'eau circuler.

EAU SOUTERRAINE

L'eau saturant les vides interconnectés du sous-sol forme ce que l'on appelle l'eau souterraine.

AQUICLUDE

Il y a dans le sous-sol des couches imperméables à l'eau, nommées aquicludes. Ce sont des roches à pores minuscules ou espacés (p.ex. l'argile). Un aquiclude empêche l'eau de s'infiltrer plus bas et l'oblige ainsi à circuler au-dessus du barrage qu'il forme.

dans l'atmosphère

sur terre

sous terre

PRÉCIPITATIONS
PLUIE, NEIGE OU GRÊLE

PAYSAGE DU PLATEAU SUISSE
AVEC VUE SUR LES ALPES

SURFACE DU SOL

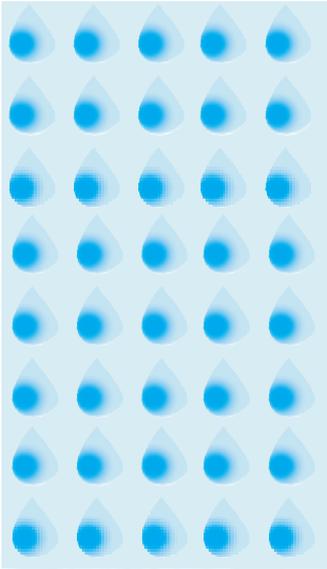
COUCHE
SUPERFICIELLE
VIVANTE

AQUICLUDE
SOUS-SOL NATUREL
AQUIFÈRE
SATURÉ NON SATURÉ



AQUICLUDE

L'eau souterraine, c'est ...



Sur 100 gouttes de pluie qui tombent dans nos régions, 40 retournent dans l'atmosphère (évaporation). Les plantes en absorbent une partie depuis le sol et la restituent dans l'air (transpiration).



Une trentaine de gouttes s'écoulent dans les torrents, les rivières ou les lacs.



Une autre trentaine s'infiltré dans le sol et forme ainsi de l'eau souterraine qui est encore enrichie par de l'eau des ruisseaux et rivières (infiltration).



PRÉCIPITATIONS EN SUISSE

C'est dans les Alpes que l'on enregistre le plus de précipitations (neige et pluie), par exemple plus de 4000 litres par mètre carré (l/m^2) et par année à la Jungfrau.

Dans le Jura et les Préalpes, les précipitations annuelles atteignent environ $2000 l/m^2$.

La moyenne du Plateau suisse se chiffre à quelque $1200 l/m^2$ par année.

Et c'est dans la Vallée du Rhône (Valais) qu'il pleut ou neige le moins, à peine $600 l/m^2$.

DIVERS TYPES D'AQUIFÈRES

Le sous-sol est de nature très variable – ici caillouteux, là rocheux, plus loin sableux, ailleurs argileux. Même diversité pour les interstices, du pore infime aux plus grandes cavernes en passant par fissures et crevasses.

Les formations rocheuses où les eaux souterraines peuvent s'écouler dans les interstices sont appelées **AQUIFÈRES**.

Nous en distinguons trois types.

... l'eau saturant les vides interconnectés du sous-sol.



Sa richesse en eau a valu à la Suisse le titre de «château d'eau de l'Europe». L'eau souterraine représente approximativement un cinquième des réserves en eau du pays.

Réserves	Millions de m ³	%
Lacs naturels	134 000	51,1
Glaciers	67 500	25,8
Eau souterraine	56 000	21,4
Lacs artificiels	4 000	1,5
Cours d'eau	500	0,2
Total	262 000	100

Source: Statistique suisse de la superficie

Ces eaux participent au cycle précipitation – infiltration – résurgence – écoulement – évaporation – précipitation, etc.

AQUIFÈRE DE ROCHES MEUBLES



Entre les cailloux et les grains de sable d'une roche meuble comme celle illustrée ci-contre, il y a une multitude de pores qui lui donnent son caractère «spongieux». Ces interstices représentent jusqu'à un cinquième du volume occupé par un tel cailloutis et peuvent absorber ainsi des masses d'eau considérables. Les glaciers des dernières glaciations ont raboté le fond des vallées. La fonte des périodes interglaciaires a formé torrents et rivières, charriant d'énormes quantités de cailloux et de sable qui se sont déposées en plaine. Chaque avance d'un glacier déplaçait les anciens sédiments pour les redéposer ailleurs. Il en est résulté, dans les grands bassins fluviaux, des structures alluvionnaires complexes. Les plus épaisses de ces alluvions se trouvent sur le Plateau, dans les vallées du Rhin et du Rhône, gisant en grande partie au-dessous ou à côté des cours d'eau actuels.

AQUIFÈRE FISSURÉ



Il y a plusieurs millions d'années, le continent africain s'est rapproché de l'Europe – ce qui a élevé progressivement l'édifice alpin: des couches géologiques jusque là horizontales ont subi des pressions énormes qui les ont soulevées, superposées et repliées. Ces forces ont provoqué d'innombrables fissures dans la roche (photo: paroi rocheuse fissurée). Une partie de ces fentes qui étaient traversées par de l'eau chargée de substances minérales se sont bouchées depuis lors – produisant par exemple du cristal de roche ou de la calcite. Les fissures encore ouvertes permettent à l'eau de s'infiltrer en profondeur dans la montagne. Quand de l'eau souterraine prend place dans une telle structure, on parle d'aquifère fissuré.

AQUIFÈRE KARSTIQUE

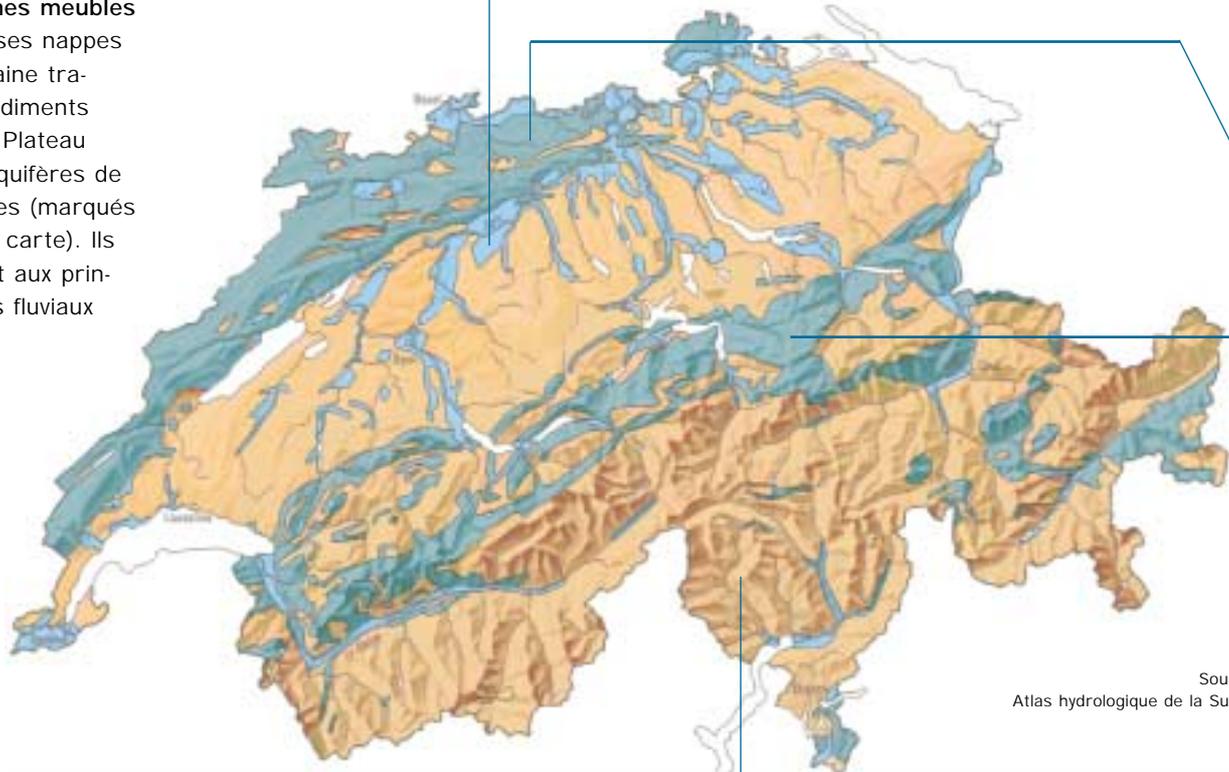


L'eau dissout le dioxyde de carbone, ce qui produit de l'acide carbonique (voir p. 14). Cet acide contribue à dissoudre le calcaire: l'eau façonne ainsi depuis des millénaires les roches calcaires du Jura et des Préalpes. Il en résulte parfois des formes étranges: en surface (photo), les précipitations ont fait ressortir dans certains endroits des lapiés (Schratten en allemand) aux arêtes vives comme à la Schrattenfluh (LU). Sous terre, l'eau qui s'infiltrate a creusé dans la roche des réseaux incroyablement ramifiés de cavités petites et grandes. Il en résulte un relief dit karstique. Les eaux souterraines parviennent dans ce que l'on appelle l'aquifère karstique – caractérisé par des cavités souterraines parfois immenses, mais aussi par une capacité d'accumulation limitée en raison des vitesses d'écoulement très élevées.

Aquifères en Suisse

Dans les roches meubles

Les plus grosses nappes d'eau souterraine traversent les sédiments caillouteux du Plateau suisse – les aquifères de roches meubles (marqués en bleu sur la carte). Ils correspondent aux principaux bassins fluviaux du pays.



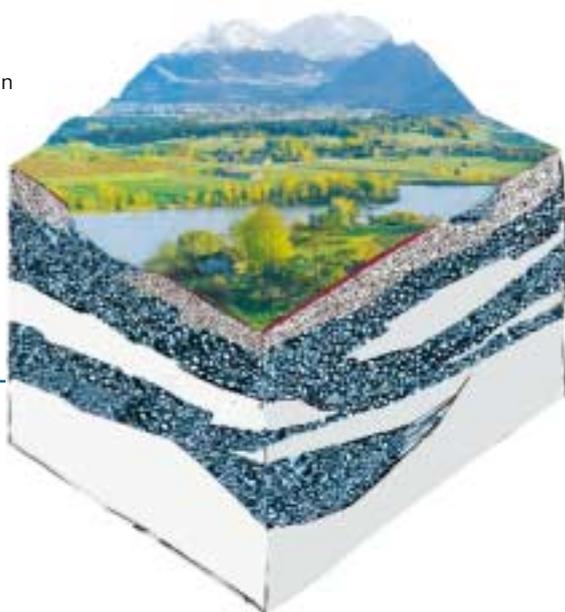
Source:
Atlas hydrologique de la Suisse

Le cailloutis (alluvions fluvioglaciales) est formé d'argile, de limon, sable et gravier plus ou moins gros, de sorte que les interstices sont eux aussi de taille variable – par exemple:

Gravier gros/fin



Sable



Dans les roches fissurées

Dans les collines du Plateau suisse et les Alpes, l'eau s'infiltré à travers fentes et fissures de la roche. Ces aquifères fissurés (marqués en rouge) sont répandus dans l'ensemble des Alpes suisses et constituées de différentes roches, comme:

de granite



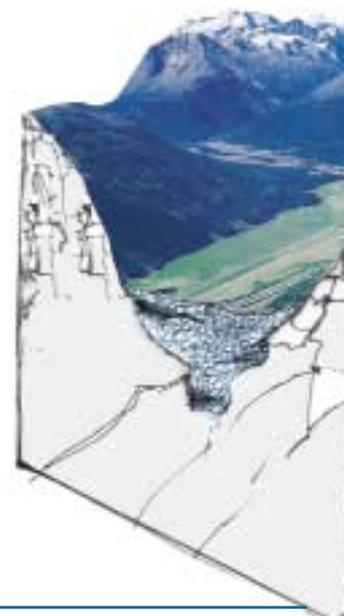
de schiste



de gneiss



de grès.



ACCUMULATION: l'eau est arrêtée par les couches imperméables comme l'argile ou la roche non fracturée.

TOUTES LES ALLURES SONT DANS LA NATURE

On croyait jusqu'à la fin du XIX^e siècle que les eaux souterraines étaient immobiles, comme dans un réservoir naturel. Aujourd'hui l'on sait que ces eaux participent de façon dynamique au cycle de l'eau: une partie de la pluie atteint la nappe phréatique; celle-ci s'écoule par dessus les couches imperméables jusqu'à l'endroit où l'aquiclude fait surface – et c'est la naissance d'une source. La source devient torrent, puis rivière, lac, fleuve, et se perd dans la mer. De l'eau s'évapore à chaque étape dans l'atmosphère; cette vapeur retombe une fois ou l'autre sur le sol – et le cycle est bouclé.

Il y a aussi des échanges permanents entre eaux souterraines et eaux superficielles. Si le niveau d'une rivière est supérieur à celui de la nappe phréatique, il y aura infiltration vers celle-ci; et l'échange sera inverse dans le cas où la nappe est plus haute que le cours d'eau. Les eaux souterraines sont constamment en mouvement, quoique en général à très faible allure.

Beaucoup de ces eaux trouvent leur chemin à travers les petits interstices que comporte l'**aquifère de roches meubles** occupant les espaces souterrains situés à côté et au-dessous des rivières et des lacs. Leur déplacement n'est que de **quelques centimètres en 24 heures** si la porosité de l'aquifère est fine, mais peut atteindre plusieurs mètres par jour si les espaces ont des dimensions suffisantes. On a mesuré dans le Tössstal (ZH) des flux qui se chiffraient à 100 mètres par jour. Cette rapidité exceptionnelle pour des eaux souterraines en aquifère de roches meubles ne correspond même pas à une allure d'escargot: on a chronométré des escargots de Bourgogne à 200 mètres par jour!

Les autres types d'aquifères laissent mieux passer l'eau, qui peut faire **plusieurs centaines de mètres par jour** à travers fentes et crevasses de l'**aquifère fissuré** caractéristique des roches alpines. Mais c'est dans les galeries et les grottes du Jura et des Préalpes, typiques de l'**aquifère karstique**, que les eaux souterraines peuvent s'écouler le plus vite – **plusieurs kilomètres par jour**. Les orages gonflent brusquement le débit de ces cours d'eau souterrains (spéléologues, attention!), qui coulent alors encore plus rapidement.

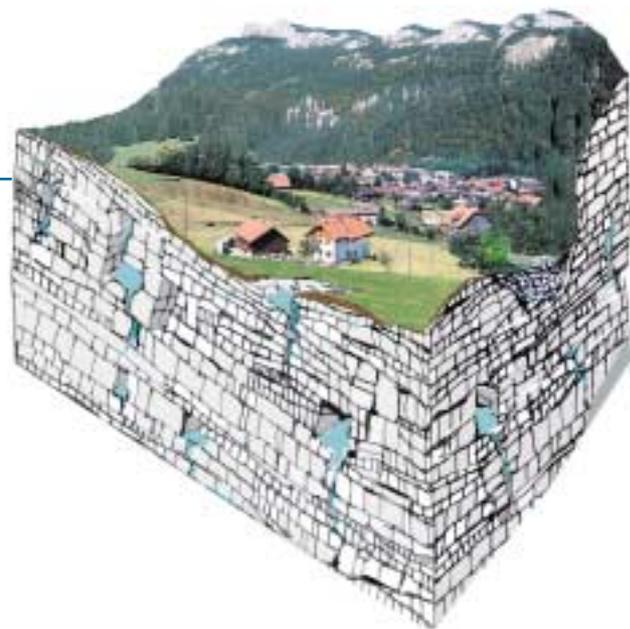
Dans le karst

Le sous-sol aquifère du Jura et des Préalpes est essentiellement de nature karstique; les roches sédimentaires qui sont karstifiées et qui constituent les aquifères karstiques sont surtout:

le calcaire



le gypse



Chercher et trouver l'eau souterraine

Cachées dans le sous-sol, les eaux souterraines ne sont pas faciles à repérer. Des spécialistes ont développé différentes méthodes pour les observer indirectement et en délimiter la répartition.



Sondages à la recherche de nappes d'eaux souterraines

FORAGE ET POMPAGE:

Les sondages en vue d'exploiter les eaux souterraines et la géothermie se font par forage et prélèvement d'échantillons du sous-sol.

La carotte (le matériau prélevé) révèle la constitution du sous-sol. Présente-t-il des couches bien perméables de gravier et de sable? À quel niveau se situe la surface de la nappe? À quelle profondeur rencontre-t-on des couches de sable fin ou d'argile plus ou moins imperméables? Quelle est la stratification de ces roches? On peut ainsi savoir si l'eau est présente de façon continue ou se répartit à différents étages.

Les spécialistes font des essais de pompage pour déterminer si les eaux souterraines rencontrées sont exploitables: la nappe s'abaissera vite si son volume est modeste, mais réagira beaucoup plus lentement s'il y a de l'eau en abondance.

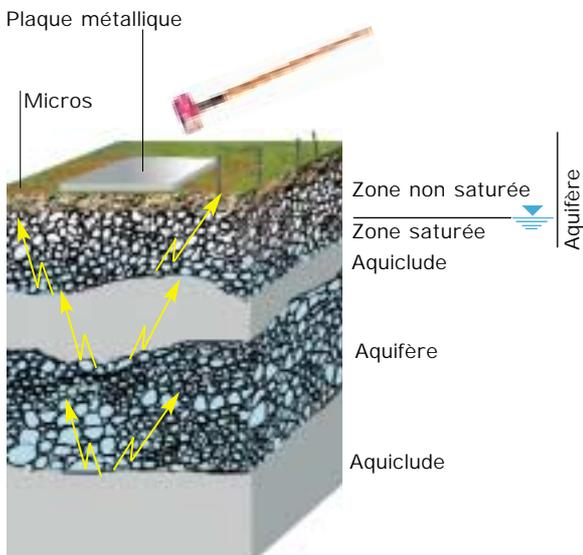
Il est aussi important de déterminer le degré de perméabilité du sous-sol et la vitesse à laquelle la nappe se reconstitue.

Puis on analyse en laboratoire la qualité de l'eau.

C'est sur l'ensemble de ces tests que l'on se base pour décider si l'eau trouvée sera exploitée ou non.



Les carottes de sondage indiquent à quels niveaux le sol est perméable, ou ne l'est pas.



GÉOPHYSIQUE (sismique, géoélectricité, géoradar, etc.) ... et l'écho des profondeurs

Par exemple, des coups de marteau sur une plaque en fer envoient des ondes en profondeur. Les strates du sous-sol renvoient vers la surface des échos, captés par des micros spéciaux (géophones). Ces signaux renseignent les spécialistes sur la constitution du sous-sol. L'étude sismique accompagne les forages et d'autres méthodes géophysiques. Elle permet de déterminer dans quel périmètre d'un forage la structure du sous-sol reste identique: cette structure est différente à partir de l'endroit où la forme de l'écho se modifie.

LIRE DANS LES EAUX ...

Les eaux souterraines révèlent beaucoup de choses à qui sait interpréter ce qu'elles contiennent. Mais cela requiert des méthodes passablement sophistiquées. Les scientifiques peuvent par exemple déterminer l'âge d'une eau souterraine par la méthode tritium-hélium. Très schématiquement, cela fonctionne ainsi: le tritium (^3H) radioactif se désintègre en émettant un noyau d'hélium (^3He). On trouve ces deux atomes dans les eaux qui ont des échanges gazeux avec l'atmosphère – dans la pluie, où leur concentration relative ($^3\text{H}:^3\text{He}$) est connue. L'eau qui s'infiltré n'a plus d'échanges gazeux avec l'air, l'hélium ne peut donc plus s'en échapper et s'accumule: une eau souterraine contient ainsi d'autant plus d'hélium (et d'autant moins de tritium) qu'elle est plus vieille. Comme on connaît également la vitesse de désintégration du tritium, ces données permettent d'évaluer le temps écoulé depuis le dernier contact de l'eau examinée avec l'atmosphère (âge de l'eau). Conclusion: moins on trouve de tritium, moins il y a d'eau jeune dans l'eau souterraine analysée, et mieux celle-ci est protégée contre les pollutions de surface.

Il existe bien d'autres traceurs que le tritium et l'hélium pour mettre en évidence les processus qui intéressent la recherche environnementale.

Ces méthodes permettent notamment de déterminer à quelle vitesse la nappe phréatique se reconstitue, ce qui est essentiel pour une exploitation durable de l'eau.

Une gestion durable des réserves d'eau consiste logiquement à prélever des quantités inférieures ou égales à ce que la nature peut reconstituer.

PENDULES ET BAGUETTES DE SOURCIER

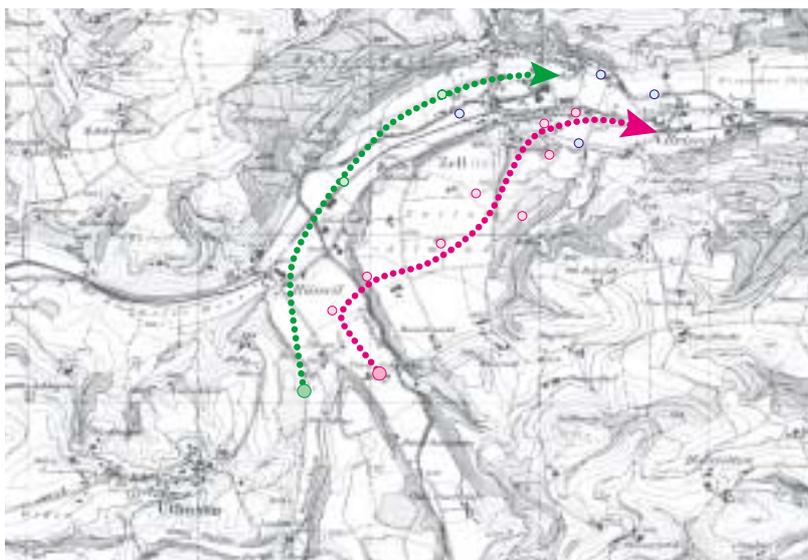
Tandis que les uns prospectent les ressources en eau par des méthodes scientifiques, d'autres se servent d'une pendule ou d'une baguette de sourcier.

Il est très plausible que des êtres vivants particulièrement sensibles perçoivent des variations souterraines très marquées. Certaines personnes, convaincues qu'elles sont ca-

... EN Y INJECTANT DES TRAÇEURS

La méthode du traçage (ou marquage) est une procédure expérimentale visant à déterminer les voies empruntées par les eaux souterraines et la vitesse de leur déplacement. Les traceurs utilisés sont des colorants spéciaux ou des sels sans danger pour l'homme ou l'environnement. On verse par exemple de l'eau marquée dans un trou de forage (point d'injection) pour observer à quels points d'observation surgit de l'eau colorée; on mesure aussi le temps écoulé entre injection et apparition.

Mais on recourt également à des marquages pour repérer des sources de pollution: il s'agit par exemple de savoir si ce sont des eaux d'infiltration provenant d'une certaine fabrique (ou d'une décharge ou d'un site contaminé) qui polluent les eaux souterraines prélevées dans un captage. On déverse de l'eau marquée à l'endroit du foyer de pollution présumé pour voir si cette eau ressurgit au captage. Dans l'affirmative on a la preuve que c'est la fabrique qui peut être à l'origine de la pollution. Sinon, l'enquête doit continuer.

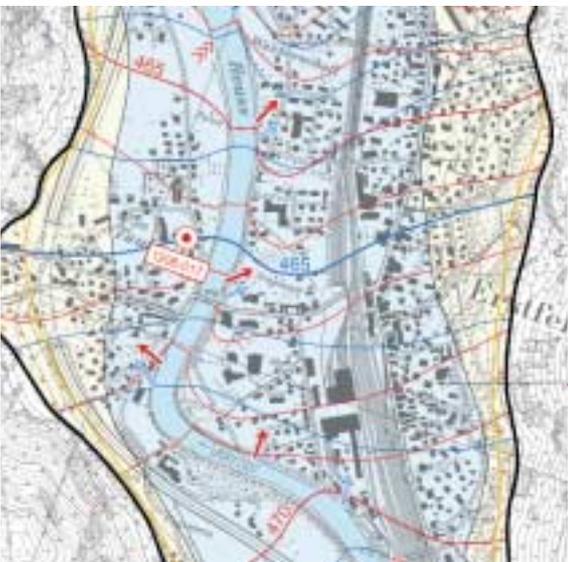
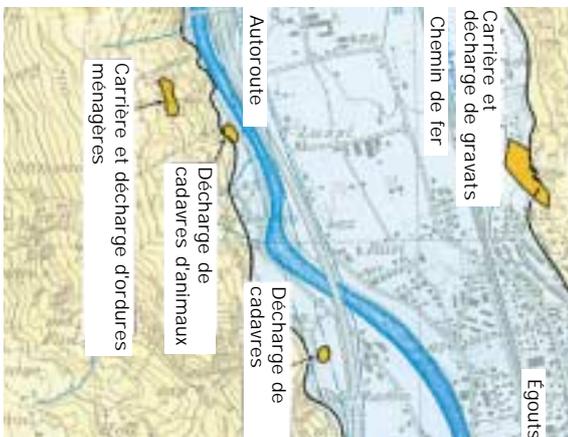
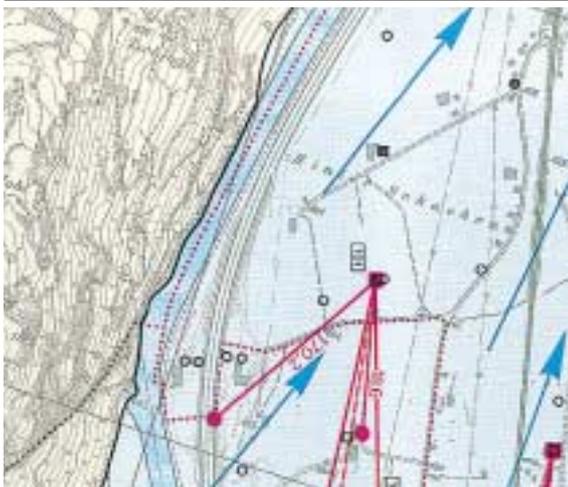
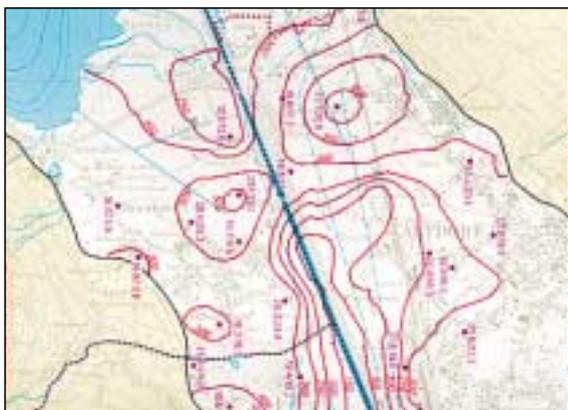


D'après Brigitta M. Amrein

- Colorant vert, point d'injection et points d'observation
- Colorant rouge, point d'injection et points d'observation
- Points d'observation sans réapparition de colorant
- Directions d'écoulement

pables de détecter des rayonnements telluriques ou des veines d'eau, s'aident de pendules ou de baguettes aux constructions et aux matières très diverses. Des essais comparatifs ont cependant montré que différents sourciers n'obtiennent pas les mêmes résultats sur une zone déterminée. Ce qui prouve une fois de plus que trouver de l'eau n'est pas toujours facile.

Cartes des eaux souterraines: visualiser l'invisible



L'exploration des eaux souterraines fournit des quantités énormes de données. Celles-ci sont analysées et cartographiées pour les besoins des utilisateurs – aménagistes, ingénieurs ou autorités. On établit ainsi des cartes indiquant par exemple l'écoulement des eaux souterraines, le niveau de la nappe phréatique et ses

variations (niveaux maximum, moyen, minimum), la perméabilité du sous-sol. D'autres répertorient les dangers qui menacent ces eaux – par exemple sites contaminés (décharges, aires industrielles), voies d'acheminement de marchandises dangereuses, etc.

Cette carte fournit des renseignements sur la dureté de l'eau (voir p. 17).

Cette carte détaillée visualise la direction et la vitesse d'écoulement des eaux souterraines (en mètres par jour).

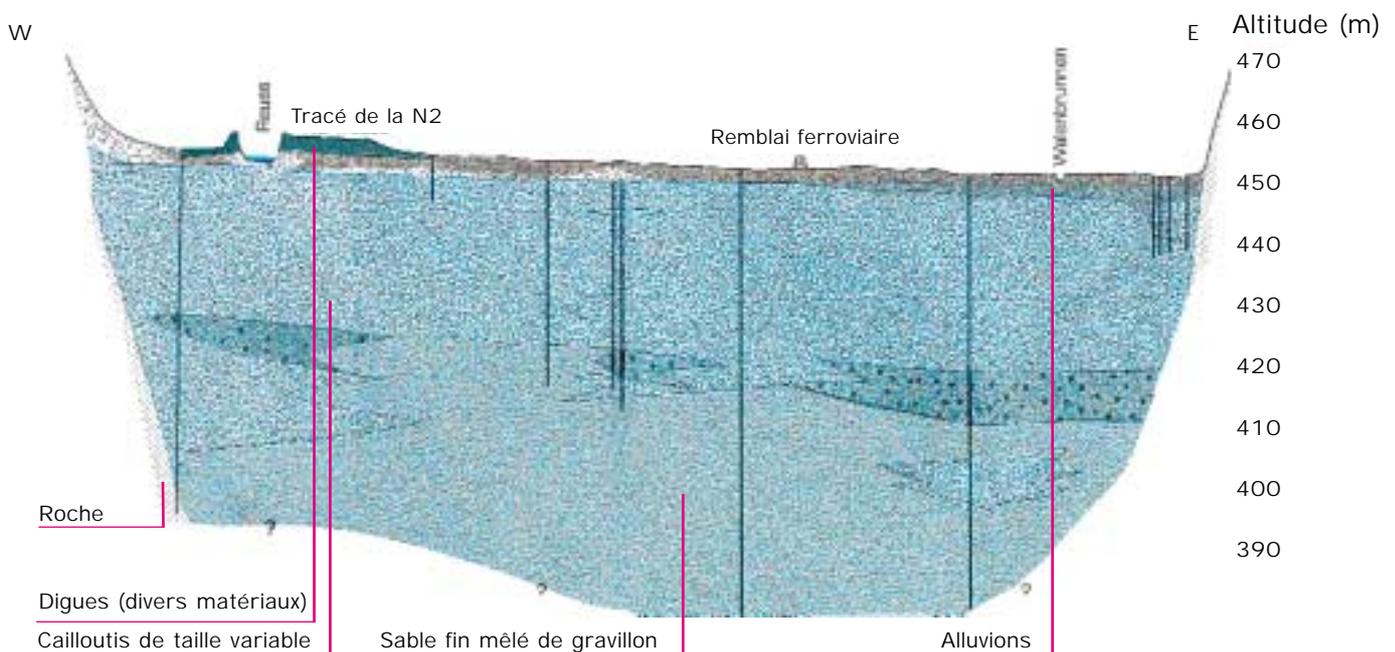
Celle-ci répertorie les sites ou zones susceptibles de polluer la nappe phréatique.

Cette carte réunit un grand nombre d'informations sur les eaux souterraines. Les couleurs, par exemple, indiquent le degré de perméabilité de l'aquifère (en bleu clair: la plus forte perméabilité). On y voit aussi les niveaux maxima et minima de la nappe, représentés par

des lignes rouges (maximum) et bleues (minimum). Les flèches rouges partant de la rivière montrent les endroits où une partie de son eau s'infiltrate dans le sous-sol. Et les captages sont représentés par un point entouré d'un cercle rouge.

Le profil ci-dessous figure une coupe à travers la vallée, à proximité du lac. Il montre les endroits et les profondeurs de forage, visualise la constitution du sous-sol et la profondeur de la nappe. Des points d'interrogation ont été

mis aux endroits où l'on est incertain sur la structure du sous-sol (en dessous des trous de forage). Mais il apparaît clairement que cette vallée recèle une nappe souterraine de volume considérable.



Capter de l'eau souterraine



Source karstique



Source vasque



Source submergée



Source incrustante



Quand de l'eau souterraine fait surface, elle forme des **SOURCES**.

C'est dans les Alpes, dans les forêts et dans les prés du Jura que l'on trouve le plus facilement des sources. Le débit est très faible pour certaines, dépasse les mille litres à la minute pour d'autres. On donne aux sources des noms différents selon la manière dont l'eau sort et selon la nature de la roche d'où elle vient.

L'eau souterraine qui affleure au plat ou dans une cuvette forme un cours d'eau (eau courante) ou une vasque (eau stagnante). Parfois elle sourd de manière presque imperceptible (source submergée).

Quand l'eau souterraine est très calcaire, elle recouvre tout ce qu'elle rencontre de fines concrétions calcaires (source incrustante). Celles-ci peuvent prendre avec le temps les formes de sculptures fantastiques, de terrasses ou de marches de travertin qui peuvent avoir plusieurs mètres de hauteur.

Les sources karstiques en provenance de réseaux souterrains aux grottes parfois immenses ont des débits extrêmement variables. Un orage sur le bassin versant peut transformer très vite un filet d'eau en torrent impétueux.

← Voici le captage d'une source; on n'en compte pas moins de 30 000 en Suisse!



LE RÉSERVOIR

stocke l'eau, dont la consommation varie énormément en cours de journée. Il assure une alimentation permanente et régularise la pression de l'eau. La moitié des eaux souterraines suisses est d'assez bonne qualité pour pouvoir servir d'eau potable telle qu'elle sort du sol. L'autre moitié doit être traitée avant de passer dans le réseau de distribution (voir p. 18).

Une fois captée, l'eau va dans

... d'où elle passe ensuite dans le réservoir.



Les services publics d'approvisionnement en eau fournissent annuellement un milliard de m³ d'eau potable – soit le volume du lac de Bière.

Proportions moyennes de l'eau potable en Suisse: 80% d'eau souterraine (40% de sources et 40% de puits) et 20% d'eau lacustre.



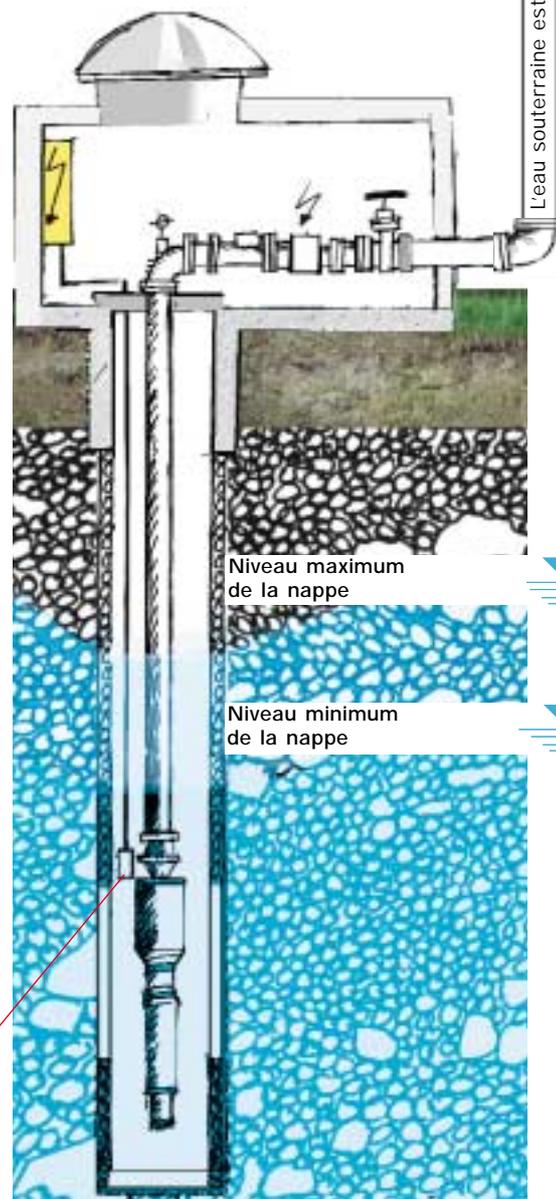
L'eau qui sort des robinets suisses vient de profondeurs très diverses et a des âges très variables.

Dans la vallée de l'Aar, entre Thoun et Berne, la nappe phréatique n'est qu'à quelques mètres de profondeur.

On la capte à Belpau, près de la surface du sol, pour alimenter la ville de Berne. Elle est reconstituée par l'Aar toute proche: l'eau du fleuve traverse lentement son lit et recharge ainsi la nappe. L'eau captée a ainsi séjourné quelques heures ou quelques jours sous terre. Il lui faut encore une journée pour passer de la station de pompage au robinet d'une habitation bernoise.

Il en va tout autrement de la nappe du Glattal, entre Uster et Dübendorf (ZH): elle s'étend sur 10 km, à 100 m de profondeur. En captant cette eau pour la première fois au début des années 1990 près d'Uster, pour le réseau d'alimentation, les scientifiques ont constaté qu'elle date de la dernière glaciation et n'a pas moins de 30 000 ans d'âge!

Quand l'eau souterraine ne vient pas d'elle-même en surface former une source, on fore **DES PUIITS** pour la pomper. Voici un captage vu de dessus quand on a ouvert le couvercle du puits.



PUITS FILTRANT

La pompe se trouve dans un tube filtrant, muni de fentes pour laisser passer l'eau. Le pompage abaisse la nappe en forme d'entonnoir (voir schéma). Si le niveau de l'eau descend trop bas, une électrode de contact arrête automatiquement la pompe.

Une qualité en devenir



Coupe schématique du sol et du sous-sol



ABSORPTION DE SUBSTANCES

Une goutte de pluie absorbe en tombant des gaz de l'atmosphère (azote, oxygène etc.) mais aussi des substances polluantes (gaz d'échappement, etc.).

A l'atterrissage, la goutte lave la suie des toits, la poussière de pneus sur la route, les grains de pollen des arbres, l'engrais des champs, le purin des prés, l'huile des parkings ...

Puis cette eau s'infiltré dans le sol.

Elle traverse plusieurs couches et se modifie en chemin.

PURIFICATION ET ENRICHISSEMENT

Le sol purifie de trois manières différentes l'eau qui s'infiltré :

Il exerce une action **physique**, en retenant la saleté comme un tamis. Cet effet filtrant aussi bien que la perméabilité du sol sont déterminés par sa porosité plus ou moins fine.

L'eau subit également des transformations **chimiques** et **biologiques** : dans la couche superficielle du sol, matières organiques (humus) et fines particules d'argile s'associent pour former le complexe argilo-humique. Celui-ci retient par combinaisons chimiques des substances – notamment polluantes – contenues dans l'eau.

Le sol connaît une vie microbienne intense dans ses horizons superficiels : des bactéries décomposent certaines substances indésirables, ce qui les neutralise. D'autres organismes, plus grands, « labourent » le sol et en préservent la porosité. Cela permet à l'eau de s'infiltrer, et au sol d'exercer sa fonction de filtre. La faune du sol se trouve en majeure partie dans les 35 premiers centimètres.

Les végétaux participent également à la purification de l'eau, en absorbant par leurs racines les substances nutritives contenues dans le sol et dissoutes dans l'eau.

Les animaux du sol inspirent de l'oxygène et rejettent du gaz carbonique (CO_2) ; celui-ci se dissout dans l'eau qui descend vers les profondeurs. Il en résulte de l'acide carbonique (H_2CO_3) qui rend l'eau **acide** (voir p. 16). A partir d'une certaine concentration, cette acidité a la propriété de dissoudre **des substances minérales** ambiantes – d'où une minéralisation de l'eau (surtout en **calcaire**, voir p. 16).

Au-dessous des horizons organiques et vivants se trouve **le sous-sol naturel**. Celui-ci ne contient pratiquement plus de matière organique et forme un mélange d'éléments rocheux de taille très variable. Les plus petits sont les particules d'argile (inférieurs à 0,002 mm), suivis par le limon (jusqu'à 0,06 mm), le sable (jusqu'à 2 mm), le gravier (2 mm à 6 cm), les galets (6 à 20 cm) et les blocs (plus de 20 cm). Leurs proportions respectives déterminent les propriétés filtrantes (physiques) du sol. Seules les particules d'argile (non associées à l'humus) réalisent encore une purification chimique de l'eau dans ces couches inférieures.

L'eau finit par rencontrer **une couche imperméable** de marne ou de roche compacte, qui la retient. S'y accumulent également des polluants plus denses que l'eau.

jusqu'à 1,5 mètre

jusqu'à plusieurs centaines de mètres

L'eau ne peut traverser un sol bétonné ou goudronné, donc «imperméabilisé». Elle est ainsi canalisée et ...



DANS L'AQUIFÈRE DE ROCHES MEUBLES

C'est en s'infiltrant dans les alluvions fluvioglaciales d'une vallée que l'eau est le mieux nettoyée – l'horizon d'humus y est le plus épais d'une part; et d'autre part, les couches sous-jacentes de gravier et de sable mêlés d'argile achèvent de purifier l'eau. Les eaux souterraines de faible profondeur situées dans les cailloutis fluviaux constituent de loin la plus importante ressource d'eau potable (40%) en Suisse. Les fins dépôts d'anciennes crues y protègent généralement très bien les nappes, même situées à proximité de la surface.

Les nappes situées plus bas sont encore plus à l'abri des pollutions. Mais il est plus rare que l'on s'en serve pour l'alimentation en eau potable, car forages et captages à grande profondeur coûtent cher – et ces eaux sont souvent trop minéralisées (voir p. 16).

DANS L'AQUIFÈRE KARSTIQUE

La couche de terre organique (humus) est plus mince dans les zones karstiques du Jura et des Préalpes que dans les vallées et en plaine. Ces zones comportent des dépressions (dolines) qui résultent de l'affaissement du sol au dessus de cavités. Le réseau de galeries et d'anfractuosités diverses n'a pas la propriété de filtrer l'eau qui s'y écoule rapidement, de sorte que celle-ci est souvent trouble et polluée. Si on veut l'utiliser comme eau potable (15% ont une origine karstique en Suisse), il faut normalement la filtrer et la désinfecter ; ou bien forer en profondeur, où l'eau est mieux protégée.

DANS L'AQUIFÈRE FISSURÉ

Dans les Alpes comme dans un relief karstique, la terre meuble est généralement mince – ou totalement absente. C'est en outre souvent la seule couche capable de purifier et de filtrer l'eau qui repose directement sur la roche mère. Très fissurée sur les premiers mètres, celle-ci comporte de moins en moins de fentes et de fractures en profondeur. Ce système n'agit guère sur la qualité de l'eau qui s'infiltré. Un quart environ de l'eau potable suisse provient d'aquifères fissurés; une partie de cette eau doit être traitée avant consommation.

Le total des surfaces imperméabilisées en Suisse correspond presque à la grandeur du canton de Fribourg (soit 3,5% de la superficie du pays).



STEP

... souvent conduite directement vers une station de dépollution des eaux usées (STEP). Ces précipitations n'enrichissent pas la nappe ...

MINÉRALISATION

Les substances minérales – genre et quantité – que dissolvent les eaux souterraines dépendent des roches contenues dans le sous-sol et l'aquifère, et de leur solubilité. Un autre facteur important est la teneur en gaz carbonique de l'eau qui s'infiltré – plus l'eau est carbonatée, plus son action dissolvante est intense. La production de CO_2 qui se dissout ensuite dans l'eau est particulièrement abondante sous un climat chaud et dans un sol fertile.

L'eau carbonatée attaque les roches calcaires du Jura et des Préalpes et finit par les ronger profondément. Toutefois, les sols minces et le climat rude des montagnes limitent la production de CO_2 . En outre, son écoulement rapide en milieu karstique laisse à l'eau peu de temps pour dissoudre le calcaire. Il en résulte que les eaux des zones karstiques calcaires ne sont pas extrêmement minéralisées bien qu'elles traversent des roches solubles.

L'eau de St-Sulpice, dans le Jura neuchâtelois, contient environ 300 milligrammes de substances minérales par litre (mg/l); avec ses 13,5 degrés français ($^{\circ}\text{F}$) de dureté, on la considère comme douce (degrés de dureté, voir p. 17).

L'infiltration dans les roches meubles d'une plaine alluviale est beaucoup plus lente, et l'eau absorbe dans les sols fertiles davantage de CO_2 que dans un relief karstique. Son pouvoir dissolvant accru lui permet ainsi d'enlever des quantités plus importantes de substances minérales aux galets calcaires. L'eau souterraine d'Oberriet (SG) est plus minéralisée que les eaux souterraines du Jura: avec ses 500 mg/l et ses 30 $^{\circ}\text{F}$, elle est considérée comme dure.

Si l'eau d'origine météorique est polluée par des substances acides («pluies acides»), elle se minéralise encore plus lors de son infiltration et peut même, dans les cas graves, dissoudre des métaux lourds. Il existe par ailleurs des eaux naturellement acides, par exemple celles qui ont traversé une tourbière.

Les Alpes sont formées en partie de roches siliceuses (p.ex. granite, gneiss, amphibolite), très peu solubles. L'eau ne trouve guère de minéraux à dissoudre dans ces zones pratiquement dépourvues de calcaire; elle y est ainsi très peu minéralisée et, souvent, légèrement acide.

L'eau de source de la Cima del Bosco, près d'Airolo (TI), traverse gneiss, schistes et amphibolites du massif du Gothard. C'est une eau particulièrement douce (6 $^{\circ}\text{F}$) qui ne contient que 120 mg/l de substances minérales.

Les principales substances minérales en solution dans l'eau sont: calcium, magnésium, sodium, potassium (ions positifs ou cations), et aussi bicarbonates (hydrocarbonates), sulfates, chlorures et nitrates (ions négatifs ou anions).

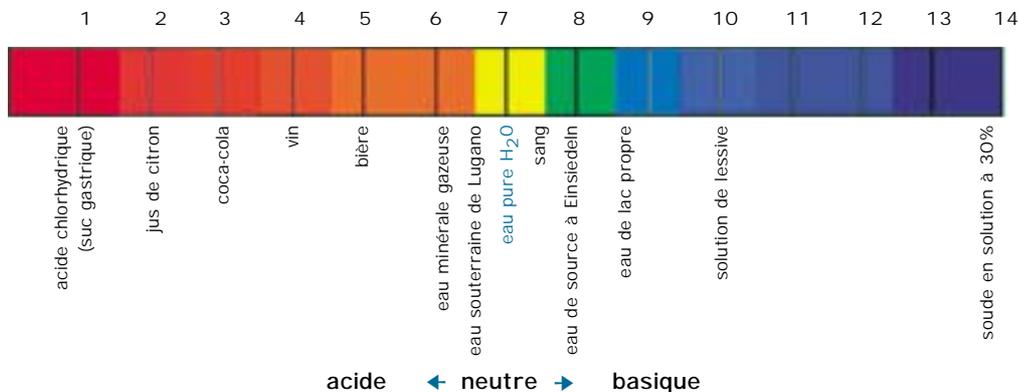
En Suisse, les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes ainsi que bicarbonatées calciques occupent une position largement dominante dans les captages d'eau potable.

On trouve beaucoup plus rarement des eaux qui ont traversé des gisements de gypse (eaux sulfatées calciques) ou de sel gemme (eaux chlorurées sodiques), ou encore qui sont restées si longtemps dans le sous-sol qu'elles ont dissous même des substances peu solubles (p.ex. eaux bicarbonatées sodiques).

LES DEUX CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES

1. Le **pH** indique dans quelle mesure un liquide est **acide ou basique** (alcalin). Le suc gastrique, par exemple, a un pH égal à 1 (acidité très forte), tandis que l'eau pure (H_2O) est neutre – ni acide ni basique – avec un pH de 7. La soude caustique (à 30%), extrêmement basique, a un pH de 14.

L'eau naturelle peut être légèrement acide ou basique: l'eau minérale gazeuse est acide (pH = 6), tandis que l'eau de lac est basique (pH = 8,3).



Un liquide est dit **acide** lorsque son pH est inférieur à 7. On détermine le degré d'acidité de l'eau à l'aide d'un papier indicateur de pH, muni d'une échelle: plus l'eau est acide, plus la coloration du papier virera au rouge. Une telle eau n'est pas souhaitable et doit être désacidifiée avant distribution pour éviter, notamment, qu'elle n'attaque les conduites.

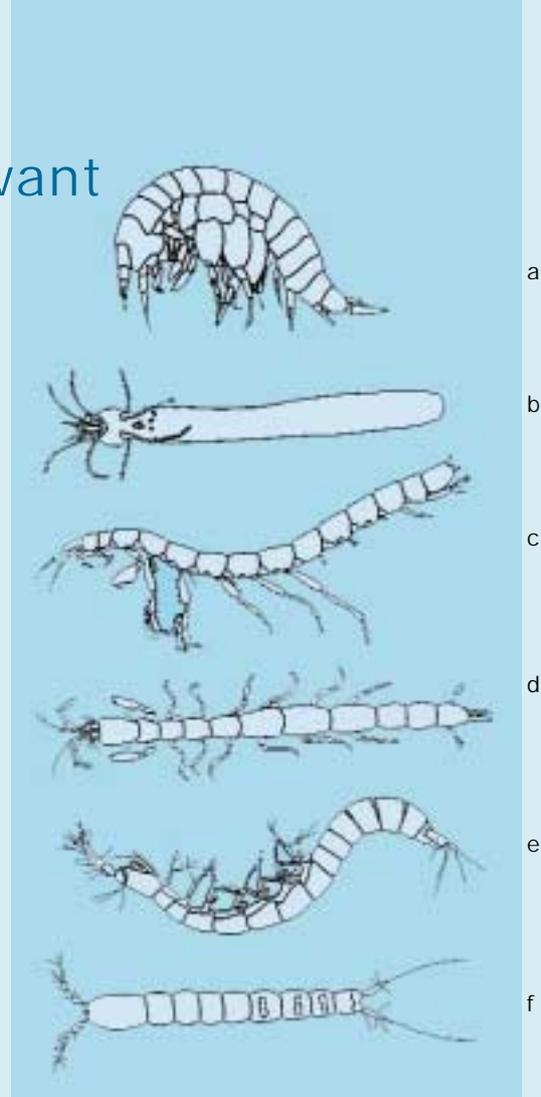
Eaux souterraines: milieu vivant

On croyait autrefois qu'il n'y avait aucune vie dans le sous-sol. Mais en 1689, des paysans ont raconté à un chercheur avoir vu, dans une source karstique de Slovénie, un drôle d'animal. C'était le protée, qui appartient au même ordre que les salamandres. Mais il n'a ni yeux ni couleur, du fait que son existence se déroule entièrement dans l'obscurité des eaux souterraines.

On a découvert depuis lors d'autres êtres vivant dans les eaux souterraines, dans le karst mais également dans les pores de formations alluvionnaires. Eux aussi sont dépourvus d'yeux et de pigmentation. Autres points communs: ils sont disséminés, allongés, petits, ont des pattes peu développées, se déplacent en ondulant. Inoffensifs, ces animaux aquatiques (ingolfiella, microcerbus, etc.) mesurent pour la plupart moins d'un millimètre.

Comme les eaux souterraines contiennent peu d'éléments nutritifs et d'oxygène, le métabolisme de ces organismes est très lent. Ils vivent ainsi quinze fois plus longtemps que leurs cousins des eaux superficielles (torrents, rivières ou lacs) au métabolisme plus rapide.

Les cavités du karst offrent davantage de place et leurs habitants sont plus grands. Outre le protée (qui ne vit que dans le karst dinarique en Italie, Slovénie, Croatie et Bosnie-Herzégovine), on y trouve entre autres des coquillages.



a) Salentinella b) Wandesia
c) Ingolfiella d) Microcerbus
e) Leptobathynella f) Parastenocaris

Niphargus

Proasellus

Escargot du karst



2. La **DURETÉ DE L'EAU** dépend de la quantité de calcium et de magnésium qu'elle contient. En Suisse, c'est essentiellement la teneur en calcaire qui détermine la dureté de l'eau. On l'indique en degrés français (°F):

	Carbonate de calcium (calcaire) en mg/l	degrés français
Eau douce	0 - 150	0 - 15
Eau moyennement dure	150 - 250	15 - 25
Eau dure	plus de 250	25 et plus

Comment reconnaît-on la dureté de l'eau dans la vie quotidienne? Une eau dure bouche les trous des pommes de douche et entartre les casseroles. Ces dépôts indésirables sont pourtant ce qui fait la valeur d'une eau minérale! L'eau douce, en revanche, ne laisse aucune trace.

Eaux souterraines: traitement et utilisation

La moitié des eaux souterraines que nous consommons n'a besoin d'aucun traitement: en Suisse, l'eau potable provient à 80% du sous-sol (40% de sources et 40% de puits filtrants) et à 20% d'eaux superficielles (lacs). L'eau des lacs doit toujours être traitée en plusieurs étapes pour atteindre

la qualité requise d'une eau potable. Tandis que la moitié des eaux souterraines peuvent être distribuées telles quelles, avec une qualité égale à celle de l'eau minérale en bouteilles. L'autre moitié doit être traitée, en une ou plusieurs opérations.

L'eau qui passe ici est traitée par des ultraviolets



Filtrage: On filtre l'eau pour la débarrasser des matières en suspension.

Désinfection: Il faut désinfecter l'eau polluée par du purin, du fumier ou des fuites dans les égouts. Eau de Javel, chlore ou dioxyde de chlore ont une action durable, mais laissent aussi un arrière-goût désagréable si le dosage est élevé. Une désinfection aux rayons UV ne donne aucun goût à l'eau, mais ce traitement n'a pas l'effet prophylactique du chlore; il en va de même pour le conditionnement à l'ozone.

Mélange: Une eau contenant trop de polluants peut être mélangée à celle d'un autre captage, plus pure. Mais cela ne résout le problème qu'au niveau de la distribution d'eau, sans agir sur la nappe polluée. L'ordonnance sur la protection des eaux exige que l'on s'attaque aux causes, raison pour laquelle la Confédération finance par exemple des projets de réduction des nitrates («Action N – moins de nitrate dans l'eau»).

Désacidification: L'eau des nappes souterraines est acide à quelques rares endroits dans notre pays et doit être traitée en conséquence pour éviter qu'elle n'attaque les conduites. A Lugano, le service de distribution fait passer l'eau acide et très douce à travers des roches dolomitiques riches en calcaire – ce qui permet d'établir un équilibre entre gaz carbonique et calcaire, donc de «désacidifier» l'eau. En Suisse, cette opération est nécessaire au Tessin uniquement.

Seule une petite partie de l'eau doit être traitée en plusieurs étapes pour être rendue potable – à savoir un cinquième des eaux souterraines pompées et un dixième des eaux de sources. Les méthodes à combiner seront par exemple filtrage et floculation (voir aération), etc. En général, il y a au moins une filtration mécanique et une désinfection; plus rarement, filtration complémentaire sur charbon actif et aération spéciale. On utilise de plus en plus la filtration sur membrane, méthode moderne qui retient même des bactéries ou des substances dissoutes.

Aération: Il s'agit d'aérer l'eau pauvre en oxygène, qui peut contenir trop de fer ou de manganèse (métaux). Quand cette eau entre en contact avec de l'air, le métal en solution réagit et forme des petits flocons qui troublent l'eau (floculation). Une telle eau pauvre en oxygène est donc aérée artificiellement et ensuite les matières en suspension sont filtrées. Cette opération est très rarement nécessaire en Suisse.

← TRAITEMENT SIMPLE

→ TRAITEMENT MULTIPLE

EXPLOITER LA CHALEUR

L'eau souterraine est d'autant plus chaude qu'elle vient d'une plus grande profondeur – sa température augmente en moyenne de 3°C par 100 mètres.

La commune argovienne de Seon exploite ce phénomène, en pompant à 300 m de profondeur une eau à 19,5°C. Mais l'eau potable distribuée aux ménages n'a que 10°C: l'énergie prélevée dans l'intervalle permet de chauffer une piscine couverte, un sauna, un pavillon du club de football, 30 maisons individuelles et 6 maisons locatives totalisant 61 logements. Seon n'est pas seule: le canton d'Argovie compte 270 installations d'utilisation géothermique d'eaux souterraines; le canton de Berne, plus de 870.



La Suisse occupe ici le peloton de tête: ses 70 watts/habitant d'énergie géothermique la placent au troisième rang derrière l'Islande et la Nouvelle-Zélande. Et la moitié de cette énergie provient d'eaux souterraines (stations thermales, nappe phréatique, eau chaude des tunnels).

Un moyen plus simple et plus direct d'apprécier les eaux thermales est de s'y baigner, comme cela se fait dans 15 localités suisses. Du temps des Romains déjà, les thermes de Baden (AG), de Lostorf (SO) et d'Yverdon-les-Bains faisaient partie d'un véritable mode de vie. Les stations thermales ont connu d'autres périodes florissantes en Suisse: au 15e siècle lieux de mondanités pour qui pouvait se l'offrir, au 19e siècle centres de cure où l'on soignait presque toutes les maladies.

Le culte du bien-être («wellness») en vogue de nos jours donne une nouvelle vie à la tradition des stations thermales.



Chaque habitant de la Suisse consomme en moyenne 162 litres d'eau par jour!

La répartition:

chasses d'eau	47.7 l ou 29.5%
bain et douche	31.7 l ou 19.6%
lave-linge	30.2 l ou 18.6%
cuisson, boisson, vaisselle à la main	24.3 l ou 15.0%
soins du corps, linge lavé à la main	20.7 l ou 12.8%
divers	3.8 l ou 2.3%
lave-vaisselle	3.6 l ou 2.2%

Source: SSIGE



Que d'eau, que d'eau ...

Si l'on ajoute l'eau utilisée par l'agriculture, l'industrie et l'artisanat, on arrive à un total estimé à 2700 litres par habitant de la planète – et cela jour après jour! Cela fait un million de litres par personne et par année...

L'eau, facteur de production:

Les objets bien secs de votre salon ne révèlent rien des quantités d'eau requises pour les produire: il a fallu par exemple 60 litres d'eau pour réaliser le coussin en coton de 600 g qui orne votre canapé. Et la fabrication de votre poste de télévision a nécessité environ 1000 litres d'eau.

Les Suisses «consomment» également beaucoup d'eau avec les importations de fruits et de légumes étrangers.

Eaux souterraines: menaces biologiques et chimiques



Décharges et sites contaminés

Il y a quelques années encore, on ne se préoccupait guère de l'impact écologique que pouvaient avoir nos activités de consommation. Pertes diverses et fuites dans les canalisations polluaient le sol à quantité d'endroits. On comptait sur la capacité d'épuration du sol, censé protéger les eaux souterraines. Aujourd'hui encore, beaucoup de sites contaminés par des substances nocives menacent les eaux souterraines. Il en va de même pour les dépotoirs où l'on a amoncelé n'importe quels déchets sans cloisons étanches pour protéger les eaux naturelles.

Il y a en Suisse quelque 50 000 sites contaminés, dont 4000 devront être assainis au cours des 20 années à venir. Les nouvelles décharges sont aménagées et isolées de manière à éviter tout risque de pollution des eaux souterraines.

Eaux usées, fuites, accidents

Les égouts qui ont des fuites sont un danger pour les eaux souterraines. Il est donc indispensable de les contrôler et de les entretenir régulièrement. L'autorisation de poser des canalisations à travers une zone de protection des eaux souterraines, donnée à titre exceptionnel, est assortie de conditions rigoureuses (p.ex. tubes à double paroi) (voir p. 26).

Si du carburant s'échappe d'une colonne d'essence ou d'un réservoir, cela peut porter atteinte aux eaux souterraines (voir p. 22). Les stations-service sont par conséquent soumises à des normes de sécurité très sévères. Des accidents, lors de la production ou du transport de substances dangereuses, peuvent aussi avoir de graves répercussions sur les sols et les eaux souterraines. En Suisse, une « ordonnance sur les accidents majeurs » et une « ordonnance sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les polluer » définissent les règles à respecter dans ce domaine.

Polluants atmosphériques

L'air est pollué par les gaz émis par les véhicules, l'industrie et les chauffages privés, ainsi que par l'ammoniac des exploitations agricoles. Il transporte ainsi des quantités importantes de composés azotés – en moyenne 30 kg par hectare et par année. On dépasse ainsi nettement la limite critique de 20 kg.

Les pluies rabattent ces polluants dans le sol; mais les sols suisses qui ont suffisamment de calcaire tamponnent bien les pluies acides. Tandis que celles-ci acidifient de façon pernicieuse les sols et les eaux dans certaines régions du Canada ou de la Scandinavie. Nos eaux souterraines échappent au risque d'acidification.

Une eau acide (pH inférieur à environ 6,5) doit subir un traitement pour pouvoir être distribuée; sinon, elle attaquera les conduites de distribution (voir p. 18).

Agriculture: engrais de ferme et produits phytosanitaires

Purin, fumier ou jus s'écoulant des silos peuvent polluer gravement le sol et les eaux, et même atteindre directement la nappe phréatique dans le cas de sols très perméables. Les engrais de ferme apportent de l'azote organique dans le sol, où des bactéries le transforment en nitrates solubles. Si les quantités de nitrates dépassent les besoins des cultures, l'excédent est lessivé jusque dans les eaux souterraines. Une teneur en nitrates de 1 à 6 mg/l est normale; elle peut atteindre 40 mg/l et plus dans les zones de cultures agricoles et maraîchères intensives (voir p. 21).

Les produits phytosanitaires ne font pas que détruire parasites et mauvaises herbes, mais laissent parfois des résidus persistants que l'on retrouve encore dans les eaux souterraines des dizaines d'années plus tard. Leur emploi est particulièrement discutable dans les zones de protection des eaux souterraines (voir p. 26).

Médicaments, substances hormonales

Quand on évacue dans les égouts des médicaments, des hormones ou des substances à effet hormonal, ces substances peuvent aboutir dans les eaux souterraines par des fuites ou par infiltration d'eaux superficielles. Les engrais de ferme peuvent contenir des quantités appréciables d'hormones et d'antibiotiques vétérinaires qui risquent également de finir dans la nappe. Innombrables sont les substances chimiques utilisées quotidiennement et évacuées dans l'environnement. Même les stations d'épuration ne les retiennent qu'en partie. Beaucoup de ces produits aboutissent ainsi dans les eaux naturelles. Leurs effets sur l'homme et les animaux font encore l'objet de recherches: en Suisse, plusieurs programmes étudient la problématique des substances hormonales.

LE COMPORTEMENT DE CERTAINES SUBSTANCES DANS LE SOUS-SOL

Produits phytosanitaires (pesticides)

Les pesticides protègent les plantes cultivées contre maladies et « ravageurs », et éliminent les concurrentes qui leur disputeraient lumière et substances nutritives. Les substances utilisées sont ainsi aussi diverses que les fonctions à remplir.

Certains pesticides adhèrent à des particules de sol, d'autres se dissolvent dans l'eau. Ces derniers sont spécialement dangereux pour les eaux souterraines. Par bonheur, deux mécanismes freinent le processus de lessivage: d'une part, les racines absorbent des pesticides avec l'eau (c'est d'ailleurs pour certains leur mode d'action); d'autre part, certains organismes du sol décomposent une partie des pesticides dissous dans l'eau.

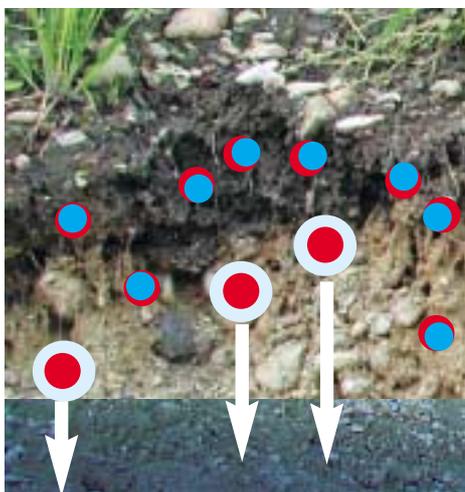
Mais ces produits constituent un problème et n'ont rien à faire dans les eaux souterraines. Actuellement, les substances actives autorisées en Suisse sont au nombre de 400 environ. On ne connaît pas le comportement dans le sol d'un tiers d'entre elles, faute de méthodes d'analyse simples et avantageuses. Et l'on ne sait pas grand chose des effets combinés que divers résidus mélangés dans l'eau peuvent avoir sur l'environnement et la santé humaine. C'est pourquoi les quantités de pesticides tolérées dans les eaux souterraines sont très faibles.

Eaux usées

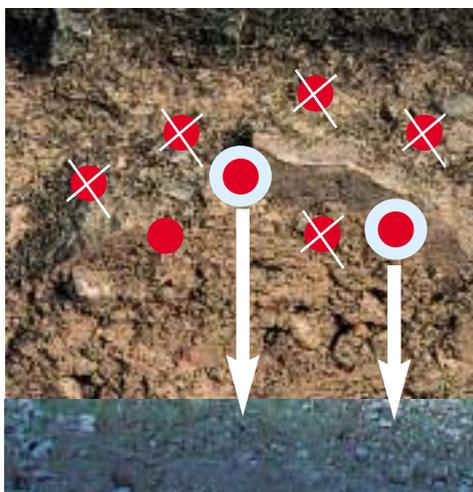
Des fuites dans les égouts sont doublement dangereuses pour les eaux souterraines: d'une part, les eaux usées envahissent alors directement le sous-sol, sans subir l'effet filtrant de la terre végétale; d'autre part, ces eaux d'égouts forment un mélange de matières qui regorgent de microorganismes en partie pathogènes. Ces agents pathogènes ne prospèrent normalement que dans un organisme vivant, et la plupart d'entre eux disparaissent assez rapidement avec les conditions qui règnent dans le sous-sol. De plus, bactéries, virus et unicellulaires se déplacent difficilement sous terre; ils restent fixés à des particules solides ou sont absorbés par d'autres microorganismes. Le risque de pollution des eaux souterraines par des agents pathogènes est donc assez faible avec la protection qu'apporte un sol continu et suffisamment épais. Comme ce n'est pas le cas lorsque des égouts sont posés sous terre, il est interdit de poser des canalisations à travers une zone de protection S2 (voir p. 26).

Engrais

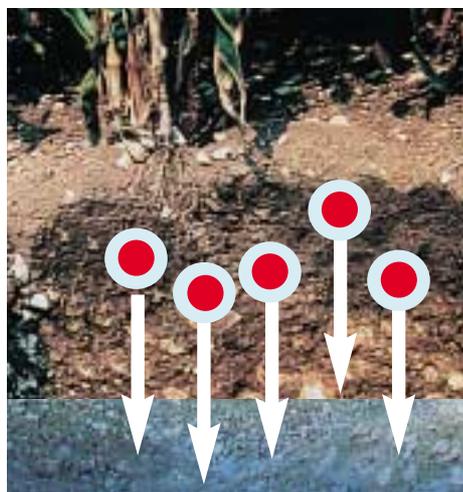
Azote, phosphore et potassium sont les principales substances fertilisantes. Pour les eaux souterraines, c'est surtout l'azote sous forme de nitrates qui constitue un problème. Contrairement au phosphate, le nitrate s'associe très volontiers à l'eau et ne manifeste aucune tendance à se fixer sur des particules de sol. Il est donc facilement lessivé jusque dans la nappe. C'est particulièrement le cas dans les zones agricoles du Plateau suisse. De fortes teneurs en nitrates dans les eaux souterraines indiquent que les méthodes d'exploitation agricole ne tiennent pas assez compte de la situation locale, ou simplement que l'on épand trop d'engrais au mauvais moment. Cela signifie aussi que d'autres substances beaucoup plus dangereuses (produits phytosanitaires) peuvent être entraînées dans la nappe phréatique. Des nitrates dans les eaux souterraines, c'est une fertilisation mal placée qui contribue à déséquilibrer notre environnement.



A moins d'être décomposés ou retenus dans le sol (cercles rouges/bleus), les pesticides dissous sont lessivés jusque dans la nappe phréatique.



Si la fuite n'est pas trop proche du point de captage, la plupart des agents pathogènes meurent avant que l'eau ne soit prélevée.

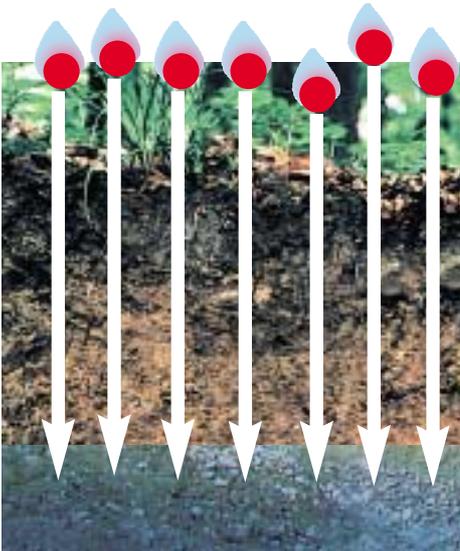


Les nitrates ne se fixent pas sur des particules de sol; les excédents se dissolvent aisément et descendent avec l'eau d'infiltration jusque dans la nappe.

MTBE

Le méthyl-tert-butyléther (MTBE) est l'un des produits de synthèse les plus importants sur le plan quantitatif, qui a remplacé le plomb comme additif anti-détonant dans l'essence. En Suisse, l'essence super en contient environ 8% et l'essence normale moins de 2%. Et comme on circule énormément dans ce pays, la consommation annuelle de MTBE atteint près de 100 000 tonnes. La plus grande partie de cette substance se diffuse dans l'atmosphère avec les vapeurs d'essence (quand on fait le plein et depuis les réservoirs des véhicules). Le MTBE se décompose en quelques jours sous l'effet de la lumière; mais une partie est absorbée par la pluie et entraînée dans le sol. Ou bien il se répand dans le sol par des fuites ou des accidents.

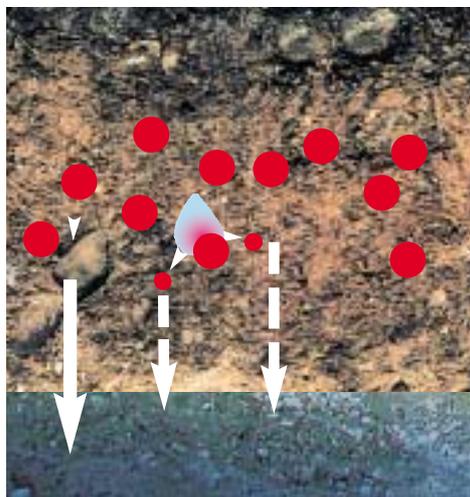
Le MTBE résiste à la décomposition dans le sol: il n'est retenu ni par l'humus ni par les particules d'argile, et descend avec l'eau d'infiltration. Alors que l'on trouve dans certaines zones des traces infimes de MTBE dans un quart des prélèvements d'eaux souterraines, d'autres régions ne sont guère touchées jusqu'à présent. Les concentrations observées dans notre pays ne sont pas dangereuses en l'état actuel des connaissances, mais les responsables suivent l'évolution du phénomène avec beaucoup de vigilance.



Le MTBE file sans frein vers les profondeurs.

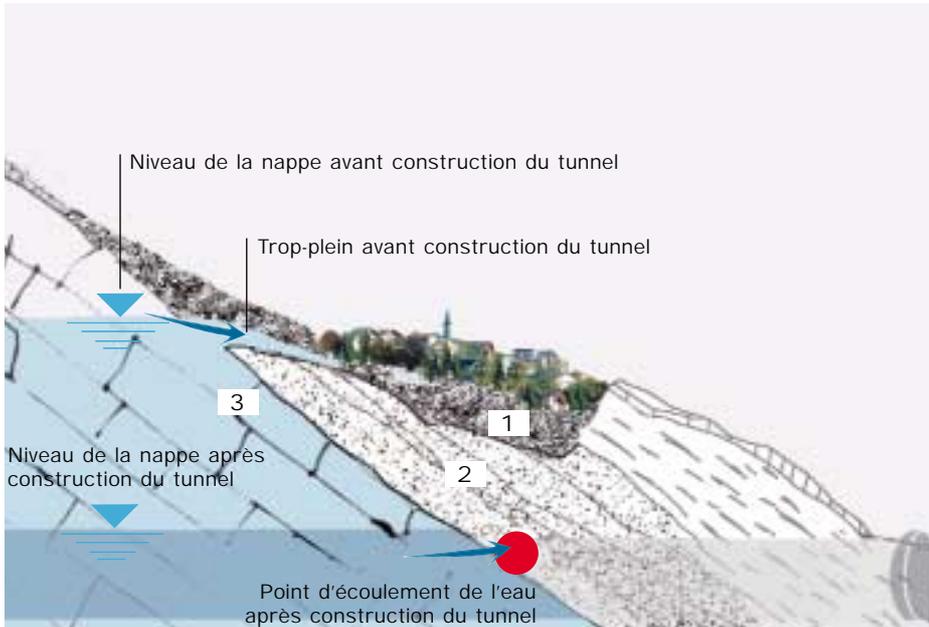
Cuivre

Le cuivre est un métal lourd, indispensable à petites doses pour tout organisme vivant. Mais en quantités plus importantes c'est un poison. On s'en sert surtout pour protéger les vignes contre des maladies fongiques. Comme les autres métaux lourds, ● le cuivre se lie avec les particules de sol et ne descend pas jusque dans la nappe. Il faut cependant relever que si le sol s'acidifie, les métaux lourds deviennent plus mobiles et peuvent même être lessivés en profondeur. C'est surtout grâce à l'humus que le cuivre reste fixé dans la couche de terre arable. La présence de cuivre dans les eaux souterraines est ainsi tout à fait exceptionnelle.



Le cuivre (rouge) reste fixé dans le sol, à moins qu'un excès d'acidité ne libère les métaux lourds.

Eaux souterraines: vulnérables aux interventions physiques également



ST GERMAN ET LE NIVEAU DE LA NAPPE

Novembre 2001: c'est l'alarme à St German, petit village vigneron situé au-dessus de Rarogne (VS). Le sol s'est affaissé en quelques jours de 6 cm à certains endroits; de nouvelles fissures sont apparues dans les murs des maisons, et les anciennes se sont tout à coup élargies. Que se passe-t-il? Pour comprendre, il faut jeter un coup d'œil sur la géologie locale (illustration ci-dessus). Le village se trouve sur une combe remplie d'éboulis (1), sur un fond de marne (roche argileuse) imperméable (2). Au-dessous, la nappe de l'aquifère karstique (3). Cette eau s'accumule derrière la marne étanche. Au-dessus du village et de la zone marneuse, les eaux de la nappe s'écoulent sous terre comme par un trop-plein, à travers les éboulis sur lesquels le village a été construit. Telle était la situation jusqu'à l'automne 2001.

C'est alors que l'on a commencé de construire le tunnel de base du Lötschberg, depuis Rarogne en direction de Frutigen. Quand les tunneliers ont traversé la marne pour creuser dans le calcaire, c'est comme si l'on avait enlevé le bouchon d'une baignoire: l'eau accumulée dans la roche s'est écoulée dans le tunnel au lieu de passer par la zone d'éboulis. Les spécialistes avaient prévu cela, mais sans compter que ces

éboulis contenaient aussi des couches de tourbe (vestiges d'anciens marais). La tourbe se gorge d'eau comme une éponge. En l'absence d'eau souterraine, «l'éponge» s'est vidée et la tourbe a été comprimée. Les maisons bâties sur ce fond ont subi un affaissement plus ou moins prononcé.

Le sol a continué de se tasser – de 20 cm à certains endroits – jusqu'à l'automne 2002. Par bonheur, ce mouvement a pratiquement cessé, et les spécialistes pensent que le sol ne bougera plus. Les habitants de St German commencent maintenant à réparer leurs maisons.



CONSTRUIRE DANS L'EAU

Comme le terrain à bâtir se fait rare en Suisse, on construit en profondeur – toujours plus souvent jusque dans la nappe phréatique. Les fondations peuvent alors altérer durablement la circulation et le régime des eaux souterraines. Il y a aussi le risque de polluer la nappe: durant les travaux, c'est comme si l'on opérât «à ventre ouvert». Des interventions au-dessous du niveau moyen de la nappe ne sont admises qu'exceptionnellement: elles requièrent une autorisation spéciale, assortie de conditions et de mesures de protection dont la sévérité augmente parallèlement à la proximité d'un point de captage.



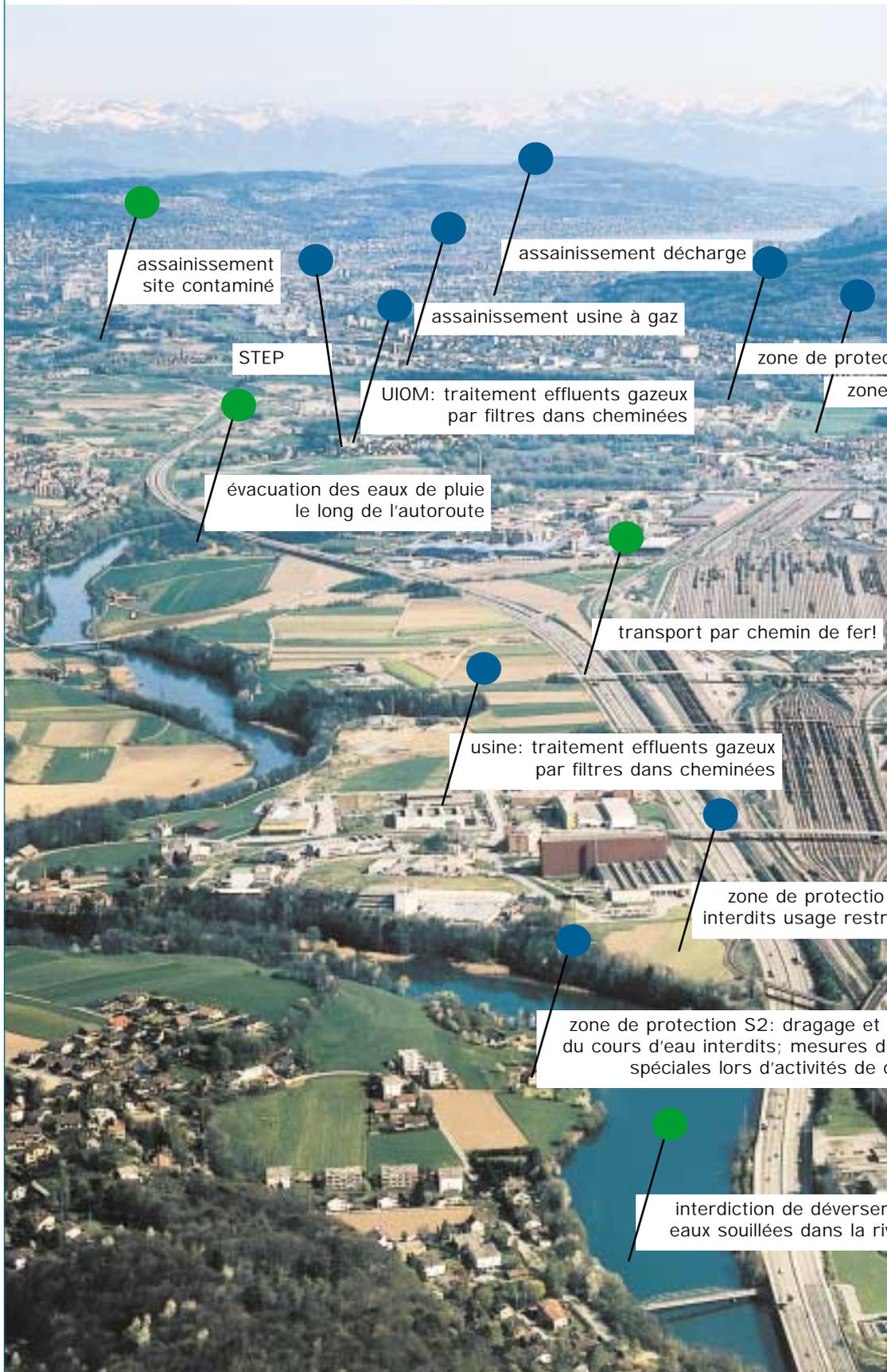
Eaux souterraines: protection indispensable

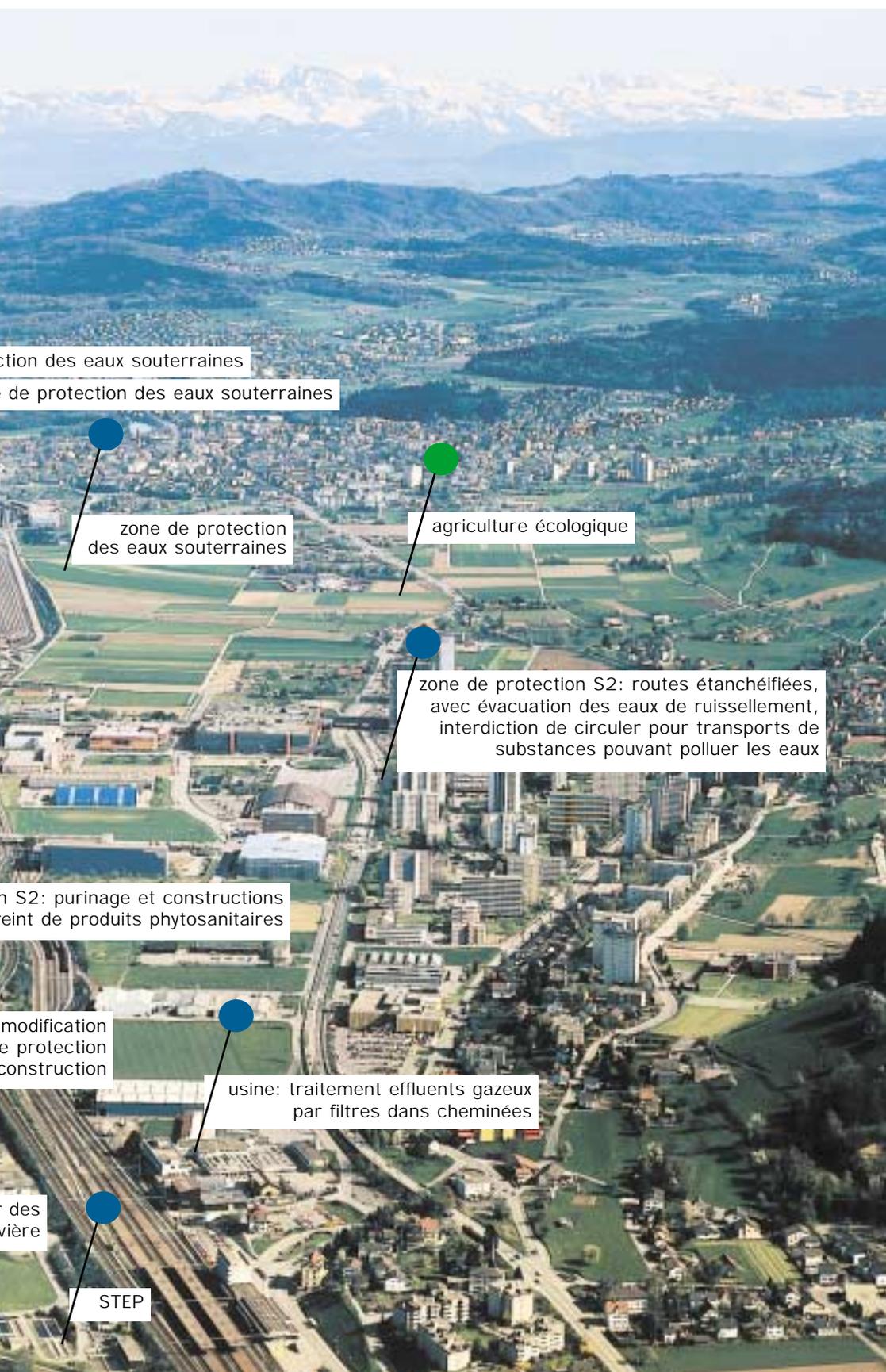
GRAVIÈRES

L'importance des vastes gisements de roches détritiques que l'on trouve en plaine ne se limite pas à l'eau potable: le gravier est un précieux matériau de construction, exploité à grande échelle depuis les années cinquante. Les meilleures gravières sont en même temps des réserves essentielles d'eau potable.

Il en résulte une collision d'intérêts différents, sinon divergents. Si l'on enlève les filtres naturels que constituent la terre végétale et le gravier, l'eau souterraine se trouve exposée à toutes sortes d'atteintes dont sa qualité et sa quantité peuvent souffrir. La loi garantit un minimum de protection: si la nappe sous-jacente est exploitable, l'exploitant de la carrière doit laisser une couche filtrante de quelques mètres d'épaisseur au-dessus du niveau maximum de la nappe phréatique. Mais la fonction protectrice de cette couche est très affaiblie; et même si, après exploitation, on remblaie soigneusement la gravière de matériaux non souillés, son effet protecteur reste inférieur à celui du sol et du gravier originels. Il convient ainsi de procéder désormais à des exploitations juxtaposées du gravier et de l'eau souterraine, et non plus superposées comme c'est souvent le cas aujourd'hui. On peut encore atténuer ce conflit d'intérêts en remplaçant le gravier par d'autres matériaux: moraines (zones latérales des vallées), matériaux d'excavation et de déblai, ou gravats traités convenablement. Cela devrait couvrir environ un tiers des besoins.

La Suisse densément peuplée est le théâtre d'intérêts parfois contradictoires. Il faut assurer sur son territoire exigu une cohabitation aussi harmonieuse que possible de fonctions très diverses – habitat, industrie, artisanat, agriculture, élimination, stockage, circulation, transport. D'où la nécessité de protéger ses eaux souterraines. Voici une photo qui visualise quelques-unes des mesures prises ou à prendre pour ce faire.





ction des eaux souterraines

de protection des eaux souterraines

zone de protection des eaux souterraines

agriculture écologique

zone de protection S2: routes étanchéifiées, avec évacuation des eaux de ruissellement, interdiction de circuler pour transports de substances pouvant polluer les eaux

h S2: purinage et constructions
eint de produits phytosanitaires

modification
e protection
construction

usine: traitement effluents gazeux
par filtres dans cheminées

des
vière

STEP

FORÊT

L'eau naturellement pure – qui peut être consommée telle quelle – provient en grande partie de captages situés dans des bassins versants boisés. Normalement, cette eau contient nettement moins de nitrates, de chlorures, de pesticides et d'autres polluants que l'eau provenant de zones agricoles ou urbanisées. Il y a plusieurs explications à ce phénomène: contrairement à l'agriculture, la sylviculture n'engendre pas d'apports directs de substances indésirables dans le sol. Elle n'utilise ni fertilisants (compost, lisier, fumier), ni engrais chimiques, ni boues d'épuration. Par ailleurs, l'épandage de substances chimiques n'est autorisé qu'exceptionnellement. De plus, l'interdiction de défricher protège efficacement et durablement les zones de protection des eaux souterraines en forêt (voir p. 26). Les autres utilisations du sol en forêt sont extrêmement limitées, ce qui réduit largement le risque de pollution des captages d'eau potable.

Épingles bleues:
mesures de protection réalisées

Épingles vertes:
évolution souhaitée

Eaux souterraines: protection impérative

Législation en matière de protection des eaux:

Constitution fédérale

La constitution fédérale donne à la Confédération mandat de pourvoir à l'utilisation rationnelle et à la protection des ressources en eau.

Loi fédérale du 24.1.91 sur la protection des eaux (LEaux)

Elle vise à protéger les eaux contre toute atteinte nuisible, notamment pour

- préserver la santé des êtres humains, des animaux et des plantes;
- garantir l'approvisionnement en eau potable et en eau industrielle et promouvoir un usage ménager de l'eau;
- sauvegarder les biotopes naturels abritant la faune et la flore indigènes;
- assurer le fonctionnement naturel du régime hydrologique.

Cette loi s'applique à l'ensemble des eaux superficielles et des eaux souterraines; ces dernières englobent eaux du sous-sol, formations aquifères, substratum imperméable et couches de couverture. Elle prescrit aux cantons d'aménager leur territoire en le subdivisant en secteurs de protection des eaux, zones de protection des eaux souterraines et périmètres de protection des eaux souterraines.

Ordonnance du 28.10.98 sur la protection des eaux (OEaux)

Elle indique les critères servant à définir zones, secteurs et périmètres, prescrit des règles pour les mesures de protection spéciales.

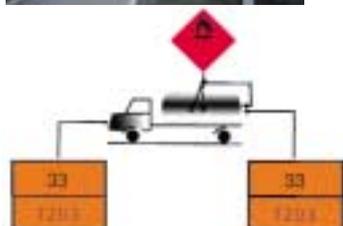


Attention zone de protection des eaux!



Circulation interdite pour les chargements pouvant altérer les eaux..

Les transports routiers et ferroviaires dangereux doivent porter une marque spéciale. Les codes indiquent le type de chargement et le danger qu'il représente.



ZONES DE PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES

Les cantons délimitent des zones de protection des eaux souterraines en vue de sauvegarder la qualité des captages d'eau potable. Ces zones protègent les captages de manière concentrique, avec une sévérité croissante de l'extérieur vers l'intérieur:

Zone S3 (zone de protection éloignée): elle protège les captages d'eau potable contre les accidents impliquant des substances pouvant polluer les eaux, en garantissant que l'on dispose alors de suffisamment de temps et d'espace pour prendre des mesures efficaces. On interdit en S3 les exploitations impliquant un risque pour les eaux du sous-sol (p.ex. stations d'essence), ainsi que l'infiltration d'eaux à évacuer ou l'extraction de gravier.

Zone S2 (zone de protection rapprochée): elle doit empêcher en plus que des agents pathogènes (bactéries, virus, etc.) ne pénètrent dans l'eau potable. Comme ces micro-organismes ne subsistent pas longtemps dans l'eau souterraine, on délimite S2 de telle sorte que l'eau souterraine mette au moins dix jours pour la traverser. Il est alors pratiquement certain que tous les germes pathogènes ont été arrêtés et neutralisés avant d'atteindre le captage. On interdit dans cette zone tout ce qui pourrait altérer l'eau potable – par exemple construction de bâtiments ou de routes, épandage de purin.

Zone S1 (zone de captage): elle doit empêcher que les captages soient endommagés ou pollués. On y autorise uniquement les travaux nécessaires pour l'approvisionnement en eau potable. La zone de protection S1 correspond aux abords immédiats des installations de captage.

Aire d'alimentation Z_U : elle est précisée lorsque les zones de protection ne suffisent pas à garantir la qualité des eaux prélevées par un captage – par exemple si des substances difficilement dégradables d'engrais ou de produits phytosanitaires polluent l'eau. Une aire Z_U correspond à la majeure partie du bassin d'alimentation du captage considéré et fait l'objet de mesures de protection et d'assainissement spécifiques (p.ex. herbages au lieu de cultures, changement d'assolement, etc.).

Secteur A_U de protection des eaux: il s'étend à l'ensemble des zones en principe exploitables pour l'approvisionnement en eau potable et englobe les zones attenantes nécessaires à la protection de ces eaux souterraines.

Périmètre de protection des eaux souterraines: on délimite ces périmètres pour assurer l'approvisionnement en eau potable et de nouveaux captages pour les générations à venir. Ils correspondent à des zones non construites, souvent en forêt. Les dispositions applicables ici sont les mêmes que pour une zone S2.

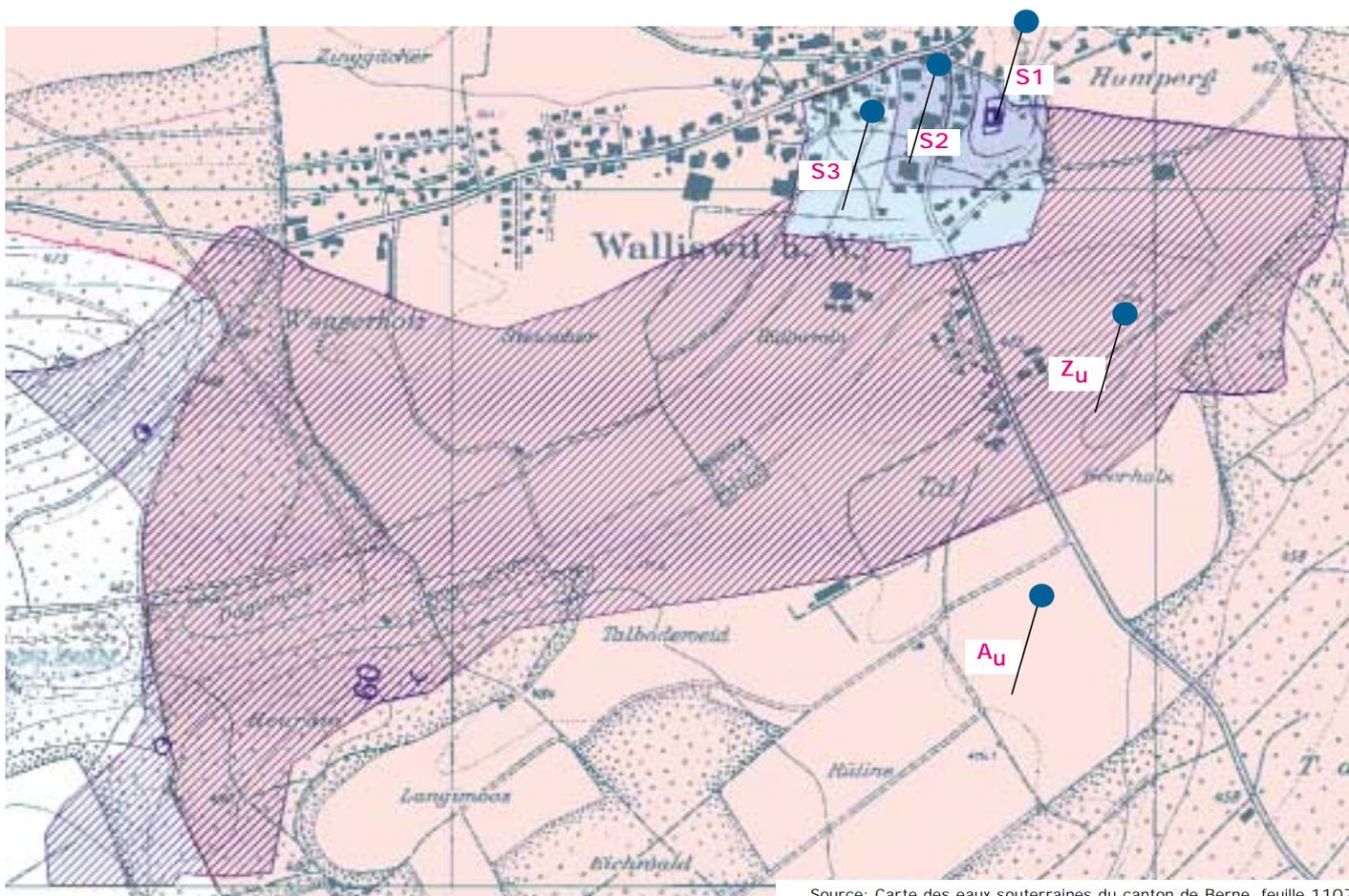
Tous les captages d'eau potable existant ne sont pas encore munis de zones de protection en vigueur.

Eaux souterraines: je suis directement concerné

Suis-je au courant des sources d'où provient MON EAU POTABLE?

Suis-je au clair sur sa qualité et sa teneur en substances minérales?

Ai-je une idée des zones de protection des eaux souterraines et des dispositions prises pour protéger MON EAU POTABLE (p.ex. interdiction d'épandre du purin)?



Source: Carte des eaux souterraines du canton de Berne, feuille 1107

Nous pouvons protéger les eaux souterraines par notre comportement quotidien:

- éviter d'épandre du purin avant un orage, ainsi que sur la neige ou la glace!
- consommer moins d'essence, de diesel et de mazout
- acheter des produits de l'agriculture écologique
- éliminer « proprement » les déchets
- ne pas utiliser de pesticides dans le jardin
- évacuer correctement les liquides souillés
- connaître et respecter les zones de protection des eaux souterraines
- contrôler et entretenir les canalisations d'égouts ...



Eaux souterraines: observation et surveillance



Un hydrogéologue mesure le niveau de la nappe phréatique

C'est au **service des eaux** qu'il incombe d'assurer une qualité irréprochable de l'eau potable distribuée. L'exploitant a ainsi tout intérêt à ce que ses captages soient protégés de façon appropriée; il surveille la qualité de l'eau du sous-sol – sa « matière première » – et de l'eau potable qu'il prélève. Il établit également des statistiques sur le captage et la consommation d'eau dans son aire de distribution.

Les **cantons** ont la responsabilité d'appliquer les dispositions de protection des eaux souterraines; plusieurs instances collaborent à la surveillance de ce bien précieux:

Les **services cantonaux de protection des eaux** ont pour tâche de protéger les eaux du sous-sol et de veiller à une exploitation équilibrée. Ils doivent donc connaître les réserves disponibles et leur qualité, ce qui les amène à mesurer le niveau de leurs nappes (p. ex. 50 stations de mesure dans le canton de Soleure et environ 60 dans le canton de St-Gall), à déterminer leur étendue et leur épaisseur, et à calculer les quantités

d'eaux souterraines qui se reconstituent chaque année.

Les résultats de ces investigations permettent d'assurer une exploitation durable du patrimoine aqueux. Le canton attribue des concessions assorties de conditions précises quant aux prélèvements d'eau et à leur affectation. Il surveille la qualité de ses eaux souterraines (dureté, teneur en oxygène, en nitrates, en produits phytosanitaires, etc.). Sur un certain nombre d'années, on décèle ainsi certaines tendances – notamment les substances dont les concentrations augmentent par suite des activités humaines (trafic, industrie, agriculture, jardinage, etc.) et celles qui diminuent grâce à la protection des eaux souterraines.

Afin de connaître également l'état et l'évolution des eaux souterraines à l'échelon du territoire suisse, l'**Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage** (OFEFP) et l'**Office fédéral des eaux et de la géologie** (OFEG) ont mis sur pied avec les cantons un réseau d'observation national (NAQUA). Le programme **NAQUA** comprend environ 550 stations de mesure réparties dans tout le pays, pour des observations à long terme d'une part et des investigations spécifiques d'autre part. Il s'agit en premier lieu de suivre les substances critiques de l'agriculture (nitrates, pesticides) et du trafic (constituants des carburants). Répétés à intervalles réguliers, ces analyses procurent une bonne vue d'ensemble de la manière dont ces substances évoluent dans nos eaux souterraines. Elles sont importantes pour contrôler l'efficacité de la législation sur la protection des eaux et des mesures prises pour rendre l'agriculture plus écologique.

LA MEILLEURE QUALITÉ À DES PRIX DÉFIANT TOUTE CONCURRENCE

Il y a en Suisse plus de 3000 services publics pour distribuer une eau potable de qualité irréprochable à la population ainsi qu'aux entreprises industrielles et commerciales. Les cinq plus grands réseaux du pays (Genève, Zurich, Bâle, Lausanne et Berne) approvisionnent chacun plus de 100 000 personnes, les autres sont nettement plus petits. Ce secteur d'activité occupe plus de 5000 personnes à temps complet ou partiel. Le territoire helvétique est sillonné par quelque 50 000 km de conduites pour distribuer l'eau dans les ménages. Les coûts annuels du captage, du traitement et de la

distribution sont estimés à 1,4 milliard de francs – ce qui n'empêche pas l'eau d'être étonnamment bon marché: 1000 litres coûtent en moyenne 1.60 franc (entre 50 centimes et 3.50 francs, selon les frais de captage et de traitement).

A l'avenir, le besoin croissant d'assurer les travaux d'entretien et de renouvellement des réseaux d'approvisionnement entraînera des hausses du prix de l'eau potable. Celle-ci restera cependant très avantageuse en Suisse par rapport à d'autres régions de la planète.

Curiosités

LE MONDE DES EAUX SOUTERRAINES

Ne peut être qualifiée **d'eau minérale naturelle** qu'une eau souterraine possédant – sans désinfection ni additifs – la qualité d'une eau potable. C'est l'eau que l'on commercialise en bouteilles. Elle est considérée comme très peu minéralisée si sa teneur en sels minéraux totalise moins de 50 mg par litre, et fortement minéralisée lorsque la concentration dépasse 1500 mg/l.

On parle **d'eau médicinale** lorsqu'une eau minérale est assez riche en une substance donnée pour avoir des effets sur l'organisme humain. De l'eau contenant plus de 2000 mg/l de sulfates par exemple peut être vendue avec la mention « peut avoir un effet laxatif ».

Une **eau minérale** est dite acidulée si sa teneur naturelle en dioxyde de carbone libre dépasse 250 mg par litre.

Les eaux thermales sont des eaux souterraines réchauffées en profondeur (augmentation de température de 3°C par 100 m) qui ont au moins 20°C. Les sources thermales sont les endroits où ces eaux chaudes font surface naturellement. Mais on fait de plus en plus des forages en profondeur pour en exploiter l'énergie géothermique.

L'eau juvénile provient des magmas qui se trouvent dans les profondeurs de la croûte terrestre et n'a encore jamais participé au cycle « évaporation – précipitation – infiltration – évaporation, etc. ». Elle jaillit vers la surface avec les éruptions volcaniques et se trouve prise dès lors dans le cycle de l'eau.

Les eaux fossiles sont restées longtemps dans le sous-sol sans participer au cycle de l'eau. Elles ne se renouvellent généralement pas et disparaissent définitivement si on les pompe.

L'humidité résiduelle d'un sol est l'eau si fortement liée aux particules solides qu'elle résiste même à la capacité d'absorption des racines (correspond au point de flétrissement permanent des plantes).

L'eau potable est l'eau distribuée par les services des eaux, et qui peut être bue directement au robinet. La moitié des eaux souterraines prélevées pour la consommation peuvent être utilisées telles qu'elles sortent de terre, sans aucun traitement.

L'eau ultra-pure ne contient que ... de l'eau; on la prépare spécialement pour des usages techniques et médicaux.

On appelle **eaux naturelles** toutes les eaux prélevées dans le sous-sol, dans un cours d'eau ou dans un lac pour l'alimentation en eau potable. Eau naturelle et eau potable sont identiques si aucun traitement n'est nécessaire.

Etrange créature des eaux souterraines. Lorsque des paysans ont découvert en Slovénie, dans une source karstique, une sorte de salamandre sans yeux et ni pigmentation, ils ont d'abord pensé à un petit dragon! Ce n'est qu'en 1689 qu'un scientifique a enfin décrit le protégé.

A mille lieues du « château d'eau ». Lorsqu'il pleut dans la région semi-désertique du Sahel africain, seules 7 gouttes sur 100 s'infiltrent vers la nappe souterraine, 80 s'évaporent dans l'atmosphère et 13 s'écoulent dans les cours d'eau. En Suisse par contre, où il pleut deux fois plus, 60 des 200 gouttes tombant au cours de la même période viennent enrichir les eaux souterraines.

TEST DE QUALITÉ

La levure de bière constitue un bon moyen de tester la qualité de l'eau. Les brasseurs savent de longue date que seule une eau bien pure peut donner de la bonne bière. Au milieu du 19^e siècle, les édiles de Munich ont exploité ce savoir alors qu'ils cherchaient des sources pour l'alimentation en eau de leur ville. L'ancien système de distribution se trouvait en mauvais état et avait souvent été un foyer de maladies infectieuses – notamment une grave épidémie de choléra en



1854. Plusieurs sources furent examinées avec le plus grand soin. Pourquoi a-t-on finalement choisi celle qui se trouvait le plus loin, à 40 km de la ville? Parce qu'elle permettait de brasser une bière particulièrement savoureuse, comme l'avait prouvé un essai des moines franciscains. C'est ainsi qu'en 1880 cette source fut captée pour la ville de Munich – une entreprise coûteuse et d'envergure exceptionnelle pour l'époque.

Glossaire des eaux souterraines

ALLUVIONS FLUVIO-GLACIAIRES: après la dernière période glaciaire, l'eau issue de la fonte des glaciers a charrié des masses énormes de roches à travers un paysage alors presque entièrement dépourvu de végétation. Elles ont été broyées, arrondies, lessivées par l'eau, pour former des dépôts de galets, de gravier et de sable qui recouvrent maintenant les grandes vallées. Ces roches meubles, très perméables, constituent d'excellents aquifères.

AQUICLUDE: roche, faisant obstacle au passage de l'eau.

AQUIFÈRE: roche meuble (gravier, sable) ou dure (p.ex. calcaire, molasse) dont les cavités (pores ou fissures) sont reliées et suffisamment volumineuses pour laisser l'eau circuler.

ARGILE: d'une part ce sont des silicates d'alumine qui cristallisent sous forme de très petits feuillets. D'autre part l'argile est une roche sédimentaire formée de minéraux argileux. A distinguer de la fraction argileuse qui est la partie d'une roche meuble dont la granulométrie est inférieure à 0.002 mm (indépendamment de sa composition minéralogique).

CAPACITÉ D'EMMAGASINEMENT: quantité d'eau qu'une roche peut emmagasiner. Elle dépend de la proportion de cavités dans le volume global de la roche considérée, de leur grandeur moyenne et de la manière dont ces interstices sont reliés entre eux. Cette capacité est maximale dans les roches meubles telles que graviers et sables à grains plus ou moins homogènes. Les fentes, fissures et autres anfractuosités des roches dures (calcaire, molasse, granit, etc.) représentent une beaucoup plus petite partie de leur volume total.

CLASSES DE LIQUIDES POUVANT POLLUER LES EAUX: en Suisse, les liquides susceptibles de nuire aux propriétés physiques et chimiques des eaux ou aux biocénoses aquatiques sont répartis en deux classes:

La classe 1 comprend les liquides particulièrement dangereux, dont de petites quantités suffisent pour porter atteinte à la qualité des eaux – par exemple mazout, essence, huiles, hydrocarbures halogénés, solutions de sels de métaux lourds.

La classe 2 englobe les substances moins nocives, dont il faut des quantités importantes pour abîmer les eaux – par exemple éthanol, glycérine, acétone, acide chlorhydrique, acide sulfurique, solutions de sels alcalins et alcalino-terreux, potasse caustique, soude liquide.

COUVERTURE DE LA NAPPE: couches de sol et de sous-sol situées au-dessus de la nappe d'eau souterraine. L'effet protecteur de cette couverture dépend de son épaisseur, mais aussi et surtout de sa composition: les matériaux fins abritent mieux l'eau, tandis que des roches fissurées ou karstiques ne retiennent guère les polluants. Mais c'est la terre végétale qui offre la meilleure protection.

DOLINE: dépression fermée dans un paysage karstique, de forme plus ou moins circulaire.

FAILLES: fentes et fissures dans les roches dures.

FILTRAT DE RIVE: eaux souterraines formées par infiltration provenant de cours d'eau.

HYDROGÉOLOGIE: partie de la géologie traitant de l'écoulement, de la recherche, du captage et de la protection des eaux souterraines.

IMPERMÉABILISATION DU SOL: les surfaces construites (bâtiments, routes, parkings, etc.) deviennent imperméables à l'eau de pluie et empêchent celle-ci de s'infiltrer. Cela perturbe l'écoulement naturel des eaux et l'alimentation de la nappe.

INFILTRATION: passage dans l'aquifère des eaux de surface – issues des ruisseaux ou des rivières.

KARST: paysage aux formes caractéristiques, résultant de la sensibilité de certaines roches sédimentaires (calcaire, gypse) à la dissolution. On y voit peu de torrents ou de rivières: l'eau disparaît rapidement dans des lapiés et des ponors, puis s'écoule dans des réseaux de cavités souterraines souvent ramifiés à l'extrême. Ces eaux refont généralement surface sous forme de sources importantes, sans que leur passage sous terre ne les ait purifiées.

LAPIÉ: dans le karst, surface calcaire avec des rainures encadrées par des arêtes aiguës.

EAU SOUTERRAINE: eau du sous-sol qui en remplit les cavités (pores, fissures, etc.) de façon continue.

NAPPE PHRÉATIQUE: Nappe d'eau souterraine à faible profondeur (ordre métrique à décamétrique), accessible et exploitable par les puits ordinaires.

NIVEAU DE LA NAPPE: surface de la nappe d'eau souterraine.

POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES: résultant pour la plupart d'activités humaines (dioxyde de soufre produit par la combustion de charbon et de pétrole, oxydes d'azote du trafic motorisé, ammoniac de l'agriculture, etc.) ils sont à l'origine des pluies acides, de la sur-fertilisation des sols et des milieux naturels, et peuvent aussi envahir les eaux souterraines.

PRÉPARATION D'EAU POTABLE: traitement de l'eau naturelle, en vue d'atteindre la qualité prescrite pour l'eau potable. Les raisons d'effectuer un traitement peuvent aussi être techniques: de l'eau contenant trop de gaz carbonique porte atteinte non pas à notre santé, mais aux conduites de distribution.

RENOUVELLEMENT DE LA NAPPE: processus dynamique de reconstitution des eaux souterraines par des apports divers – infiltration de précipitations, d'eaux de ruissellement ou d'eaux superficielles.

ROCHES SILICEUSES: formées dans des conditions de chaleur et de pression considérables, elles ne sont guère solubles dans l'eau. Entre autres elles englobent le granite, le gneiss, l'amphibolite, le mica-schiste – constituants essentiels des Alpes valaisannes, tessinoises et rhétiques, ainsi que du massif du Gothard.

SERVICES DES EAUX: les installations de captage et de distribution d'eau potable sont exploitées en Suisse par des organismes très divers – communes, syndicats de communes, entreprises de droit public, entreprises privées, particuliers.

ZONE DE PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES: sa fonction est de protéger les captages d'eau potable. Elle est subdivisée en trois zones concentriques (S1 à S3) qui entourent la station de captage, ces sous-zones étant soumises à des prescriptions dont la sévérité va en augmentant de l'extérieur vers l'intérieur. Il s'agit non seulement de protéger l'eau souterraine contre les pollutions, mais aussi d'empêcher des interventions qui pourraient porter atteinte à l'aquifère, à l'aquiclude sous-jacent et à la couverture de la nappe – afin de garantir la libre circulation des eaux et la reconstitution de la nappe.



Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio UFAFP
Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL



International Year of Water
Année internationale de l'eau
Anno internazionale delle acque
One International de l'eau
International Year of Water

Éditeur: Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), CH-3003 Berne; www.environnement-suisse.ch.

L'OFEFP fait partie du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Conception, texte et rédaction:

Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid (ZfaÖ), Steinhuserberg LU, Daniela Jost, jost@schattweid.ch; Ruth Schürmann, Lucerne

Graphisme: Atelier Ruth Schürmann, Lucerne, rschuer@kat.ch

Suivi OFEFP: Daniel Hartmann, Reto Muralt (section Protection des eaux souterraines), Sylvain Affolter (division Communication)

Suivi technique: Emil Greber (magma AG, Zurich)

Conseil technique: Werner Blüm (AWEL ZH), Michael Fuchs (CSD Altdorf), Tom Gonser (IFAEPE), Ronni Hilfiker (AfU AG), Alfred Isler (BLS Alptransit AG), Urs Kamm (SSIGE), Rolf Kipfer (IFAEPE), Ronald Kozel (OFEG), Edi Schil-ter (AfU UR), Bernhard Schudel (OEHE Berne), Gianni della Valle (Stettlen)

Photos: Comet Photos p. 3, 14, 24, 25; Ruth Schürmann p. 3, 6, 7, 13, 15, 19, 20, 23, 29; Fredy Vetter (ZfaÖ); p. 3, 5; Stefan Wicky p. 5; réserve de biosphère Entlebuch p. 5; Adrian Pfiffner p. 6; Michael Fuchs p. 8; Kellerhals + Häfeli SA p. 8; naturaqua HYDRO-TRACE; p. 9; Baumann und Fryberg p. 10, 27; Oskar Ogi p. 12; Gerhard Ammann p. 12; Jens Zollhöfer p. 12; OEHE Berne p. 12, 26; AURA Lucerne p. 12; Tom Gonser p. 17; Peter Ferlin p. 17; OFEFP/AURA p. 18; Tourismus Leukerbad p. 19; Franz Mayr p. 23; BLS Alptransit AG p. 23; magma AG p. 28.

Photo de couverture: OFEFP/AURA

Traduction: David Fuhrmann, Bôle

Internet: La présente publication peut être téléchargée sous www.buwalshop.ch

Papier: Cyclus Print, entièrement recyclé (déchets triés d'imprimerie et de bureau)

Tirage: 50 000 allemand, 10 000 français, 3 000 italien

Copyright: © OFEFP, copie souhaitée avec indication de la source et justificatif

Distribution: Office fédéral des constructions et de la logistique, CH-3003 Berne, tél. +41 (0)31 325 50 50, fax +41 (0)31 325 50 58, e-mail verkauf.zivil@bbl.admin.ch, Internet: www.publicationsfederales.ch
Numéros de commande: 319.002d (allemand), 319.002f (français), 319.002i (italien)

Indication: Cette brochure a été élaboré en rapport avec l'exposition itinérante «GRUNDWASSER – ein Schatz auf Reisen».

Sous le patronage de la SSIGE, elle est soutenue par l'OFEFP, la SSIGE, le VSA, la SSH, les cantons AG, BE, BL, BS, GL, GR, LU, NW, SG, SO, SZ, TG, UR, ZH et le Liechtenstein.



Le plan de la tournée et d'amples informations sur l'exposition voir www.grundwasser.ch



Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio UFAPF
Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL