

## Planche 8.7      Vulnérabilité des réservoirs aquifères

### Introduction

La présente planche a pour but de représenter la sensibilité des réservoirs aquifères au point de vue des menaces possibles par des polluants, à l'échelle du territoire national.

Il n'existe pas de démarche unifiée pour l'évaluation et la représentation cartographique de la vulnérabilité de réservoirs aquifères. C'est pourquoi une méthode d'évaluation multicritère spécifique a été développée pour le présent cas. Elle a pour base la carte des réservoirs aquifères (planche 8.6), la carte des aptitudes des sols [5] ainsi que diverses autres données hydrogéologiques.

### Principe de la vulnérabilité

Le terme de vulnérabilité est utilisé pour décrire la sensibilité d'un système à l'égard d'une atteinte venant de l'extérieur. Appliqué à l'eau souterraine, ce terme définit la menace que représente, pour un réservoir aquifère, la pénétration de polluants dans le sous-sol.

La vulnérabilité est une grandeur relative, non mesurable directement. Elle résulte de la combinaison de différents paramètres considérés comme déterminants pour la protection de l'eau souterraine. Plus le degré de protection d'un réservoir aquifère contre la pénétration de polluants est élevé, plus sa vulnérabilité est faible. Cet effet protecteur – et la vulnérabilité qui en découle – peut être évalué qualitativement et subdivisé en classes; celles-ci reflètent le degré de probabilité avec laquelle des polluants peuvent atteindre une ressource en eau souterraine [11].

Le transport des polluants de leur lieu de libération à la surface du terrain jusqu'à l'eau souterraine est lié à l'infiltration d'eau des précipitations ou à l'infiltration d'un cours d'eau. Par conséquent, les réservoirs aquifères les mieux protégés contre la pénétration de polluants sont ceux qui sont recouverts par d'épaisses couches de matériel faiblement perméable. Conjointement avec la zone non saturée de l'aquifère, celles-ci représentent une protection naturelle du réservoir aquifère. En plus de cet effet de rétention des polluants de nature hydraulique, des interactions spécifiques entre le sous-sol et des types donnés de polluants réduisent les atteintes indésirables à la qualité de l'eau souterraine; il s'agit là entre autres de la filtration, de la sorption et de la dégradation biologique. Ces processus sont responsables de la capacité de rétention particulière à la couche de sol et augmentent son effet protecteur [11].

Aussitôt que des polluants ont atteint la partie saturée d'un aquifère, ils sont transportés latéralement par l'écoulement de l'eau souterraine. Dans le cas des aquifères en roches meubles, l'eau s'écoule lentement et de manière uniforme dans les pores de la roche. De cette manière, la capacité de propagation latérale est limitée. La propagation de polluants dans la zone saturée des aquifères fissurés et karstiques hétérogènes suit, au contraire, des cheminements préférentiels et peut, par conséquent, se développer très rapidement – surtout dans le cas des réservoirs aquifères karstiques.

### La vulnérabilité en tant que principe de protection

La notion de vulnérabilité représente un élément important pour une protection des eaux basée sur la prévention. Les cartes de vulnérabilité reflètent le comportement des polluants dans le sous-sol et indiquent par là quelles portions d'un bassin versant sont particulièrement sensibles à une pénétration potentielle de polluant et lesquelles disposent au contraire d'une protection naturelle élevée. Il faut cependant souligner que l'eau souterraine peut aisément être affectée de manière indésirable par des polluants mobiles et persistants (nitrate, divers produits phytosanitaires) même dans des régions à protection naturelle élevée.

En Suisse, la notion de vulnérabilité est appliquée pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en régions karstiques [1] et dans le cas des aquifères fissurés fortement

hétérogènes [8]. Le degré de vulnérabilité détermine ainsi les zones de protection respectives (S1, S2 ou S3, cf. planche 7.5), lesquelles ne doivent pas obligatoirement être concentriques autour d'un captage d'eau souterraine donné, mais, selon les conditions géologiques et hydrogéologiques, peuvent être distribuées sur l'ensemble du bassin d'alimentation. Comme la délimitation des zones de protection est liée à des restrictions respectives de l'utilisation du territoire, cette approche est appropriée à une protection ciblée de la ressource en eau souterraine.

### **Méthode d'évaluation pour l'établissement de la carte**

La vulnérabilité ne peut être évaluée et représentée sur une carte de manière continue que par une démarche indirecte, grâce à des paramètres choisis. La démarche est brièvement commentée ci-dessous (cf. fig. 1,2,3). Pour commencer, toutes les surfaces comprenant des réservoirs aquifères productifs, aussi bien en roche meuble qu'en roche cohérente, ont été prises en considération à partir de la carte des réservoirs aquifères au 1:500 000 (planche 8.6). Dans ces zones aquifères, d'une part la vulnérabilité et d'autre part la capacité de propagation latérale ont été déterminées en deux pas séparés (fig. 1). Dans les régions sans réservoirs aquifères productifs, la vulnérabilité n'a pas été représentée. Dans les cas où plusieurs aquifères productifs superposés ont été reconnus, seul l'aquifère supérieur a été pris en compte.

Pour l'évaluation de la vulnérabilité d'un aquifère en roche meuble, l'effet protecteur du sol, celui des couches de faible ou moyenne perméabilité superposées à l'aquifère («couches de couverture») ainsi que celui de la zone non saturée de l'aquifère ont été combinés (fig. 2). Pour ce faire, les données énumérées ci-dessous ont été utilisées.

L'effet protecteur du sol a été subdivisé en quatre classes de protection selon les propriétés physiques des 144 types de sol définis dans [4]. La base de données pour l'application de la méthode d'évaluation est représentée par la carte digitale des aptitudes des sols de la Suisse au 1:200 000 [5].

Sur la base de la carte des réservoirs aquifères, les données pertinentes se rapportant aux couches protectrices superposées aux réservoirs aquifères ont été reportées sur une carte au 1:200 000 – la perméabilité et l'épaisseur de ces couches ont été prises en considération. Pour définir la zone non saturée, il a été tenu compte de la profondeur entre la surface du terrain ou la surface inférieure de la couche de couverture et le niveau piézométrique moyen. La méthode d'évaluation utilisée ne permet pas de prendre en considération de manière explicite la possible pénétration de polluants par l'intermédiaire d'un cours d'eau qui serait en relation directe avec l'eau souterraine.

Pour les aquifères en roche cohérente, les données nécessaires à l'identification des couches de couverture et de la zone non saturée des aquifères sont en général lacunaires, lorsqu'il s'agit d'analyser des surfaces étendues; pour cette raison, un travail d'élaboration cartographique consistant à l'échelle 1:500 000 n'est en principe pas possible. L'évaluation multicritère pour la détermination de la vulnérabilité en roche cohérente repose donc principalement sur l'effet protecteur du sol (fig. 2) et – lorsque, dans des cas isolés, cette information existe – sur l'effet protecteur d'une couverture de roches meubles peu perméables. En général, un effet protecteur faible à modéré est attribué aux roches cohérentes fissurées et en partie karstifiées.

Les différents niveaux de données (réservoir aquifère, effet protecteur du sol, perméabilité et épaisseur de la couche de couverture ainsi que l'épaisseur de la zone non saturée de l'aquifère) ont été combinés dans un système d'information géoréférencé (SIG). De cette manière, la vulnérabilité peut être déterminée pour chaque élément de surface, selon la matrice de calcul représentée sur la figure 2. Sur la figure 3, la détermination de la vulnérabilité à partir de l'effet protecteur du sol, de la couche de couverture et de la zone non saturée de l'aquifère est représentée schématiquement par un exemple; cet exemple correspond à une situation hydrogéologique caractéristique du Plateau.

Pour l'évaluation de la capacité de propagation latérale, le choix des paramètres s'est limité au type d'aquifère, représenté par la lithologie (roches meubles, roches cohérentes), le mode d'écoulement (circulation dans des pores, des fissures, ou circulation de type karstique), ainsi que

par la vitesse de circulation. La lithologie et le mode d'écoulement ont été tirés de la carte géologique digitale au 1:500 000 [2]. Faute de données se rapportant aux vitesses d'écoulement, les roches meubles ont été classées selon leur productivité conformément à la planche 8.6.

## Représentation cartographique

La classe de vulnérabilité évaluée pour chaque élément de surface est représentée sur la carte par une couleur uniforme spécifique. Pour l'ensemble de la Suisse, la répartition spatiale de la vulnérabilité et de l'effet protecteur est la suivante: 23 % vulnérabilité très forte (effet protecteur faible); 27 % vulnérabilité forte (effet protecteur modéré); 16 % vulnérabilité faible (effet protecteur fort); 2 % vulnérabilité très faible (effet protecteur très fort); 27 % domaines sans réservoirs aquifères productifs; 5 % cours d'eau et lacs, glaciers, névés.

La capacité de propagation latérale est représentée sur la carte par des trames. La répartition spatiale des diverses classes est exprimée par les valeurs suivantes: 15 % roches cohérentes avec forte capacité de propagation latérale; 26 % roches cohérentes avec capacité de propagation latérale moyenne; 8 % roches meubles avec capacité de propagation latérale moyenne; 46 % domaines avec faible capacité de propagation latérale; 5 % cours d'eau et lacs, glaciers, névés.

## Caractéristiques régionales

Sur le Plateau, des situations hydrogéologiques variées se succèdent sur de courtes distances. Les domaines à effet protecteur modéré à fort dominent; des réservoirs aquifères en roche meuble, dans des fonds de vallées, qui sont protégés par une puissante couche de couverture ou qui sont surmontés par une épaisse zone non saturée, sont caractérisés par un effet protecteur fort à très fort et donc par une vulnérabilité faible à très faible (fig. 4). A côté d'eux s'étendent des réservoirs aquifères à forte vulnérabilité, avec une couche de couverture absente ou de faible épaisseur et avec un niveau piézométrique à faible profondeur. Un exemple d'une telle situation avec effet protecteur modéré est représenté à la figure 5. La juxtaposition d'aquifères profonds, bien protégés et de réservoirs aquifères voisins de la surface, à forte vulnérabilité, est illustrée par la figure 6.

Dans le Jura, les unités calcaires dominent la lithologie. Pour ces domaines à drainage karstique, un effet protecteur faible à modéré est caractéristique. Cette situation hydrogéologique typique est représentée à la figure 7.

Dans le domaine alpin dominant également les régions à effet protecteur faible à modéré. Il s'agit là, d'une part, de secteurs à roches calcaires (karst) ainsi que de secteurs à roches cristallines fortement disloquées et fissurées, à faible effet protecteur. D'autre part les régions cristallines des massifs centraux apparaissent comme des secteurs à effet protecteur modéré. Les aquifères en roches meubles des grandes vallées alpines sont, en général, caractérisés par un effet protecteur modéré à fort.

## Domaines d'application

La présente carte d'ensemble à l'échelle 1:500 000 donne un aperçu des conditions générales de la vulnérabilité des eaux souterraines en Suisse. Elle peut ainsi servir, en premier lieu, d'instrument de planification de caractère général, de moyen d'information destiné au public le plus varié ou de moyen d'enseignement [10]. Les conditions hydrogéologiques de détail ne peuvent pas être représentées à cette échelle, d'autant plus qu'il n'en a pas été tenu compte dans l'évaluation multicritère qui a été appliquée. Par là, il est possible que, à l'échelle locale, une autre image de la vulnérabilité des eaux souterraines apparaisse.

## Bibliographie

- [1] **Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1998):** Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode EPIK) – Praxishilfe. Vollzug Umwelt, Bern.
- [2] **Bundesamt für Wasser und Geologie (2005):** Geologische Karte der Schweiz 1:500 000. Bern.
- [3] **CSD (1987):** Etude hydrogéologique préliminaire des sources communales des Eaux-Bonnes. Rapport inédit, Commune de Juriens.
- [4] **Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL et al. (1980):** Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200 000. Grundlagen für die Raumplanung. Bern.
- [5] **Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL et al. (2000):** Digitale Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200 000, überarbeitet 2000. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- [6] **Haering, Ch. et al. (1994):** Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100 000, Blatt Nr. 5 Toggenburg. Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.
- [7] **Kempf, Th., Labhart, W. (2003):** Die Grundwasservorkommen im Kanton Thurgau. Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25 000. Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld.
- [8] **Pochon, A., Zwahlen, F. (2003):** Ausscheidung von Grundwasserschutz zonen bei Kluft-Grundwasserleitern – Praxishilfe. Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- [9] **République et Canton de Genève (2001):** L'eau souterraine du Canton de Genève. Dossier d'information. Service cantonal de géologie, Genève.
- [10] **Zektser, I.S., Everett, L.G. (2004):** Groundwater resources of the world. International Hydrological Programme (UNESCO), IHP-VI, Series on Groundwater No. 6, Paris.
- [11] **Zwahlen, F. (Hrsg.) (2004):** Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers – COST Action 620, Final report. Brussels, Luxembourg.