

> Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles

Un module de l'aide à l'exécution protection des eaux souterraines



> Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles

Un module de l'aide à l'exécution protection des eaux souterraines

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution de la législation. Elle constitue un module de l'aide à l'exécution protection des eaux souterraines, élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées jusqu'à présent aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».

Impressum

Editeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Daniele Biaggi, Sabine Schwienbacher et Lorenz Guldenfels, Geotechnisches Institut AG, Berne; Eduard Hoehn, Eawag, Dübendorf; Riccardo Bernasconi, Büro Dr. R. Bernasconi, Sargans; Paul Felber, Büro Dr. Lorenz Wyssling AG, Pfaffhausen.

Accompagnement à l'OFEV

Section Protection des eaux souterraines et service juridique 3

Référence bibliographique

OFEV 2012: Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles. Un module de l'aide à l'exécution protection des eaux souterraines. L'environnement pratique n° 1207. Office fédéral de l'environnement, Berne. 58 p.

Traduction

Milena Hrdina, 2740 Moutier

Graphisme, mise en page

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Photo de couverture

Gravière près de Baar (Benjamin Meylan, OFEV)

Commande d'exemplaire imprimé et téléchargement du fichier PDF

OFCL, distribution de publications fédérales, CH-3003 Berne

Tel. +41 (0)31 325 50 50, Fax +41 (0)31 325 50 58

verkauf.zivil@bbl.admin.ch

Numéro de commande: 810.100.094f

www.bafu-admin.ch/uv-1207-f

Cette publication est également disponible en allemand.

© OFEV 2012

> Table des matières

Abstracts	5	6 Dimensionnement des zones de protection	32
Avant-propos	7	6.1 Généralités concernant les méthodes	32
Résumé	8	6.2 Détermination du bassin d'alimentation du captage	34
Introduction	9	6.3 Détermination du cône de rabattement ou de la zone d'appel	34
<hr/>		6.4 Détermination de l'isochrone 10 jours	35
1 Domaine d'application et bases légales	11	6.4.1 L'isochrone 10 jours	35
1.1 Domaine d'application	11	6.4.2 Traçages	35
1.2 Bases légales	11	6.4.3 Méthode de Wyssling	38
<hr/>		6.4.4 Modèles numériques	40
2 Eaux souterraines dans les roches meubles: gisements et caractéristiques	13	6.5 Dimensionnement des zones S1, S2 et S3	42
2.1 Nappes d'eaux souterraines	13	6.5.1 Zone S1	42
2.2 Pouvoir filtrant	13	6.5.2 Zone S2	43
2.3 Hétérogénéité	14	6.5.3 Zone S3	44
2.4 Interaction avec des aquifères d'un autre type	14	6.5.4 La délimitation «pratique» des zones de protection	45
<hr/>		7 Cadastre des dangers et plan des conflits: investigations requises	46
3 Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles	15	8 Rapport hydrogéologique	48
3.1 Zone de captage (zone S1)	15	8.1 Exigences	48
3.2 Zone de protection rapprochée (zone S2)	15	8.2 Données de base	48
3.3 Zone de protection éloignée (zone S3)	15	8.3 Conditions géologiques et hydrogéologiques	49
<hr/>		8.4 Qualité des eaux souterraines	51
4 Délimitation des zones de protection: procédure recommandée	17	8.5 Cadastre des dangers et plan des conflits	52
<hr/>		9 Mesures de protection	54
5 Evaluation de l'emplacement et contrôle d'adéquation	20	9.1 Instructions existantes	54
5.1 Réflexions générales sur l'emplacement du captage en fonction de la protection à assurer	20	9.2 Assainissement ou surveillance d'installations et activités existantes présentant un risque de conflit – catalogue de mesures	54
5.2 Procédure applicable aux futurs captages	20	<hr/>	
5.3 Procédure applicable aux captages existants	23	Figures et tables	57
5.4 Qualité des eaux souterraines – preuve d'une qualité suffisante ou irréprochable	26	Bibliographie	58
5.5 Traitement de l'eau	26		
5.6 Débit maximal exploitable	27		
5.7 Evaluation du danger potentiel au stade du contrôle d'adéquation	28		
5.8 Contrôle d'adéquation – exemples	31		

> Abstracts

This module of the enforcement guide groundwater protection indicates the procedure for delimiting groundwater protection zones in unconsolidated rock. The process involves a step by step approach: a suitability test is used to determine whether a location is suitable for a well, which forms the basis for the studies for dimensioning the protection zones. Special attention is given to recording and evaluating the hazard potential. The most common hydrogeological methods for dimensioning the protection zones and in particular analysis of the 10 day isochrones are listed. The enforcement guide is addressed primarily to the enforcement authorities and also to water utilities and consultant geologists.

Keywords:

Enforcement guide
Groundwater protection zones
Unconsolidated rock

Dieses Modul der Vollzugshilfe Grundwasserschutz zeigt die Vorgehensweise bei der Ausscheidung von Grundwasserschutz-zonen in Lockergesteinen auf. Der Verfahrensablauf sieht ein schrittweises Vorgehen vor: Die Feststellung der Zweckmässigkeit eines Fassungsstandortes durch eine Eignungsprüfung bildet die Voraussetzung, um die Untersuchungen zur Dimensionierung der Schutz-zonen einzuleiten. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Aufzeichnung und Beurteilung des Gefährdungspotenzials gelegt. Zur Bemessung der Schutz-zonen und insbesondere zur Bestimmung der 10-Tages-Isochrone sind die gängigen hydrogeologischen Methoden aufgeführt. Die Vollzugshilfe richtet sich primär an die Vollzugsbehörden sowie an die Wasserversorgungen und an beratende Geologinnen und Geologen.

Stichwörter:

Vollzugshilfe
Grundwasserschutz-zonen
Lockergesteine

Ce module présente la marche à suivre pour délimiter les zones de protection des eaux souterraines en roches meubles. La procédure prévue se déroule par étapes: les investigations pour délimiter les zones de protection nécessitent tout d'abord un contrôle d'adéquation destiné à déterminer l'utilité d'un emplacement de captage. Il convient d'accorder une attention particulière à l'identification et à l'évaluation du danger potentiel. Les méthodes hydrogéologiques ordinaires servent à délimiter les zones de protection et notamment à déterminer l'isochrone 10 jours. L'aide à l'exécution s'adresse en premier lieu aux autorités d'exécution ainsi qu'aux services des eaux et aux géologues consultants.

Mots-clés:

Aide à l'exécution
Zones de protection des eaux souterraines
Roches meubles

Questo modulo del aiuto a l'esecuzione protezione delle acque sotterranee illustra la procedura di delimitazione delle zone di protezione delle acque sotterranee in rocce incoerenti. La procedura si compone di più fasi: la determinazione dell'adeguatezza di un sito di captazione mediante una prova di idoneità costituisce il presupposto per avviare le analisi per il dimensionamento delle zone di protezione. Particolare attenzione è posta all'identificazione e alla valutazione del potenziale di minaccia. Per la misurazione delle zone di protezione e soprattutto per la determinazione dell'isocrono 10 giorni sono elencati i metodi idrogeologici tradizionali. Il presente aiuto all'esecuzione si rivolge in primo luogo alle autorità esecutive, agli addetti dell'approvvigionamento idrico e ai consulenti in ambito geologico.

Parole chiave:

aiuto all'esecuzione
zone di protezione delle acque sotterranee
rocce incoerenti

> Avant-propos

Les zones de protection des eaux souterraines ont pour but de protéger contre d'éventuelles atteintes les installations servant à l'exploitation d'eau potable de même que les eaux souterraines avant qu'elles ne soient exploitées comme eau potable. Instrument de protection très efficace de l'organisation du territoire, elles doivent, conformément à la législation sur la protection des eaux, être délimitées autour des captages d'intérêt public. Pour protéger les eaux souterraines qui alimentent le réseau d'eau potable, certains types d'activités y sont interdits.

Ces dernières décennies, le principe des zones de protection des eaux souterraines s'est établi dans la pratique. On rencontre néanmoins toujours des cas où leur dimensionnement n'est pas optimal ou des cas où les mesures de protection ne sont pas appliquées avec la rigueur requise. Par ailleurs, les conflits causés par les inévitables restrictions (de la propriété et de l'exploitation) imposées dans les zones de protection posent problème.

Les «Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines» (OFEFP 2004) ont jeté les bases d'une harmonisation de cette protection à un niveau élevé et à l'échelle nationale. Les sujets que ces instructions ne détaillent pas assez sur le plan pratique sont traités dans des modules complémentaires. Ces différentes publications constituent l'aide à l'exécution «Protection des eaux souterraines». Alors que de tels modules existent déjà pour dimensionner les zones de protection des eaux souterraines en milieu karstique et en milieu fissuré, il n'en existait aucun jusqu'à maintenant pour les roches meubles. Le présent document vient combler cette lacune.

Willy Geiger
Sous-directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

> Résumé

La présente publication est un module de l'aide à l'exécution « Protection des eaux souterraines », laquelle comprend tous les aspects importants de la protection des eaux souterraines. Elle décrit la marche à suivre pour **déterminer les zones de protection des eaux souterraines en roches meubles**. Elle explique le déroulement de la délimitation des zones de protection, les principes généraux de leur dimensionnement et les aspects méthodologiques propres aux roches meubles. Les bases légales applicables comprennent en particulier la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) et l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201).

Les **aquifères poreux** se distinguent notamment par une porosité efficace élevée, une grande capacité d'emmagasiner les eaux souterraines et un bon pouvoir filtrant et sorbant. De plus, comme les eaux s'y écoulent lentement, certains polluants et agents pathogènes sont dégradés ou retenus par filtration sur une distance relativement courte.

Avant de dimensionner de nouvelles zones de protection ou de vérifier, voire de modifier, des zones de protection existantes, il importe d'évaluer en détail l'**adéquation de l'emplacement du captage**. Ce n'est qu'une fois cette adéquation confirmée qu'il convient de lancer les **investigations destinées à dimensionner les zones de protection**. Ces investigations comprennent des études hydrogéologiques, qui servent avant tout à déterminer la zone d'appel du captage et l'isochrone 10 jours, et des recherches en vue d'établir le cadastre des dangers et le plan des conflits.

Il incombe aux cantons de réglementer la procédure conduisant à la promulgation de zones de protection. Une marche à suivre fournie à titre d'exemple dans le présent document indique une solution possible.

Plan et règlement des zones de protection forment un tout. Ils se fondent sur le **rapport hydrogéologique**, qui devrait dès lors présenter une structure claire. Ce rapport doit fournir des données de bases complètes sur les installations de captage, sur les conditions hydrogéologiques et hydrochimiques dans le bassin d'alimentation du captage et décrire explicitement le dimensionnement des zones de protection. Cadastre des dangers et plan des conflits font partie intégrante du rapport, et les informations qu'ils fournissent seront reprises aussi bien dans le règlement des zones de protection que dans le catalogue de mesures. Il convient de vérifier régulièrement le plan et le règlement des zones de protection et, le cas échéant, de les adapter. Une adaptation s'impose par exemple en cas de modification du droit supérieur (LEaux, OEaux et législation cantonale, en particulier) ou lorsque l'on obtient des données plus précises sur les conditions hydrogéologiques locales. Si le droit supérieur restreint les activités et les installations avec plus de sévérité que le règlement des zones de protection, c'est toujours le droit supérieur qui est déterminant.

> Introduction

Raison d'être des zones de protection des eaux souterraines

Afin de protéger les eaux souterraines, les mesures d'organisation du territoire découpent le territoire en secteurs de protection des eaux et en zones et périmètres de protection des eaux souterraines. Les zones de protection des eaux souterraines constituent l'instrument de protection le plus important. Elles doivent entourer tous les captages d'intérêt public.

Par une restriction ciblée des activités, les zones de protection des eaux souterraines protègent contre d'éventuelles atteintes les installations servant à l'exploitation d'eau potable et les eaux souterraines environnantes. Elles comprennent les zones S1 (zone de captage), S2 (zone de protection rapprochée) et S3 (zone de protection éloignée), les prescriptions de protection devenant de plus en plus sévères à mesure que l'on s'approche du captage.

Rôle du présent document

Les *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines*, publiées pour la première fois en 2004 par la Confédération permettent d'harmoniser la protection des eaux souterraines dans toute la Suisse. La Confédération a par ailleurs publié divers autres modules qui traitent essentiellement des aspects techniques de l'application des prescriptions légales. Alors que de tels modules existent déjà pour le dimensionnement de zones de protection en milieu karstique et fissuré (guide pratique pour la cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques, OFEFP 1998 et guide pratique pour la délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré, OFEF/OFEG 2003), un module pour délimiter les zones de protection en roches meubles faisait jusqu'ici défaut. Le présent module vient combler cette lacune.

Objectif

Le présent module décrit les bases méthodologiques permettant de dimensionner des zones de protection en roches meubles conformément à la loi et fournit des exemples qui illustrent la procédure utilisée pour leur délimitation.

Public cible

Il incombe aux cantons de prendre les mesures d'organisation du territoire requises pour protéger les eaux et, dès lors, de déterminer les zones de protection des eaux souterraines. Dans ce domaine, les procédures aboutissant à la délimitation de zones de protection sont celles qui font le plus intervenir les détenteurs des captages (en général les services des eaux), les communes et les propriétaires fonciers. Si le présent document s'adresse donc en priorité aux services spécialisés cantonaux, il offre également une aide pratique appréciable aux services des eaux, aux communes et aux bureaux

d'experts qui collaborent étroitement afin de mener les investigations et les études requises pour dimensionner les zones de protection.

Structure

Le présent module comprend neuf chapitres:

- > *Chapitre 1: Domaine d'application et bases légales*
Ce chapitre replace le module dans son contexte, définit son domaine d'application et explique ses bases légales.
- > *Chapitre 2: Eaux souterraines dans les roches meubles:*
Ce chapitre décrit les types de gisements des eaux souterraines dans les roches meubles et leurs principales caractéristiques (pouvoir filtrant, hétérogénéité).
- > *Chapitre 3: Zones de protection des eaux souterraines dans les roches meubles*
Ce chapitre explique le but des zones de protection des eaux souterraines S1, S2 et S3.
- > *Chapitre 4: Délimitation des zones de protection: procédure recommandée*
Ce chapitre donne des recommandations sur la procédure à suivre pour délimiter une zone de protection.
- > *Chapitre 5: Evaluation de l'emplacement et contrôle d'adéquation*
Sont décrits ici les critères à prendre en compte et l'importance du contrôle d'adéquation dans la procédure.
- > *Chapitre 6: Dimensionnement des zones de protection*
Consacré aux aspects méthodologiques, ce chapitre indique quelles investigations il convient de mener pour dimensionner des zones de protection et comment procéder (notamment détermination de l'isochrone 10 jours).
- > *Chapitre 7: Cadastre des dangers et plan des conflits*
Sont énumérés ici les éléments devant figurer dans le cadastre des dangers.
- > *Chapitre 8: Rapport hydrogéologique*
Ce chapitre définit les exigences que doit remplir le rapport hydrogéologique.
- > *Chapitre 9: Mesures de protection*
Ce chapitre contient des recommandations sur le traitement à réserver aux installations existant dans les zones de protection des eaux souterraines. Il présente aussi le catalogue des mesures à prendre en tant qu'instrument de gestion évolutif.

1 > Domaine d'application et bases légales

1.1 Domaine d'application

Le présent module décrit la procédure générale utilisée pour **dimensionner les zones de protection des eaux souterraines en roches meubles**. Il fournit aussi bien des indications sur l'évaluation des emplacements de captage, les aspects méthodologiques et techniques et les études hydrogéologiques, que des recommandations concernant la structure des rapports sur les zones de protection et un choix de mesures à appliquer.

1.2 Bases légales

L'art. 20 de la loi du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) stipule que les cantons délimitent des zones de protection autour des captages et des installations d'alimentation artificielle des eaux souterraines qui sont d'intérêt public et qu'ils fixent les restrictions nécessaires du droit de propriété. Le même article définit par ailleurs les obligations des détenteurs des captages concernés, à savoir procéder aux relevés nécessaires pour délimiter les zones de protection, acquérir les droits réels nécessaires et prendre à leur charge les indemnités à verser en cas de restriction du droit de propriété¹.

L'art. 29, al. 2, de l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201) précise l'obligation de délimiter des zones de protection, dans la mesure où il renvoie à l'annexe 4, ch. 12, OEaux. L'annexe 4, ch. 12, OEaux régit les généralités concernant les zones de protection, leur répartition entre zones S1, S2 et S3, leur but et les principes de leur dimensionnement.

L'art. 30 OEaux contraint les cantons à établir et à mettre à disposition du public des cartes de protection des eaux, qui indiquent notamment les limites des zones de protection des eaux souterraines. Le cas échéant (après délimitation ou adaptation d'une zone de protection, p. ex.), ces cartes doivent être mises à jour.

L'art. 31, al. 1, OEaux prévoit que quiconque construit ou transforme des installations dans des zones de protection, ou y exerce d'autres activités présentant un danger pour les eaux, doit prendre les mesures qui s'imposent en vue de protéger les eaux. Dans les zones de protection des eaux souterraines, ces mesures doivent notamment respecter

¹ Selon la jurisprudence du Tribunal fédéral, une restriction du droit de propriété (expropriation matérielle) crée un droit à indemnisation si l'usage actuel ou un probable usage futur de l'immeuble est interdit ou frappé de restrictions *particulièrement sévères*, c'est-à-dire qui privent le propriétaire d'un droit important découlant de la propriété, ou si la restriction, bien que moins sévère, impose à certains propriétaires un sacrifice que l'on ne peut exiger d'eux au nom de l'intérêt général sans les indemniser (cf. ATF 102 IA 243, consid. 4a).

les exigences de l'annexe 4, ch. 22, OEaux, qui restreint ou interdit notamment les constructions dans les zones de protection.

Selon l'art. 31, al. 2, OEaux, les mesures de protection correspondantes doivent également être prises pour les installations existantes sises dans les zones de protection et représentant un danger concret de pollution des eaux. Les installations existantes situées dans les zones S1 et S2 de protection des eaux souterraines et qui menacent un captage ou une installation d'alimentation artificielle doivent être démantelées dans un délai raisonnable et des mesures de protection spéciales doivent être prises jusque-là.

L'annexe 2, ch. 2, OEaux contient des exigences relatives à la qualité des eaux du sous-sol. Si l'autorité constate que ces exigences ne sont pas respectées, elle examine la pollution et ses causes et veille à l'application des mesures requises (art. 47 OEaux). Parmi les exigences à respecter, l'annexe 2, ch. 22, OEaux souligne en particulier que la qualité de l'eau doit être telle qu'après un procédé de traitement simple, l'eau respecte les exigences de la législation sur les denrées alimentaires. Les critères déterminants sont principalement définis dans l'ordonnance du DFI du 23 novembre 2005 sur l'eau potable, l'eau de source et l'eau minérale (RS 817.022.102) et dans l'ordonnance du DFI du 26 juin 1995 sur les substances étrangères et les composants (OSEC, RS 817.021.23).

Des restrictions de droit public à la propriété foncière s'appliquent dans les zones et les périmètres de protection des eaux souterraines. Conformément à l'annexe 1 de l'ordonnance du 21 mai 2008 sur la géoinformation (OGéo, RS 510.620), elles sont répertoriées sous forme de géodonnées et forment un cadastre des restrictions de droit public à la propriété foncière régi par l'art. 16 ss de la loi du 5 octobre 2007 sur la géoinformation (LGéo, RS 510.62) et l'ordonnance du 2 septembre 2009 sur le cadastre des restrictions de droit public à la propriété foncière (OCRDP, RS 510.622.4).

2 > Eaux souterraines dans les roches meubles: gisements et caractéristiques

2.1 Nappes d'eaux souterraines

Les eaux remplissant les vides interconnectés des roches meubles et s'y écoulant forment des nappes d'eaux souterraines. Les roches meubles renfermant une nappe ont une grande capacité d'emmagasinement et un bon pouvoir filtrant, les vitesses d'écoulement y sont faibles. Les nappes jouent un rôle central dans l'approvisionnement de la Suisse en eau potable puisqu'environ 40% de l'eau potable en Suisse en provient. La variété de ces ressources est grande, car la stratification et la composition des aquifères varient beaucoup selon la formation géologique. Ce sont les graviers déposés au fond des vallées (roches meubles fluvio-glaciaires et alluvions récentes) qui renferment les aquifères les plus riches. Viennent ensuite les formations graveleuses sur les flancs des vallées (terrasses, dépôts de couverture et bassins isolés). Mentionnons aussi les moraines graveleuses, les éboulis de blocs et les cônes de déjection torrentiels et, de manière générale, les couches quaternaires recouvrant les régions de montagne et de collines où s'écoulent des eaux souterraines. La recharge des nappes d'eaux souterraines s'effectue par l'infiltration directe des précipitations, par l'apport des versants ou par l'infiltration d'un cours d'eau. Alors que les eaux souterraines des alluvions du fond des vallées doivent le plus souvent être exploitées au moyen de puits, elles forment parfois, de manière, naturelle, des sources ponctuelles sortant des roches meubles et s'écoulant sur les pentes des vallées.

Nappes d'eaux souterraines

2.2 Pouvoir filtrant

Selon leur composition minéralogique et la distribution granulométrique de leurs différents composants, les roches meubles possèdent d'une part un bon pouvoir filtrant, voire sorbant pour certaines substances. D'autre part, elles ne laissent l'eau s'écouler qu'à une vitesse relativement lente, de sorte que certains polluants et agents pathogènes sont dégradés ou retenus avant d'avoir pu parcourir une grande distance². Ces caractéristiques propres aux aquifères poreux se reflètent dans les grandes lignes de la législation: les instruments de l'organisation du territoire destinés à protéger les eaux souterraines, en particulier les zones de protection, sont conçus de telle sorte que l'eau provenant d'un aquifère poreux n'a en principe pas besoin d'être traitée pour alimenter le réseau d'eau potable.

² Exceptions: éboulis de blocs ou dépôts de graviers ronds, où l'écoulement peut atteindre des vitesses élevées. L'effet filtrant est alors extrêmement réduit.

2.3 Hétérogénéité

On n'accorde pas toujours l'attention qu'elle mérite à l'une des caractéristiques des aquifères poreux: leur variabilité spatiale, qui résulte de la formation de la roche par dépôts successifs de matériaux souvent différents. Les propriétés internes de tels aquifères, comme la porosité et la perméabilité, dépendent en général énormément de la direction considérée (anisotropie) et peuvent varier aussi bien à l'horizontale qu'à la verticale. L'anisotropie verticale détermine le degré de protection naturelle de l'aquifère contre l'éventuelle infiltration de polluants. Par endroits, la succession verticale d'aquifères et d'aquicludes peut par ailleurs créer des conditions hydrogéologiques particulières menant par exemple à la formation d'aquifères superposés, de nappes captives, voire artésiennes.

L'hétérogénéité et l'anisotropie des aquifères poreux constituent l'une des principales difficultés rencontrées lors du dimensionnement des zones de protection des eaux souterraines. La délimitation de ces zones devrait donc toujours se fonder sur un modèle géologique et hydrogéologique aussi précis que possible de l'aquifère à protéger.

Comme beaucoup d'interprétations mathématiques des données partent de l'hypothèse que le milieu présente des conditions homogènes et isotropes, on risque de sous-estimer l'hétérogénéité des roches meubles. Or la perméabilité peut varier beaucoup, surtout dans les dépôts à granulométrie élevée. Dans des alluvions, on peut ainsi rencontrer des chenaux très perméables, longs de plusieurs dizaines de mètres, où les eaux s'écoulent beaucoup plus rapidement que dans les sédiments environnants, plus fins et dès lors peu perméables. Bien qu'il soit souvent difficile de les identifier, ces **voies d'écoulement préférentielles** jouent un rôle important dans le dimensionnement des zones de protection, en particulier dans celui de la zone S2 dont la taille dépend de l'«isochrone 10 jours».

2.4 Interaction avec des aquifères d'un autre type

Il arrive que les nappes d'eaux souterraines dans les roches meubles soient en liaison hydraulique avec des eaux karstiques ou issues d'un aquifère dans des roches fissurées des alentours. Dans le Jura plusieurs puits se trouvent dans des roches meubles, dont les eaux proviennent en majeure partie des régions karstiques environnantes. Le présent document ne traite pas ces cas particuliers, qui peuvent avoir des répercussions sur le dimensionnement des zones de protection des eaux souterraines. Selon la situation, il peut être indiqué de combiner les méthodes et principes de dimensionnement décrits ici avec ceux valables pour les aquifères karstiques (OFEPF 1998) ou dans les roches fissurées (OFEPF/OFEG 2003). Cela sera surtout le cas lorsque l'isochrone 10 jours (cf. chapitre 6.4) se situe au-delà du contact roches meubles – roches karstiques ou fissurées.

3 > Zones de protection des eaux souterraines en roches meubles

3.1 Zone de captage (zone S1)

La zone S1 sert à protéger les captages et les installations d'alimentation artificielle ainsi que leurs environs immédiats. Elle doit empêcher que des polluants parviennent directement dans l'installation ou que celle-ci soit endommagée, voire détruite, de quelque manière que ce soit. L'interdiction absolue de toute construction ou exploitation dans la zone S1 garantit qu'aucune activité n'y sera entreprise outre celles requises par l'exploitation de l'eau potable.

La zone S1 doit appartenir au détenteur du captage ou au domaine public et doit en principe être entourée d'une barrière ou d'une haie³. S'il s'avère impossible d'acquérir la zone S1 par voie d'achat, une expropriation se justifie pour assurer le bon approvisionnement en eau.

3.2 Zone de protection rapprochée (zone S2)

La zone S2 doit empêcher:

- > que des germes pathogènes de même que des substances biodégradables parviennent au captage;
- > que les eaux souterraines soient polluées par des excavations et des travaux souterrains ou que de telles interventions réduisent le pouvoir filtrant du sol et du sous-sol;
- > que des polluants puissent parvenir rapidement et en grande concentration jusqu'au captage;
- > que des installations en sous-sol entravent l'écoulement des eaux souterraines.

3.3 Zone de protection éloignée (zone S3)

La zone S3 forme une zone tampon autour de la zone S2. Elle assure la protection contre les installations et les activités qui représentent un risque particulier pour les eaux souterraines (entreprises industrielles et artisanales utilisant des liquides de nature à polluer les eaux, extraction de matériaux, etc.) et doit garantir qu'en cas de danger imminent (en cas d'accident impliquant des substances pouvant polluer les eaux, p. ex.) on dispose de suffisamment de temps et d'espace pour intervenir et prendre les mesures d'assainissement qui s'imposent.

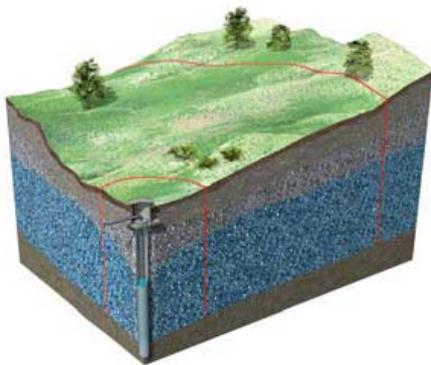
³ Des exceptions sont possibles dans les sites peu accessibles.

Fig. 1 > Les zones de protection des eaux souterraines assurent le traitement naturel de l'eau potable

Les zones de protection des eaux souterraines font partie intégrante du captage. Elles évitent que les eaux souterraines subissent une atteinte juste avant d'être exploitées comme eau potable. La zone de protection rapprochée (zone S2) doit garantir le traitement naturel des eaux souterraines sur leur trajet jusqu'au captage. A l'instar d'une station de conditionnement de l'eau superficielle (p. ex. un lac), elle fait office d'installation de traitement des eaux souterraines, de sorte que l'on peut renoncer à un traitement complexe et coûteux de l'eau potable. A l'intérieur des zones de protection, tous les dangers existants doivent être éliminés et, tout comme dans le cas des stations de conditionnement d'eau du lac, aucun nouveau risque n'y est toléré.



Dans une station de conditionnement de l'eau, les eaux sont traitées pour produire de l'eau potable selon des techniques coûteuses.



L'eau potable provenant des roches meubles est généralement suffisamment pure pour ne pas devoir être traitée.



L'eau y est filtrée de façon naturelle par le sol et le sous-sol (processus symboliquement représenté dans la figure ci-dessous par une installation). C'est pourquoi il existe des restrictions d'utilisation en zone de protection rapprochée S2 (l'épandage de lisier est interdit, p.ex.).

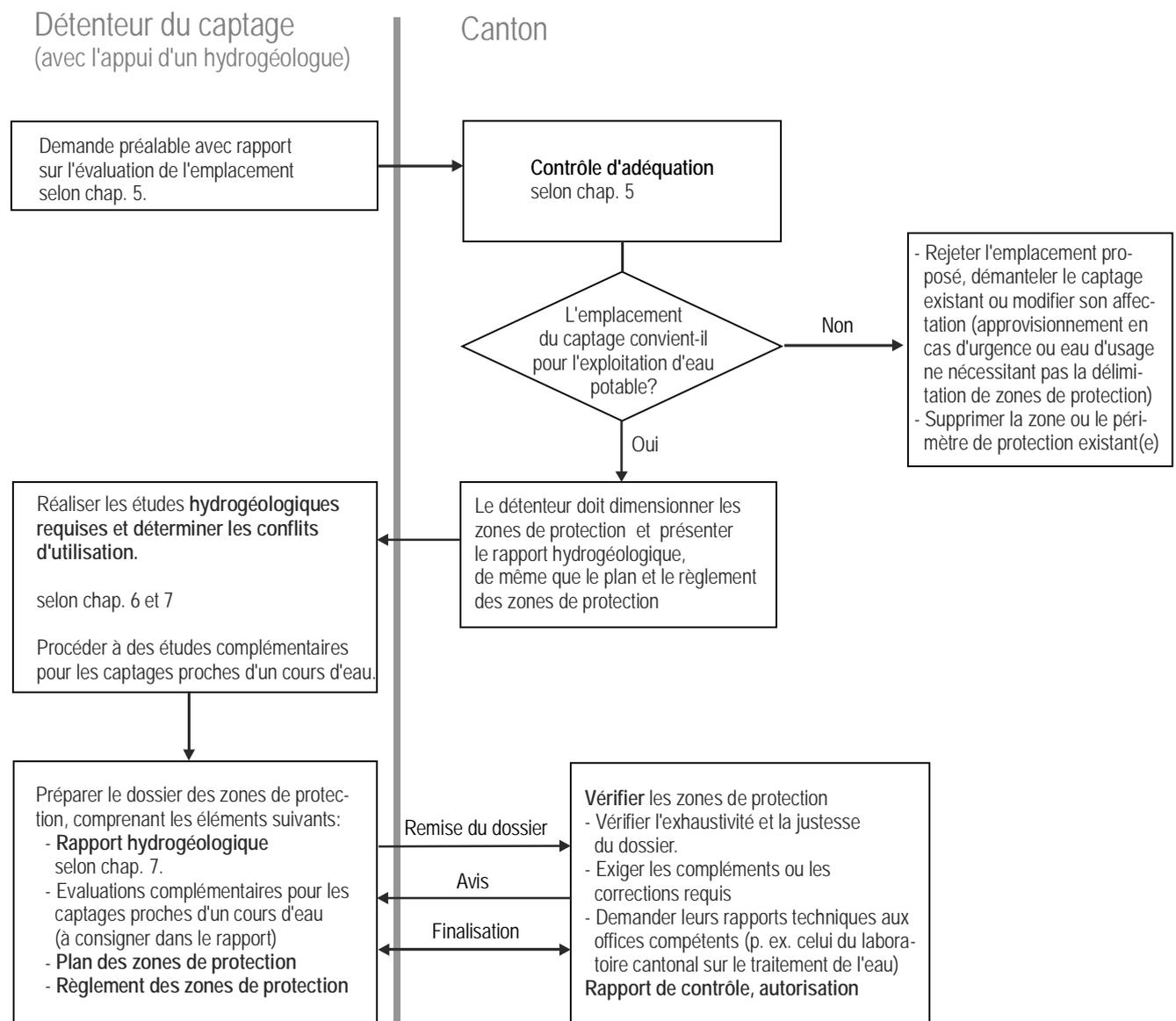
4 > Délimitation des zones de protection: procédure recommandée

Il incombe aux cantons de réglementer la délimitation de zones de protection. La fig. 2 présente une marche à suivre possible. Diverses étapes de la procédure illustrée se réfèrent aux chapitres correspondants du présent module.

Les zones de protection délimitées sont reportées sur le plan des zones de protection et les restrictions d'utilisation à respecter dans le règlement des zones de protection. Plan et règlement des zones de protection forment un tout. La délimitation des zones de protection se fonde sur un rapport hydrogéologique.

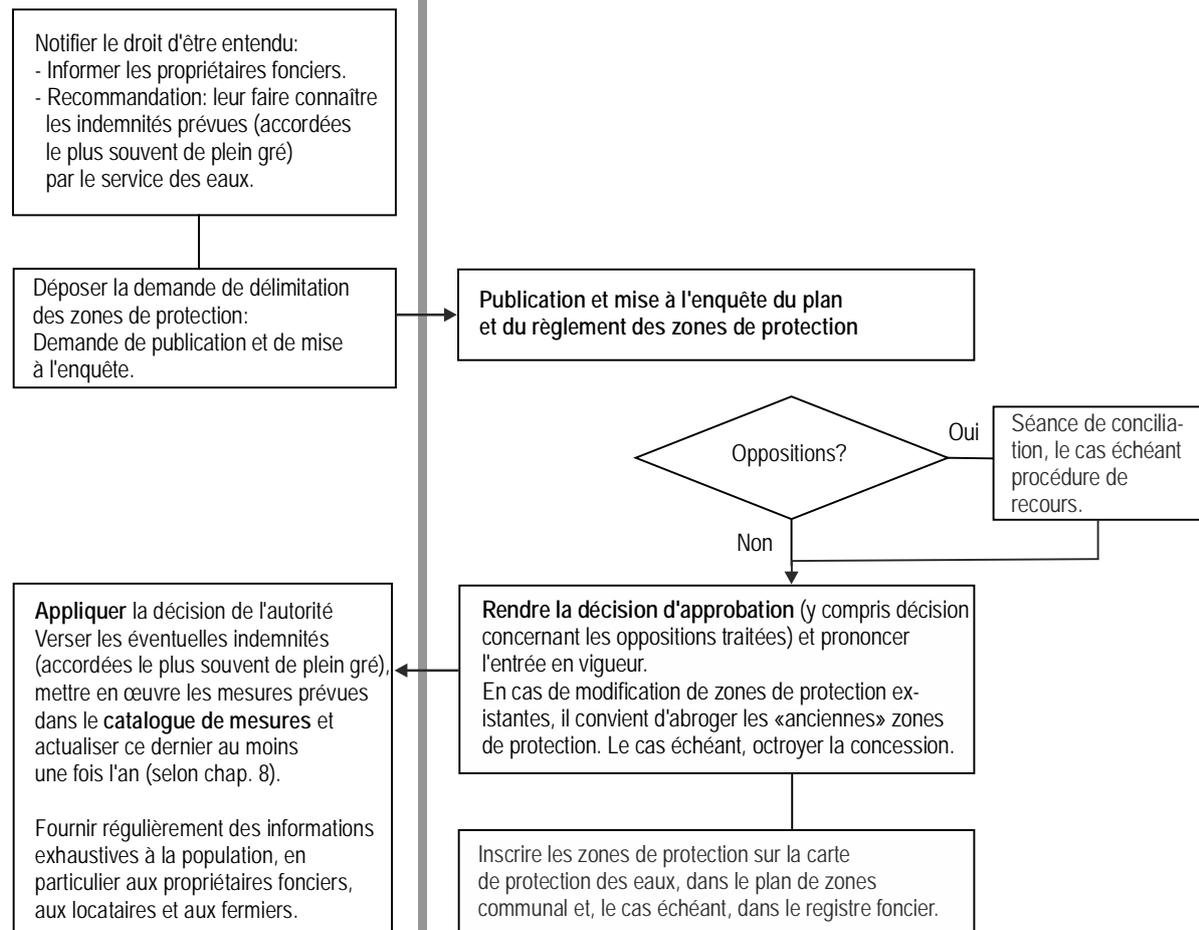
De nombreux éléments de la procédure recommandée ont un caractère général et s'appliquent aux eaux souterraines dans les roches meubles, karstiques ou fissurées. Des différences existent pourtant, car dans les autres types de gisement d'eaux souterraines des phases de travail ou des processus décisionnels supplémentaires sont parfois nécessaires. Par exemple au cours de la détermination des zones de protection des eaux souterraines dans un milieu fissuré, il est nécessaire de déterminer laquelle des trois méthodes à disposition doit être appliquée dans le cas concret (OFEFP/OFEG 2003 – méthode des distances, méthodes des isochrones, méthode « DISCO »). De même les méthodes d'évaluation du danger potentiel présentées dans ce document (chapitre 5.7) ou relatives à l'établissement du cadastre des dangers et du plan des conflits (chapitre 8.5) ne peuvent être reprises telles quelles pour des zones de protection des eaux souterraines très étendues en milieu karstique.

Fig. 2 > Délimitation de zones de protection des eaux souterraines en roches meubles – procédure applicable



Détenteur du captage

Canton, commune(s) d'implantation



5 > Evaluation de l'emplacement et contrôle d'adéquation

5.1 Réflexions générales sur l'emplacement du captage en fonction de la protection à assurer

Afin d'éviter des coûts inutiles, il est indiqué, avant même d'entreprendre les investigations visant à délimiter les zones de protection, de déterminer si l'emplacement du captage convient à l'exploitation d'eau potable et s'il est en particulier possible de protéger les terrains qui se situeront probablement dans la zone de protection conformément aux exigences de la législation fédérale.

5.2 Procédure applicable aux futurs captages

Le choix de l'emplacement dépend d'une part de critères hydrogéologiques, tels le débit d'exploitation et les caractéristiques de l'eau souterraine, d'autre part de la possibilité de protéger les alentours du futur captage d'eau potable conformément à la loi.

Il importe dès lors de tenir compte très tôt des restrictions d'utilisation dans les futures zones de protection.

L'aide-mémoire ci-après résume les critères déterminants. Il convient de se souvenir que le risque d'une pollution de l'eau potable provenant d'un captage dépend entre autres du niveau piézométrique et de l'épaisseur de la nappe, ou de la profondeur du prélèvement. Ce dernier paramètre n'est pas pris en compte dans le tableau ci-après.

Tab. 1 > Evaluation de l'emplacement de futurs captages – aide-mémoire**Critères hydrauliques**

Les ressources requises (débit de la source, p. ex.) sont disponibles oui
 non

Débit de concession visé \leq quantité d'eau exploitable en fonction des utilisations existantes oui
 non

Effet protecteur de la couche de couverture

Profondeur minimale du niveau piézométrique

- 0–2 m: *risque élevé que les polluants atteignent rapidement les eaux souterraines*
- 2–6 m: *selon la composition du sous-sol non saturé, risque moyen à élevé que les polluants atteignent rapidement les eaux souterraines*
- > 6 m: *selon la composition du sous-sol non saturé, risque faible à moyen que les polluants atteignent les eaux souterraines*

Présence d'une couche de couverture cohésive, peu perméable

- Présence d'une formation géologique homogène dans la future zone de protection⁴
 - 0–1 m, *couche de couverture peu perméable, effet protecteur très faible*
 - 1–3 m, *couche de couverture peu perméable, effet protecteur faible à moyen*
 - > 3 m, *couche de couverture peu perméable, effet protecteur moyen à grand*
- Présence d'une formation géologique hétérogène dans la future zone de protection
 - Présence de secteurs étendus à effet protecteur faible*
 - Présence de secteurs étendus à effet protecteur moyen*
- La composition du sous-sol est inconnue.*⁵

Qualité des eaux souterraines

Répond aux exigences

Ne répond pas aux exigences

- Les problèmes identifiés pourront très probablement être résolus si
 - l'on applique dans les zones de protection les restrictions d'utilisation prévues par la législation (interdiction d'utiliser certains produits phytosanitaires, interdiction de transvaser des liquides de nature à polluer les eaux).
 - l'on édicte dans les zones de protection des restrictions d'utilisation plus sévères que celles prévues par la législation (restriction plus sévère de l'emploi de produits phytosanitaires, p. ex.).
 - un assainissement est possible dans l'«aire d'alimentation Z_u».
 - un assainissement est possible en application de l'ordonnance sur les sites contaminés.
 - un traitement de l'eau est mis en place en cas de problèmes d'origine naturelle (déferrisation, p. ex.).
- Les problèmes identifiés ne pourront très probablement pas être éliminés.*

⁴ On ne peut en général pas partir de l'hypothèse (en particulier en présence de sédiments glaciaires ou fluvio-glaciaires) qu'une couche de protection cohésive, homogène et non altérée s'étend sur une grande superficie.

⁵ Ordonner les investigations requises.

Dangers/conflits

- Absence de danger important pour les eaux souterraines ou d'activités non autorisées dans le secteur qui pourrait à l'avenir être englobé dans les zones S1, S2 ou S3 de protection.
- Présence de dangers ou d'activités non autorisées dans le secteur qui pourrait à l'avenir être englobé dans les zones S1, S2 ou S3 de protection
- Les dangers ou les activités non autorisées pourraient être assainis ou éliminés.
 - Les dangers ou les activités non autorisées ne pourront probablement pas être éliminés ou assainis dans la mesure exigible.*

Infiltration d'eaux superficielles

- Aucune information disponible⁶
- La part des eaux d'infiltration est négligeable (< 10 %)
- Les eaux souterraines contiennent une part importante d'eaux d'infiltration.
- Les eaux superficielles qui s'infiltreront se situeront probablement dans la future zone de protection des eaux souterraines, plus précisément
 - dans la zone S2 ou dans les zones S2 et S3⁷, et
 - les eaux superficielles sont de bonne qualité et le risque de pollution dans le bassin versant est faible.⁸
 - les eaux superficielles sont de mauvaise qualité ou le risque de pollution dans le bassin versant est élevé.*
 - dans la zone S3 uniquement.
 - Les eaux superficielles ne se situeront probablement pas dans la future zone de protection.

Espace réservé aux eaux⁹

- La situation actuelle satisfait aux exigences en matière d'espace réservé aux eaux selon la LEaux.
- La situation actuelle ne satisfait pas aux exigences en matière d'espace réservé aux eaux.

Mesures actuelles d'organisation du territoire destinées à protéger les eaux souterraines

- Périmètre de protection des eaux souterraines
- Secteur A_v de protection des eaux
- Autres aires, secteurs ou zones

Si les critères indiqués en *italiques* correspondent à la réalité, il sera particulièrement difficile de délimiter de futures zones de protection. Dans de tels cas, il convient de se mettre à la recherche d'un emplacement plus approprié.

⁶ Déterminer la part des eaux d'infiltration.

⁷ L'emplacement n'est pas idéal. Il convient de déterminer à quel point les eaux souterraines y subissent l'influence de crues et si la future zone de protection pourrait entrer en conflit avec des projets de revitalisation.

⁸ Dans de tels cas, l'implantation d'un nouveau captage est envisageable malgré le bref temps de séjour des eaux d'infiltration dans le sous-sol. La décision doit toutefois se fonder sur une évaluation détaillée des risques. Le cas échéant, il serait possible d'assurer un niveau de protection acceptable autour du captage en délimitant un secteur A₀ de protection des eaux pour le cours d'eau superficiel et en édictant des restrictions l'utilisation adaptées au risque de pollution.

⁹ L'espace réservé aux eaux est défini comme l'espace minimal des cours d'eau nécessaire à la préservation des fonctions naturelles et à la protection contre les crues (Art. 36a LEaux)

5.3 Procédure applicable aux captages existants

L'aide-mémoire du tab. 2 présente les questions qui se posent dans le cas de captages existants. Elles permettent notamment d'évaluer le maintien d'un captage. Pour chacun des critères d'évaluation, des explications détaillées figurent dans les chapitres suivants.

Tab. 2 > Evaluation de l'emplacement de captages existants – aide-mémoire**Importance du captage**

- L'approvisionnement en eau potable dépend du captage.¹⁰ oui
 non
- L'intérêt public du captage est connu/prouvé oui
 non

Qualité bactériologique de l'eau brute

- Répond aux exigences.
- Ne répond pas aux exigences (manquements signalés par le laboratoire cantonal, p. ex.)
- Les problèmes identifiés pourront très probablement être résolus si
 - l'on applique les dispositions de la législation sur la protection des eaux et du règlement (interdiction d'épandre du lisier dans la zone S2, assainissement de fuites dans les canalisations, p. ex.)
 - l'on adapte le règlement (application de prescriptions plus sévères sur l'utilisation d'engrais de ferme liquides également dans la zone S3, p. ex.)
 - l'on redimensionne la zone de protection
 - un traitement de l'eau est mis en place¹¹
 - Les problèmes identifiés ne pourront très probablement pas être éliminés*

Qualité chimique de l'eau brute

- Répond aux exigences
- Ne répond pas aux exigences (manquements signalés par le laboratoire cantonal, p. ex.)
- Les problèmes identifiés pourront très probablement être résolus si
 - l'on applique les dispositions de la législation sur la protection des eaux et du règlement (interdiction d'utiliser certains produits phytosanitaires dans la zone S2, interdiction de transvaser des liquides de nature à polluer les eaux dans la zone de protection, etc.),
 - l'on adapte le règlement (restrictions plus sévères de l'utilisation de produits phytosanitaires dans la zone de protection, p. ex.)
 - un assainissement est possible dans l'«aire d'alimentation Z_u»
 - un assainissement est possible en application de l'ordonnance sur les sites contaminés
 - un traitement de l'eau est mis en place (déferrisation, p. ex.)
 - Les problèmes identifiés ne pourront très probablement pas être éliminés*

Dangers/conflits

- Absence de danger important pour les eaux souterraines ou d'activités non autorisée dans les zones S1, S2 et S3 actuelles et dans le secteur qui pourrait être englobé dans les futures zones S1, S2 ou S3.
- Présence de dangers ou d'activités non autorisée dans les zones S1, S2 ou S3 actuelles ou dans le secteur qui pourrait être englobé dans les futures zones S1, S2 ou S3.
- Les dangers ou les activités non autorisées pourraient être éliminés ou assainis
 - Les dangers ou les activités non autorisées présentent de telles proportions qu'ils ne pourront probablement pas être éliminés ou assainis*

¹⁰ Il convient de considérer ici l'approvisionnement en eau dans son ensemble. Selon les cas, il peut aussi y avoir des conflits d'utilisation pour d'autres captages d'eaux souterraines du service des eaux.

¹¹ Dans le cas d'eaux souterraines captées dans un aquifère poreux, un traitement ne peut être envisagé que si l'eau ne satisfait pas aux exigences malgré le bon dimensionnement des zones de protection et malgré le respect des prescriptions de protection. Comme solution transitoire, un traitement est aussi admissible jusqu'à ce que les installations mettant en danger le captage aient été démantelées.

Captages avec infiltration d'eaux superficielles

- La part des eaux d'infiltration est inconnue.¹²
- La part des eaux d'infiltration est négligeable (< 10 %)
- Les eaux souterraines contiennent une part considérable d'eaux d'infiltration, dont voici les caractéristiques générales:
- Le temps de séjour des eaux d'infiltration dans le sous-sol est inférieure à dix jours.¹³
 - Les eaux superficielles sont de bonne qualité et le risque de pollution dans le bassin versant est faible.¹⁴
 - Les eaux superficielles sont de mauvaise qualité ou le risque de pollution dans le bassin versant est élevé.*¹⁵
 - Le temps de séjour des eaux d'infiltration dans le sous-sol est de dix jours au moins
 - Le temps de séjour des eaux d'infiltration dans le sous-sol n'est pas connue.¹⁶

Etat de l'installation de captage

- L'état est bon
- L'état laisse à désirer (présence de racines, drains défectueux, p. ex.)

Statut de la zone de protection

- Absence d'une zone de protection ayant force de loi¹⁷
- Existence d'une zone de protection ayant force de loi
- Le dimensionnement répond aux exigences
 - Le dimensionnement ne répond pas aux exigences.¹⁸ Motifs
 - La zone de protection n'est pas subdivisée (absence de délimitation des zones S1 à S3)
 - La zone de protection est incomplète (absence de délimitation d'une zone S1 ou S2, p. ex.)
 - La zone S2 ou une partie de cette zone est déclarée à «effet limité»
 - La zone de protection est trop petite
 - La zone de protection est trop grande
 - L'emplacement de la zone de protection est incorrect
 - Autres

Si les critères indiqués en *italiques* correspondent à la réalité, l'adéquation du captage est fondamentalement remise en question. Il convient alors d'interrompre la procédure de délimitation des zones de protection et, en toute logique, de cesser d'exploiter le captage pour alimenter le réseau d'eau potable.

¹² Ordonner des investigations sur la part des eaux d'infiltration

¹³ Le manque de protection pourra au besoin être compensé par un traitement de l'eau. En cas de pollution fréquente de l'eau brute, il faudra envisager de déplacer le captage.

¹⁴ Le cas échéant, il est possible d'accroître le niveau de protection du captage en délimitant un secteur A₀ de protection des eaux pour les eaux superficielles et en édictant des restrictions l'utilisation adaptées au risque de pollution.

¹⁵ Si un assainissement des eaux superficielles paraît prometteur ou si la couche colmatée assure une protection efficace contre une contamination microbienne de l'eau potable, l'emplacement du captage n'est pas remis en question.

¹⁶ Ordonner des investigations sur le temps de séjour.

¹⁷ La zone de protection délimitée doit entrer en force.

¹⁸ La zone de protection doit être redimensionnée selon les règles en vigueur.

5.4 **Qualité des eaux souterraines – preuve d'une qualité suffisante ou irréprochable**

Les aquifères poreux se distinguent en général par une grande capacité d'emmagasinement et un bon pouvoir de filtration et d'épuration. Les eaux souterraines prélevées à l'emplacement du captage doivent être disponibles en quantité suffisante et leur qualité hygiénique et chimique doit répondre aux exigences en vigueur pour l'eau potable. Si l'eau provenant de captages existants a par le passé présenté des contaminations microbiennes, il importe de garantir que de telles atteintes pourront être éliminées par l'application de restrictions ou d'interdictions d'activités ainsi que par l'élimination de situations à risques dans la future zone de protection (interdiction d'épandre du lisier ou suppression des fuites dans les conduites d'eaux usées, p. ex.). Dans le cas de futurs captages, il convient de tenir compte de l'effet protecteur de la couche de couverture.

5.5 **Traitement de l'eau**

«En règle générale, les ressources en eaux souterraines contenues dans des roches meubles doivent pouvoir être utilisées comme eau potable sans aucun traitement.»

Ce principe est inscrit dans le message du Conseil fédéral concernant la révision de la loi sur la protection des eaux.¹⁹

Selon l'art. 31, al. 2, OEaux, les installations ou activités existant dans les zones de protection et présentant un danger pour l'eau potable doivent être assainies ou écartées des zones de protection selon les dispositions de l'ordonnance (en particulier l'annexe 4, ch. 22) et les prescriptions de protection devront être appliquées. Un traitement de l'eau peut être mis en place à titre de solution transitoire, c'est-à-dire jusqu'à la remise en conformité. Le traitement de l'eau ne doit en aucun cas compenser la non-application des prescriptions sur la protection des eaux (tel le non-respect de l'interdiction d'épandre du lisier ou d'infiltrer des eaux à évacuer dans la zone S2).

Si un risque résiduel important de pollution subsiste malgré le respect des restrictions d'exploitation requises dans les zones de protection, il convient de prévoir un traitement approprié de l'eau brute.

Des analyses chimiques et microbiologiques représentatives sont indispensables pour évaluer si un traitement de l'eau s'impose. Il importe aussi de tenir compte de la dynamique de la recharge des eaux souterraines, elle-même dictée par les conditions météorologiques. Après des précipitations persistantes ou lors de la fonte des neiges, des polluants, qui seraient retenus et dégradés en temps normal, peuvent parvenir dans les eaux souterraines et, de là, jusqu'au captage. Pour apprécier la qualité de l'eau, il importe donc de prélever également des échantillons lorsque les conditions sont «défavorables».

¹⁹ Message du 29 avril 1987 concernant l'initiative populaire «pour la sauvegarde de nos eaux» et la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux, FF 1987 II 1081.

L'eau potable est régie par la législation sur les denrées alimentaires. Les questions relatives au traitement de l'eau devront dès lors être soumises au laboratoire cantonal.

Le guide pratique « procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable » (OFSP, 2010) décrit quels procédés choisir pour éliminer certaines substances et inactiver des microorganismes et quelles sont les conditions préalables. Les procédés peuvent être classés en trois groupes selon leur fonction:

- > Prétraitement (floculation, précipitation, sédimentation).
- > Filtration (filtration lente par le sable, filtration rapide, filtration membranaire).
- > Désinfection (chloration, dioxyde de chlore, ozonation, irradiation UV).
- > Autres procédés de potabilisation de l'eau (oxydation, déferrisation, démanganisation, correction de la dureté, échange d'ions).

5.6 Débit maximal exploitable

En fonction de la législation cantonale, l'octroi de la concession d'exploitation des eaux souterraines relève du canton ou de la commune (cf. actes législatifs cantonaux régissant l'exploitation des eaux). En règle générale, ces concessions sont limitées dans le temps et spécifient un prélèvement maximal en litre par minutes.

Selon l'annexe 4, ch. 121, al. 2, OEaux, le dimensionnement des zones S2 et S3 pour les aquifères dans les roches meubles est déterminé par la quantité maximale pouvant être prélevée. **Normalement, les zones de protection devront donc être dimensionnées en fonction de ce débit de concession.** Concrètement, l'isochrone 10 jours (chap. 6.4) doit être déterminé pour un prélèvement constant du débit de concession.

Dans certains cas, l'autorité compétente aurait toutefois intérêt à ordonner que le dimensionnement de la zone de protection ne se fonde pas *a priori* sur le débit de concession actuel, mais sur un **débit de référence** qu'elle aura fixé. Une telle procédure est par exemple indiquée lorsqu'il ne peut être soutiré à la nappe une quantité d'eau avec le débit de concession que pour un court intervalle de temps.

L'autorité doit alors considérer que, conformément à l'art. 43, al. 1, LEaux, les prélèvements opérés dans une nappe souterraine ne doivent pas être supérieurs à la quantité d'eau qui l'alimente. En d'autres termes, il est interdit d'abaisser le niveau des eaux souterraines sur une grande surface et à long terme, voire de façon permanente. Le débit pouvant être prélevé est déterminé par le débit utile d'une nappe souterraine compte tenu de tous ses utilisateurs et des biotopes qu'elle influence. Si l'on renonce à des investigations détaillées (modélisation de l'influence d'un prélèvement sur les captages voisins ou sur des cours d'eau issus de l'exfiltration de la nappe, p. ex.), il convient d'appliquer la formule empirique suivante:

Environ 20 % de la recharge totale peuvent être exploitées sans que le prélèvement n'engendre des modifications considérables du régime des eaux souterraines, tels des abaissements régionaux du niveau de la nappe ou une diminution notable du débit des cours d'eau dans lesquels la nappe exfiltre.

Selon l'équipement existant, la puissance de pompage, l'épaisseur de la nappe souterraine et la perméabilité, il est possible de prélever à court terme une quantité supérieure aux 20 % indiqués ci-dessus sans contrevenir à la LEaux. Il peut dès lors s'avérer utile que la concession limite les prélèvements et fixe aussi bien un débit de pointe admissible à court terme (exprimé en m³/jour) qu'un débit maximal valable sur le long terme (exprimé en m³/mois)

5.7 **Evaluation du danger potentiel au stade du contrôle d'adéquation**

Afin de vérifier si un emplacement convient pour le captage d'eau potable, l'autorité compétente établit un cadastre des dangers et un plan des conflits (cf. chap. 7). Ces deux instruments donnent un aperçu des conflits existants ou potentiels dans les futures zones de protection. Dans le cas de futurs captages ou de captages dépourvus de zone de protection, le dimensionnement exact de ces zones n'intervient qu'ultérieurement, de sorte que l'on se fonde ici sur des approximations. Il importe cependant de considérer les débits de concession et les données d'ores et déjà disponibles sur la conductivité hydraulique, le gradient hydraulique, la vitesse d'écoulement, etc. Une première appréciation des risques peut en général se fonder sur les grandeurs suivantes:

- > La limite amont de la zone S2 se situe à une distance de 150 m environ du captage.
- > La limite amont de la zone S3 se situe à une distance de 300 m environ du captage.

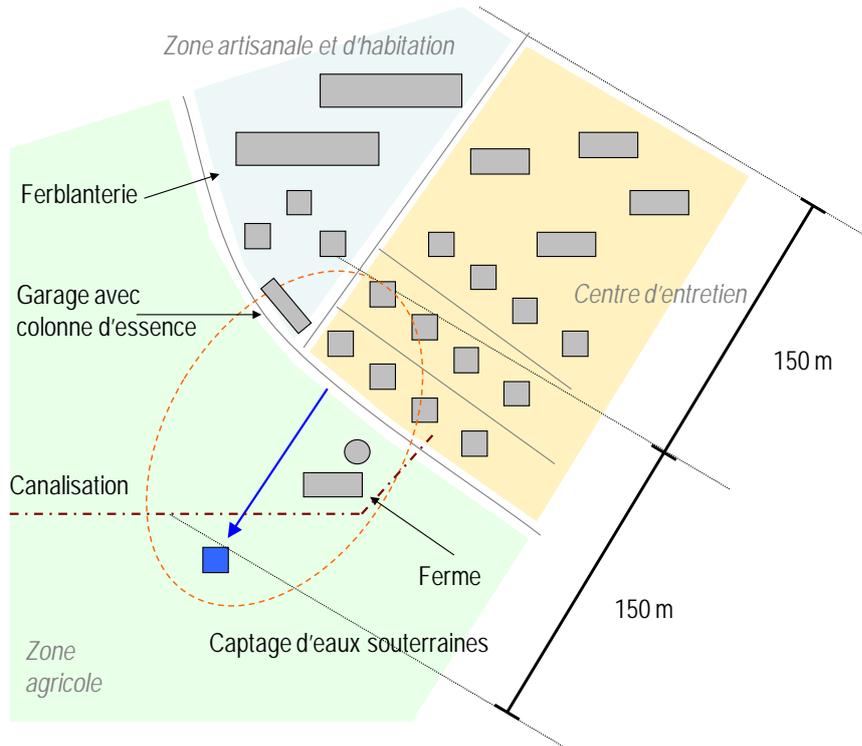
S'il existe, dans la future zone de protection S1, une installation (route, ligne de chemin de fer, bâtiment, transformateur, places de stationnement, etc.) qui ne peut être démantelée, l'emplacement est inapproprié, indépendamment du danger concret que l'installation en question constitue pour les eaux souterraines.

Au stade du contrôle d'adéquation, le cadastre des dangers et le plan des conflits ne contiennent qu'une présentation approximative des risques. Des investigations devront ensuite déterminer l'importance des dangers ou des conflits d'utilisation et s'il est possible de les éliminer (cf. fig. 3 et fig. 4).

Plan des conflits et cadastre des dangers

Exemple 1

Fig. 3 > Plans des conflits d'une zone comprenant beaucoup de dangers

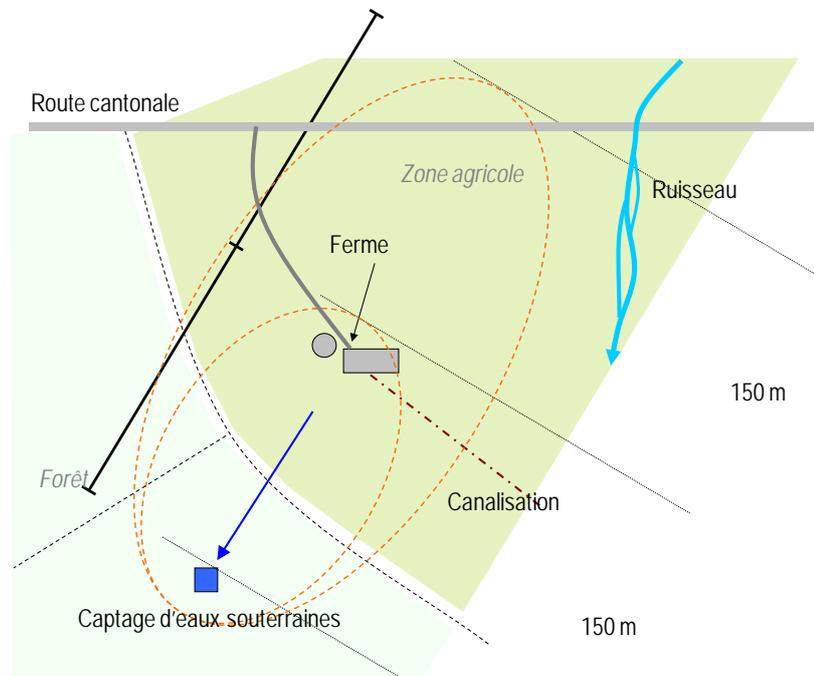


Installations et activités	Inventaire
Constructions, exploitations et installations en surface	<p>Selon le plan de zones communal, une grande partie de la future zone de protection se situe en zone à bâtir (50 % environ en zone d'habitation et 30 % environ en zone artisanale et d'habitation). → C'est surtout la situation en zone artisanale qui pose problème.</p> <p>Dans une zone s'étendant jusqu'à 150 m en amont du captage (limite approximative d'une future zone S2), on trouve plusieurs maisons d'habitation, une ferme (avec élevage d'animaux de rente) et un garage (équipé d'une colonne d'essence). → La densité des constructions pose problème. Les garages dotés d'une colonne d'essence ou les installations d'entreposage d'engrais de ferme ne sont admis en aucun cas dans la zone S2. Au-delà de cette première limite (soit approximativement dans la future zone S3), la densité des constructions est similaire. Il importe de relever ici la présence de deux exploitations: une ferblanterie et le centre communal d'entretien. → Une ferblanterie et un centre d'entretien posent de sérieux problèmes dans une zone S3.</p>
Installations d'évacuation des eaux usées	<p>Un collecteur principal d'eaux usées traverse la zone de captage (sa distance minimale du captage est de 17 m). → Un tel collecteur représente un très grand risque, qui ne peut être toléré dans la zone S2.</p> <p>Nombreux raccords d'immeubles. → Ils représentent un grand risque dans la zone S2; très problématique</p>
etc.	etc.
↓	
<p>Résultat de l'évaluation: il est impossible d'assurer la protection requise par la loi sur le site envisagé. L'emplacement ne convient donc pas au captage d'eau potable.</p>	

Plan des conflits et cadastre des dangers au stade du contrôle d'adéquation

Exemple 2

Fig. 4 > Plan des conflits d'une zone comprenant peu de dangers



Installations et activités	Inventaire
Constructions, exploitations et installations en surface	Une ferme se trouve à 120 m en amont du captage. Pas d'autre construction en surface. → La ferme pose problème, mais des mesures appropriées peuvent les régler.
Installations d'évacuation des eaux usées	Une canalisation d'eaux usées (raccordement d'immeuble) part de la ferme mentionnée ci-dessus en direction du village; elle est perpendiculaire au sens d'écoulement des eaux souterraines. → Cette canalisation pose problème, mais des mesures appropriées peuvent le régler.
Routes	Un tronçon de 50 m environ de la route cantonale pourrait se situer dans la future zone S3. → Cette situation pose problème, mais des mesures appropriées peuvent en venir à bout. Route d'accès à la ferme ci-dessus et d'autres chemins agricoles et forestiers. → Ces dessertes posent peu de problèmes.
Agriculture	Une portion de 50 % environ de la future zone de protection est vouée à l'exploitation agricole (pâturages, grandes cultures). → Cette exploitation représente un risque que des mesures appropriées permettent de contenir. Présence d'installations pour l'entreposage d'engrais de ferme (fosse à lisier, fumière, p. ex.) dans la ferme ci-dessus. → De telles installations sont inadmissibles dans la zone S2 et devront en être retirées.
Sylviculture	Le captage se situe en forêt (à 50 m de la lisière). → Point positif
Espace réservé aux eaux	L'espace réservé au cours d'eau se trouve à l'extérieur des zones de protection.
	
Résultat de l'évaluation: Le danger potentiel présente des proportions maîtrisables. On peut passer à la délimitation définitive des zones de protection.	

5.8 Contrôle d'adéquation – exemples

Se fondant sur l'évaluation de l'emplacement, le service cantonal spécialisé entreprend le contrôle d'adéquation, qui sert à décider s'il est possible ou non de délimiter les zones de protection prévues. Ce contrôle doit être effectué aussi bien lors de la délimitation de nouvelles zones de protection que lors de la modification de zones existantes.

Deux exemples:

- > L'exploitation de l'eau potable du captage présente un grand intérêt public. Le cadastre des dangers et le plan des conflits révèlent toutefois des activités (épandage de lisier) et des installations (route nationale passant à 120 m du captage) susceptibles de poser problème. L'interdiction d'épandre du lisier dans la future zone S2 et l'aménagement d'un système étanche d'évacuation des eaux de chaussée le long du tronçon de route problématique permettent d'éliminer la majeure partie des dangers identifiés.

Exemple 3

Conclusion: on peut entreprendre les études hydrogéologiques destinées à dimensionner les zones S1, S2 et S3. La délimitation d'une zone de protection est en principe approuvée.

- > Le service des eaux communal tire actuellement la totalité de son eau potable de plusieurs sources très rapprochées les unes des autres. En 1974, une zone de protection S a été délimitée autour de ces sources, mais elle n'est pas subdivisée en zones S1, S2 et S3. Des constructions occupent 50 % de sa surface. Outre la densité de construction, le cadastre des dangers révèle aussi la présence de conduites d'eaux usées, de réservoirs à mazout et de plusieurs places de stationnement dépourvues de revêtement imperméable. De plus, l'eau extraite contient des traces de solvants chlorés et le laboratoire cantonal a déploré à plusieurs reprises la mauvaise qualité bactériologique de l'eau brute. Sur le plan technique, il est possible et relativement aisé de raccorder le réseau d'eau potable à la commune voisine. Les captages de la commune voisine sont entourés de zones de protection conformes à la législation et aucun danger grave n'y menace l'eau potable.

Exemple 4

Conclusion: il faut renoncer à modifier la zone de protection existante. La commune est invitée à revoir son système d'adduction d'eau potable dans un délai approprié et à s'approvisionner à l'avenir dans la commune voisine. S'il faut abandonner l'exploitation des sources pour l'eau potable, il est possible de la maintenir pour les cas d'urgence.

6 > Dimensionnement des zones de protection

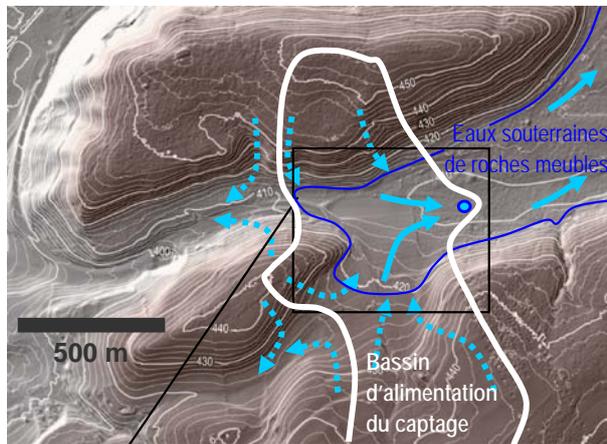
6.1 Généralités concernant les méthodes

Reproduire ici toutes les méthodes utilisées en hydrogéologie pour déterminer l'emplacement idéal du captage, dimensionner et étudier les zones de protection dépasserait le cadre du présent document. Nous nous contentons dès lors de présenter les principales règles méthodologiques à respecter lors de l'évaluation des zones de protection. Elles s'appliquent, par analogie, aussi bien aux investigations portant sur des captages existants qu'à l'étude de futurs captages (forages de reconnaissance, p. ex.).

L'hétérogénéité qui caractérise avant tout les roches meubles à granulométrie grossière peut faire varier grandement les caractéristiques du sous-sol dans lequel circule l'eau avant de parvenir au captage. Les études hydrogéologiques doivent en tenir compte, en recourant par exemple à un relevé géophysique ou par une interprétation appropriée des résultats.

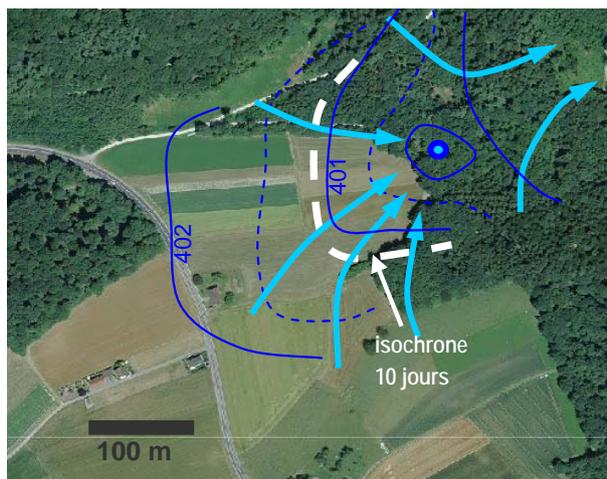
En règle générale, toutes les méthodes doivent correspondre à l'état actuel de la technique et leur application est à documenter de façon vérifiable. Compte tenu des conflits d'utilisation, existants et potentiels, les dépenses consacrées aux investigations doivent également respecter le principe de la proportionnalité. Plus les dépenses consenties seront faibles, plus il faudra néanmoins faire preuve de prudence lors de la délimitation des zones de protection (délimiter des zones plus grandes en cas de doute).

Fig. 5 > Vue d'ensemble de la procédure de dimensionnement des zones de protection



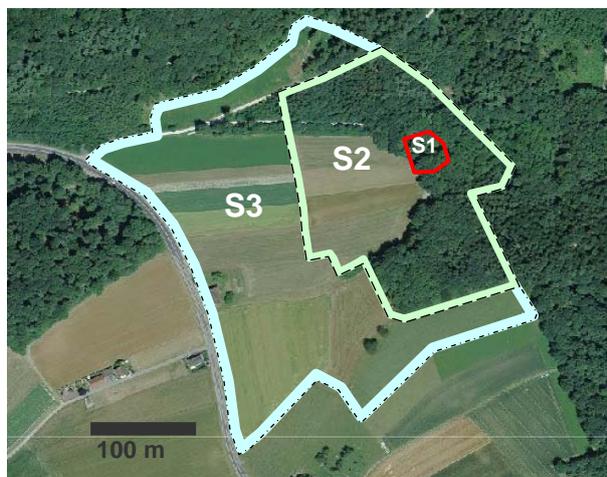
Détermination du bassin d'alimentation du captage

selon chap. 6.2



Détermination du cône de rabattement ou de la zone d'appel

selon chap. 6.3



Dimensionnement des zones S1, S2 et S3

selon chap. 6.5

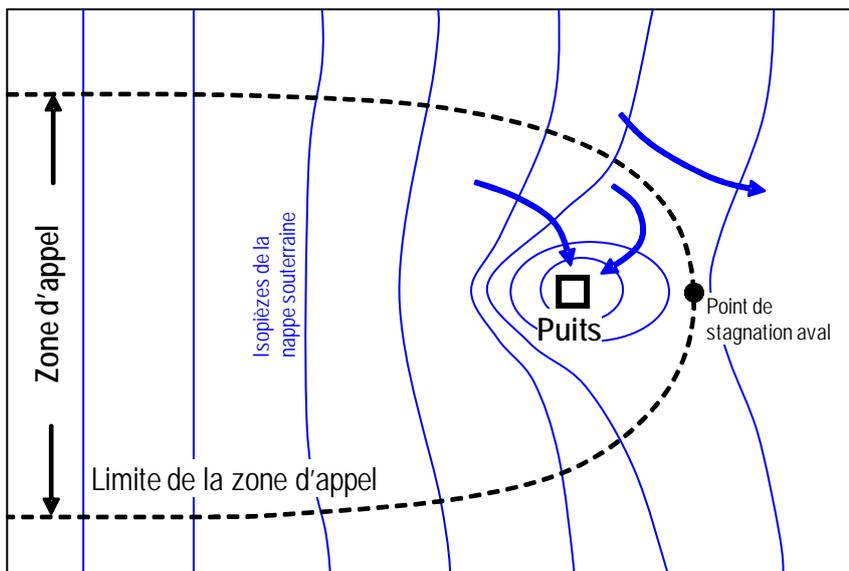
6.2 Détermination du bassin d'alimentation du captage

Le bassin d'alimentation d'un captage représente la zone d'où provient l'eau qui est prélevée au puits ou qui sort à la source. Son dimensionnement est décrit dans le module *Dimensionnement des aires d'alimentation* Z_u (OFEFP 2005). Des données sur l'étendue ou la surface du bassin d'alimentation permettent d'optimiser les investigations décrites plus loin. Relevons que les zones destinées à protéger des sources à débit relativement faible peuvent couvrir pratiquement la totalité du bassin d'alimentation du captage.

6.3 Détermination du cône de rabattement ou de la zone d'appel

Le cône de rabattement qui se forme autour d'un puits de captage est déterminé non seulement par le débit prélevé, mais aussi par la perméabilité de l'aquifère et le gradient naturel de la nappe. Lorsque celle-ci possède une pente naturelle faible (faible gradient hydraulique), le cône de rabattement aura une forme pratiquement circulaire. Si le gradient est élevé, il prendra la forme d'une parabole plutôt étroite et allongée. La structure du cône de rabattement définit la limite de la zone d'appel et la position du point de stagnation aval (cf. fig. 6). Ces notions sont expliquées en détail dans la littérature spécialisée (cf. p. ex. *Taschenbuch der Wasserversorgung* 2007). L'étendue de la zone d'appel (qu'elle soit étroite ou large, voire circulaire) se retrouve dans la forme des zones de protection, en particulier des zones S2 et S3.

Fig. 6 > Zone d'appel



Tiré de *Taschenbuch der Wasserversorgung*, 2007

Pour déterminer le cône de rabattement, on se fonde en général sur un essai de pompage à grande échelle pendant lequel on procède à toutes les mesures piézométriques requises aux alentours du puits. Des traçages fourniront des informations sur les conditions d'écoulement des eaux souterraines. Afin de compléter les études hydrogéologiques effectuées sur le terrain, on peut également recourir à un modèle numérique des eaux souterraines. Une synthèse des résultats issus des diverses méthodes appliquées fournira les données les plus probantes. Nous abordons plus en détail les diverses méthodes évoquées dans les sections ci-après.

6.4 Détermination de l'isochrone 10 jours

6.4.1 L'isochrone 10 jours

L'isochrone 10 jours correspond à la ligne à partir de laquelle les eaux souterraines mettent 10 jours pour atteindre le captage. Le temps d'infiltration des eaux de pluie depuis la surface du sol jusqu'à la nappe n'est pas pris en compte dans le calcul. La longueur du trajet parcouru, soit la distance entre cette ligne et le captage, se calcule à l'aide de l'équation suivante:

En général: $\Delta z = v \times t$

Pour l'isochrone 10 jours: $\Delta z_{10} = v \times 10$

où:

Δz	= longueur du trajet parcouru [m]
v	= vitesse de déplacement [m/jour]
t	= temps de séjour [jour]

Pour appliquer cette formule, il importe de disposer de données fiables tout à la fois sur les conditions d'écoulement et les temps de séjour des eaux souterraines en amont du captage. Les diverses méthodes utilisées pour déterminer l'isochrone 10 jours sont expliquées plus en détail dans les chapitres suivants.

6.4.2 Traçages

6.4.2.1 Généralités

Les traçages (aussi appelés essais de traçage ou essais de coloration) restent la méthode la plus fiable et dès lors la plus fréquemment appliquée pour déterminer les vitesses de déplacement et les temps de séjour. L'aide à l'exécution *Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie* (OFEG 2002) fournit les principales bases permettant de procéder à de tels essais et de les évaluer.

Nous reprenons ici les points dont il faut en particulier tenir compte lorsque l'on procède à des traçages en vue de délimiter des zones de protection pour des aquifères poreux.

Voici les questions auxquelles il faut répondre en priorité:

- > Quelle est la vitesse de déplacement sur le trajet le plus direct jusqu'au captage?
- > Un risque particulier existe-t-il dans le bassin d'alimentation immédiat du captage?

Le choix des points d'injection devra être fait de manière à pouvoir répondre à ces questions. Dans les aquifères poreux et en plaine, les vitesses moyennes d'écoulement se situent souvent entre 1 et 20 m/jour. L'expérience a montré qu'il est judicieux de respecter une distance de 100 m environ entre le point d'injection du traceur et le captage pour définir l'isochrone 10 jours avec un maximum de précision. En présence d'un gradient hydraulique élevé et d'une forte perméabilité, situation fréquente dans les Alpes et les Préalpes, il faut toutefois s'attendre à des vitesses d'écoulement de plus de 200 m/jour. Il importe en particulier de considérer aussi les résultats du cadastre des dangers et d'injecter des traceurs non seulement dans la direction d'écoulement des eaux souterraines vers le captage, mais aussi aux emplacements où les risques de conflits sont les plus grands.

La règle de 10 jours se réfère au temps de séjour d'une particule d'eau dans le sous-sol saturé. Le temps de séjour dans le sous-sol non saturé ne devant pas être pris en considération, il faut injecter les traceurs dans le sous-sol saturé (à l'aide d'un piézomètre dont le tube plonge dans la nappe souterraine, p. ex.). Si une telle injection s'avère impossible, en raison de la profondeur piézométrique ou de l'absence de forages, ou occasionnerait des coûts disproportionnés, il est recommandé de procéder comme suit:

- > Enfoncer un piézomètre en acier aussi profondément que possible dans le sol (si rien ne bloque sa progression, la profondeur de battage peut atteindre 6 à 8 m dans les graviers).
- > Rincer le tube avec de l'eau du réseau de manière à créer une colonne d'infiltration jusqu'à la nappe souterraine avant l'injection du traceur (pas d'eau superficielle pour éviter le colmatage par de fines particules organiques).
- > Injecter le traceur et rincer abondamment.

En règle générale un échantillonnage est fait quotidiennement au cours des douze premiers jours après l'injection du traceur. On peut ensuite réduire progressivement la fréquence des prélèvements.

Lors de traçages, c'est en général le pic de la courbe de restitution du traceur qui détermine l'isochrone 10 jours (cf. fig. 7). Chaque cas doit cependant faire l'objet d'une interprétation adaptée aux conditions locales.

Points d'injection

Injection directe dans les eaux souterraines

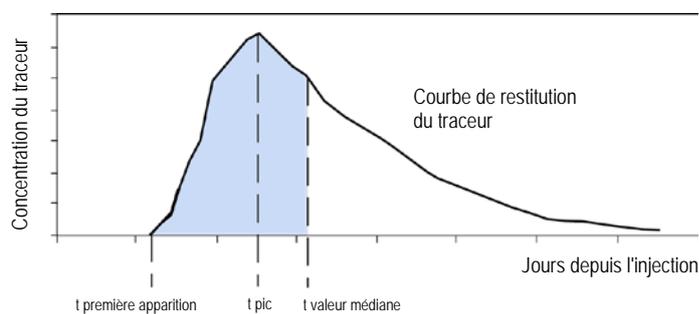
Fréquence des prélèvements

Vitesse de déplacement déterminante

Fig. 7 > Interprétation des courbes de restitutions de traceurs

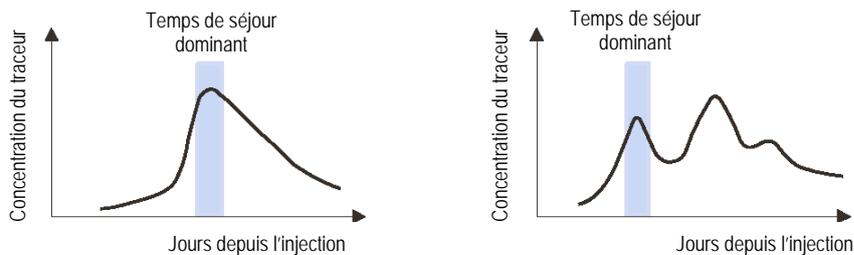
Le débit extrait du captage étudié doit correspondre au débit maximal autorisé pour un temps prolongé (débit de concession ou débit d'exploitation journalier maximum). La courbe de restitution du traceur permet de déterminer divers temps de séjour pour la distance d entre le point d'injection et le point de prélèvement:

Temps de séjour minimum	$t_{\text{première apparition}}$
Temps de séjour dominant	t_{pic}
Temps de séjour moyen	$t_{\text{valeur médiane}}$

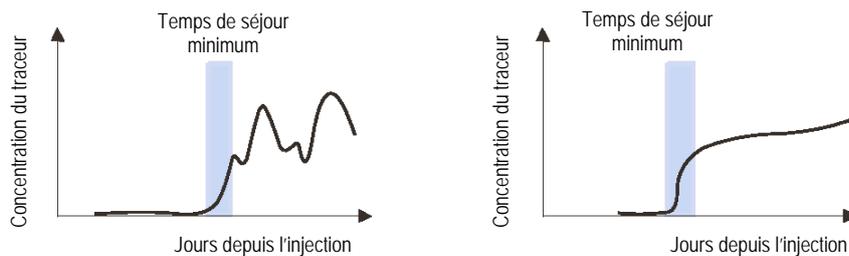


Les courbes de restitution peuvent prendre diverses formes. Les deux exemples ci-dessous montrent les temps de séjour auxquels on se réfère pour déterminer l'isochrone 10 jours dans un aquifère en roche meuble. Pour des explications plus détaillées, voir le guide pratique *Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie* [Office fédéral des eaux et de la géologie. OFEG].

Le calcul de l'isochrone 10 jours se base normalement sur le **temps de séjour dominant**. Si la courbe présente plusieurs maxima de concentration à peu près équivalents, c'est le premier pic qui sera déterminant.



Lorsque le milieu est très hétérogène (par ex. réseau de chenaux en tresse), on prendra la première apparition du traceur – donc le **temps de séjour minimum** – comme base de calcul pour l'isochrone 10 jours. Cette règle s'applique également aux traçages destinés à déterminer le temps dont on dispose pour intervenir en cas d'accident.



6.4.2.2 Le traçage dans le cas de sources

La structure géologique d'aquifères en roche meuble qui alimentent des sources peut également présenter des chenaux ou contenir des couches de gravier localement étendues. Voici les recommandations à respecter pour tenir compte de l'hétérogénéité du sous-sol:

- > L'idéal est de procéder aux traçages pendant le semestre d'hiver, plus spécialement en période de précipitations de forte intensité (on aura ainsi plus de chance de déceler le traceur au niveau de la source). Dans les régions de plus haute altitude le traçage s'effectue après la fonte des neiges.
- > Le traceur sera si possible injecté au moyen d'un piézomètre dont le tube plonge jusque dans la nappe souterraine. Pour tenir compte de l'hétérogénéité décrite ci-dessus, il est recommandé de répartir la quantité de traceur et de l'injecter dans le sous-sol à l'aide de plusieurs tubes juxtaposés. L'étude ne portera donc pas sur la relation hydraulique entre un point précis du terrain et la source, mais entre une zone un peu plus grande et la source. Cette façon de faire augmente la probabilité de déceler le traceur dans la source. Avant et après l'injection, procéder au rinçage décrit plus haut.
- > Une fréquence d'échantillonnage élevée s'impose, en particulier juste après l'injection du traceur (un prélèvement par jour au minimum). Des problèmes particuliers peuvent se poser dans le cas de sources situées dans une zone d'éboulis. Ceux-ci pouvant présenter une porosité cavernuse, il faut s'y attendre à des vitesses d'écoulement extrêmement rapides (comparables à celles que l'on rencontre en milieu karstique).

6.4.2.3 Le traçage multiple

Le traçage multiple consiste à injecter plusieurs traceurs au cours du même essai in situ. Il offre une meilleure couverture géographique du site et augmente la validité des résultats. Il rend aussi mieux compte des éventuelles variations de la vitesse de déplacement induites par l'hétérogénéité des roches meubles. Le nombre de traceurs qui conviennent pour un tel traçage dans les roches meubles est toutefois limité. On trouvera des indications détaillées à ce sujet dans l'aide à l'exécution *Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie* (OFEG 2002).

6.4.3 Méthode de Wyssling

En 1979, L. Wyssling²⁰ a mis au point une formule mathématique qui peut servir à délimiter les zones de protection autour des captages d'eaux souterraines. Elle permet en effet de calculer directement la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines à partir d'un point quelconque situé sur l'axe d'écoulement jusqu'au puits en service. Relativement simple et valable dans la pratique, ce calcul se fonde sur de longues années d'expérimentations. En l'appliquant, on pose comme hypothèse de base

²⁰ WYSSLING, L. (1979): Eine neue Formel zur Berechnung der Zuflussdauer (Laufzeit) des Grundwassers zu einem Grundwasser-Pumpwerk. *Eclogae geologicae Helveticae* 72/2, pS. 401–406.

que les conditions régnant dans l'aquifère sont plus ou moins homogènes et que le débit prélevé (Q) est nettement inférieur au débit total de la nappe souterraine.

6.4.3.1 Grandeurs spécifiques (hydrogéologiques)

Grandeurs hydrogéologiques spécifiques, connues ou à mesurer, utilisées pour les calculs:

- H = épaisseur de l'aquifère, en m
- k = perméabilité de l'aquifère, en m/s
- i_o = gradient hydraulique, lorsque $Q = 0$
- $p(\omega)$ = porosité efficace²¹ (lorsque l'eau circule)
- Q = débit prélevé au puits, en m³/s

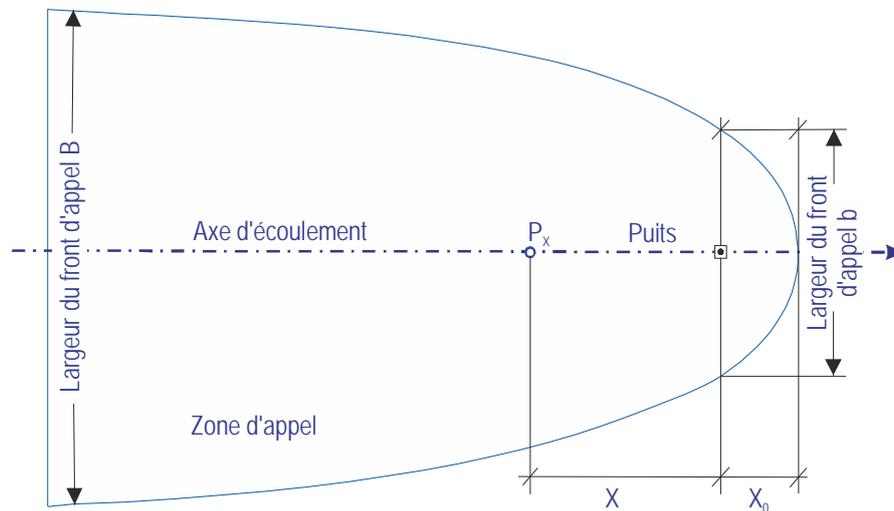
6.4.3.2 Grandeurs à calculer

Une fois connues les grandeurs hydrogéologiques ci-dessus, il est possible de calculer les grandeurs suivantes, qui sont nécessaires pour dimensionner les zones de protection des eaux:

- (1) $B = \frac{Q}{H \cdot k \cdot i_o}$ B = largeur du front d'appel en amont du puits, en m, pour un débit d'exploitation donné (Q)
- (2) $b = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 \cdot H \cdot k \cdot i_o}$ b = largeur du front d'appel à la hauteur du puits, en m
- (3) $x_o = \frac{B}{2\pi} = \frac{Q}{2\pi \cdot H \cdot k \cdot i_o}$ x_o = distance séparant le puits du point de stagnation aval, en m
- (4) $v_o = \frac{k \cdot i_o \cdot 86400}{p(\omega)}$ v_o = vitesse naturelle d'écoulement des eaux souterraines, en m/j
- (5) $t = \frac{x - x_o \cdot \ln\left(1 + \frac{X}{X_o}\right)}{v_o}$ t = temps de séjour entre un point donné de l'axe d'écoulement P_x (fig. 8) et le puits (en amont du puits, x est positif; en aval du puits, il est négatif)

²¹ Pour les grandeurs empiriques de p , cf. ch. 6.4.4.

Fig. 8 > Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode de Wyssling



6.4.3.3 Délimitation hydrogéologique de l'aire minimale de la zone S2

La délimitation de la zone S2 se fonde en principe sur le débit de référence Q en régime permanent d'exploitation. L'aire minimale de la zone S2 est en général dictée par l'isochrone 10 jours. On obtient sa dimension vers l'amont et vers l'aval à l'aide de la formule (5), que l'on applique à diverses valeurs de la distance x jusqu'à obtenir un temps de séjour (ou une durée d'écoulement) équivalent à dix jours ($t = 10$ jours). Après avoir reporté ces points sur l'axe d'écoulement, on peut déterminer avec une assez bonne précision la forme de la zone S2 (selon l'isochrone 10 jours) en procédant tout comme pour la délimitation de la zone d'appel. Quant à la marge de sécurité à prévoir dans toutes les directions, elle dépend surtout de la qualité des données hydrogéologiques de base (par ex. spectre des valeurs de perméabilité k selon chap. 6.4.4). Aucune formule ni aucun modèle numérique ne peuvent en fin de compte fournir des données de qualité supérieure à celles qui leur servent de base.

6.4.4 Modèles numériques

Dans l'élaboration d'un modèle numérique permettant d'étudier l'écoulement des eaux souterraines, on distingue deux approches: la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis. Les modèles se distinguent ensuite par leur dimension (2D horizontal, 2D vertical et 3D) et par des spécificités physiques (nappe captive ou libre, milieu isotrope ou anisotrope). Pour dimensionner les zones de protection des eaux souterraines en roches meubles, on recourt souvent à un modèle 2D plan. La plupart des programmes permettent de calculer les lignes de courant (*particle tracking*) et de tracer ainsi des isochrones, c'est-à-dire des lignes reliant les points équidistants du captage en termes de durée d'écoulement. La détermination de l'isochrone 10 jours à l'aide du *backtracking* consiste donc à calculer pour chaque particule d'eau quel chemin elle a parcouru avant d'atteindre le captage.

La validité des résultats fournis par les modèles numériques dépend pour l'essentiel de la qualité et du degré de détail des données hydrogéologiques dont on dispose pour la région considérée, ces critères revêtant une importance particulière en présence de structures complexes tridimensionnelles. La distribution du coefficient k ou le champ de transmissivité, constitue en général l'élément clé pour assurer la fiabilité et la pertinence d'un modèle d'écoulement. En cas de problèmes particuliers, l'utilisation d'une méthode de cartographie géophysique appropriée peut permettre d'affiner l'interprétation spatiale. Comme méthodes valables ayant fait leurs preuves les méthodes géoélectriques, radio-magnétotelluriques et le géoradar peuvent être mentionnés.

Remarques d'ordre méthodologique

- > La démarche à suivre lors d'une modélisation étant décrite en détail dans la littérature spécialisée, le présent document se contente de fournir les remarques méthodologiques dont il faut en particulier tenir compte pour déterminer l'isochrone 10 jours appelée à servir de base au dimensionnement des zones de protection.
- > Le modèle devrait si possible correspondre à l'aquifère toute entier. Or c'est justement lors d'investigations destinées à délimiter des zones de protection que les modèles numériques ne couvrent souvent qu'une portion de la nappe souterraine. Dans ces cas, les bords d'un champ d'écoulement, avec ses conditions aux limites (potentiels fixes, débits entrant et sortant perpendiculairement aux parois du modèle), ne devraient pas se trouver trop près du captage. Les bords, du modèle, dont les conditions aux limites ne correspondent pas aux limites naturelles de l'aquifère, doivent être suffisamment éloignés du captage pour que l'effet du prélèvement sur le potentiel des eaux souterraines y soit négligeable.
- > La perméabilité dont le modèle tient compte aux abords du captage doit correspondre aux valeurs fournies par un essai de pompage à grande échelle (coefficient k local). Il est recommandé de réaliser une analyse de sensibilité afin de vérifier l'influence des variations de divers paramètres sur les résultats de la modélisation, puis de s'en servir afin de calculer les isochrones 10 jours pour diverses valeurs de k comprises dans les limites mesurées lors des essais.
- > La porosité est un autre paramètre de modélisation qui détermine la distance entre l'isochrone 10 jours et le captage. Dans l'idéal, il est possible de la déduire à partir de traçages. Les formations de gravier présentent une porosité totale de 25 à 35 % environ. La part des pores pouvant être traversés par l'eau sur le volume total de la formation en roche meuble, c'est-à-dire la *porosité efficace*, est toutefois nettement plus faible. Une comparaison entre les résultats fournis par des traçages et ceux issus d'une modélisation numérique montre qu'un modèle reproduira le plus fidèlement les vitesses de déplacement (c'est-à-dire qu'il recoupera au mieux les résultats des traçages) si l'on admet que la porosité efficace de gravier sablonneux se situe entre 10 et 15 %. Partir d'une hypothèse prudente pour définir la porosité peut d'ailleurs compenser l'hétérogénéité naturelle du sous-sol (voies d'écoulement préférentielles).

Limites du modèle

Perméabilité

Porosité

6.5 Dimensionnement des zones S1, S2 et S3

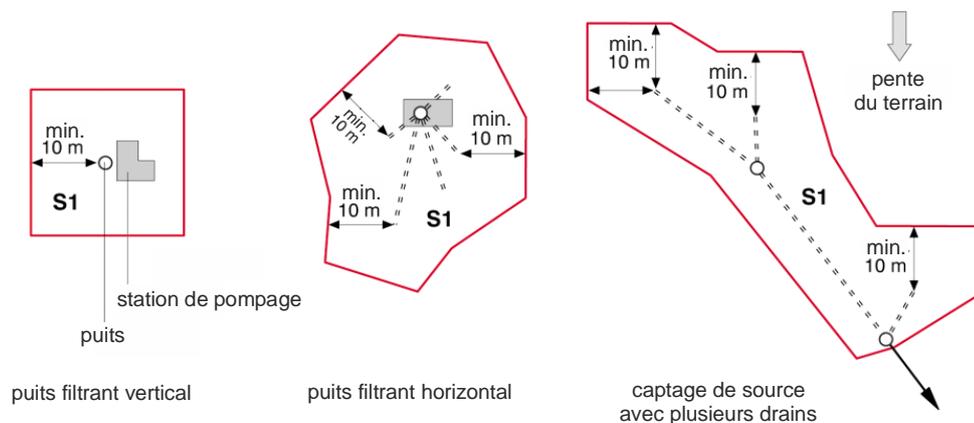
6.5.1 Zone S1

La zone S1 englobe une bande de 10 m au moins autour de tous les éléments de l'installation de captage (cf fig. 9).

Ces divers éléments sont:

- > l'installation de captage, soit la tête de puits pour un puits filtrant vertical; la tête de puits et les drains pour un puits filtrant horizontal; pour une source captée, les drains et, si nécessaire, la chambre d'eau;
- > les terrains superficiels directement touchés par les opérations de forage ou d'excavation;
- > toute la surface correspondant à une installation d'alimentation superficielle, soit la surface d'infiltration prévue.

Fig. 9 > Dimensionnement de la zone S1



Pour une source captée, cette distance peut être inférieure à 10 m en aval. En fonction de la topographie, elle sera de préférence supérieure à 10 m en amont, afin de réduire les risques liés au ruissellement superficiel.

La distance entre l'ouvrage de captage et la limite de la zone S1 est augmentée si les risques de pollution sont élevés.

Dans le cas de puits filtrants dont les drains horizontaux sont situés à grande profondeur ou de captages protégés par des couches de couverture de grande épaisseur et peu perméables, la zone S1 peut se limiter aux constructions en surface et à leurs alentours immédiats.

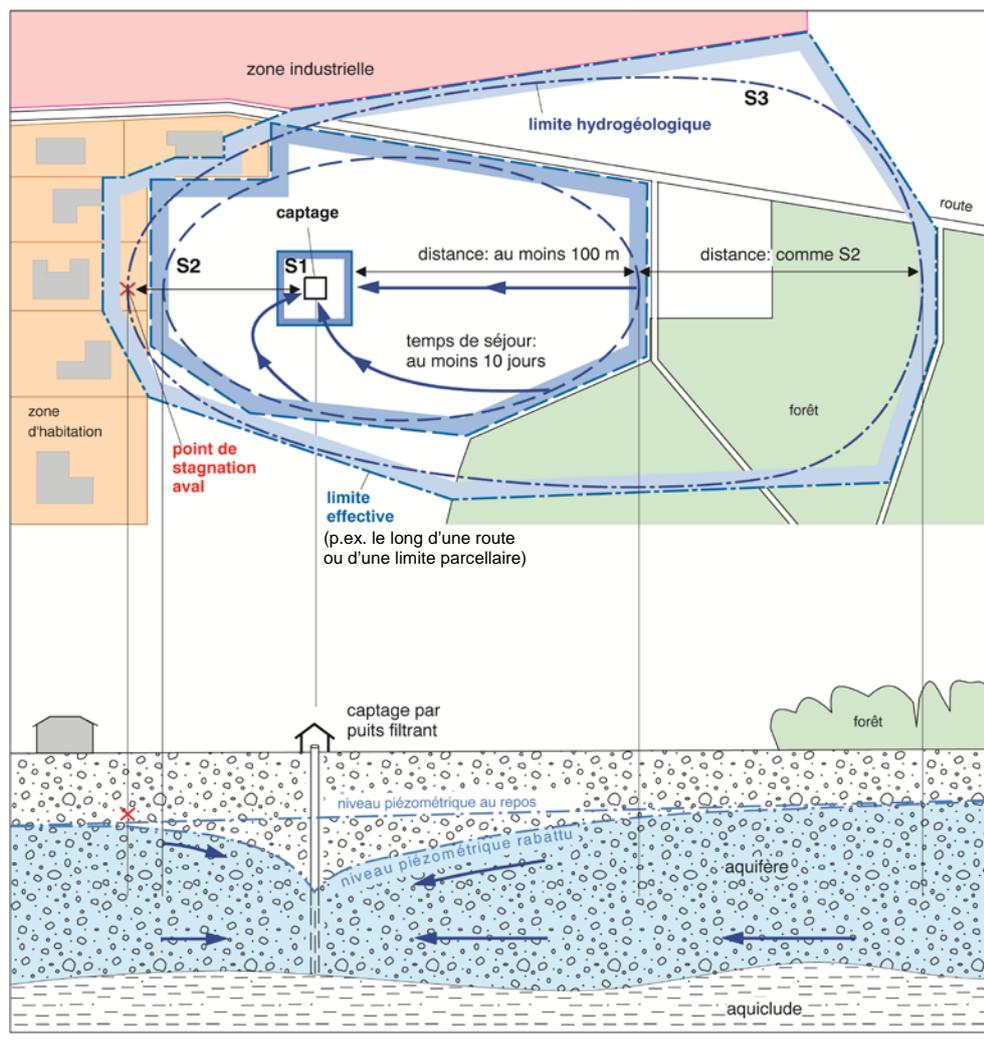
6.5.2 Zone S2

La zone S2 (cf. fig. 10) est dimensionnée de telle sorte que:

- > la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines entre la limite amont de la zone S2 et le captage soit d'au moins dix jours et que
- > la distance entre la zone S1 et la limite amont de la zone S2 soit d'au moins 100 m dans le sens du courant.

Pour le dimensionnement les deux conditions ci-dessus devraient toujours être satisfaites. Si l'isochrone 10 jours se situe à moins de 100 m de distance de la limite S1/S2, la règle des 100 m s'applique alors. L'isochrone 10 jours correspond à la ligne à partir de laquelle les eaux souterraines mettent dix jours pour atteindre le captage lorsque l'installation de captage prélève en continu le débit de concession ou le débit de référence dans la nappe (cf. chap. 6.4).

Fig. 10 > Dimensionnement des zones S2 et S3



Le dimensionnement de la zone S2 se fonde uniquement sur la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines dans la zone saturée de l'aquifère. Il ne doit pas tenir compte du temps nécessaire aux eaux météoriques pour s'infiltrer à travers la surface du sol jusque dans la nappe souterraine.

A titre exceptionnel, en présence de certaines conditions hydrogéologiques particulières, on peut s'écarter des exigences minimales prescrites ci-dessus. La distance séparant les limites amont des zones S1 et S2 peut ainsi être inférieure à 100 m, lorsque les études hydrogéologiques démontrent que des couches de couverture continues, peu perméables et intactes, offrent une protection équivalente. On peut ainsi réduire la distance minimale de 100 m dans les situations suivantes:

- > En présence d'une nappe unique d'eaux souterraines, lorsque des fouilles, des forages et/ou des études géophysiques montrent que les couches de couverture sont homogènes et que les sondages effectués ne réduisent pas leur effet protecteur. Ces couches de couverture doivent être peu perméables ($k < 1 \times 10^{-7}$ m/s), présenter une épaisseur d'au moins 5 m et ne pas comprendre de lentilles plus perméables. La perméabilité des couches de couverture sera déterminée de manière empirique (par des essais d'infiltration, p. ex.). La distance entre les limites des zones S1 et S2 ne doit cependant pas être inférieure à 50 m.
- > En présence de nappes superposées, lorsqu'il est établi que les eaux souterraines captées proviennent d'aquifères profonds et qu'aucune liaison hydraulique n'existe entre la nappe la plus proche de la surface et celles qui sont exploitées pour la production d'eau potable. Une telle situation peut se présenter dans le cas de puits filtrants à drains horizontaux situés à grande profondeur ou de sources captées au moyen de drains forés ou de galeries.

6.5.3 Zone S3

Le dimensionnement de la zone S3 (cf. fig. 10) est régi par les règles suivantes:

- > En aval du captage, la zone S3 comprend au moins la zone d'appel jusqu'au point de stagnation aval. A partir de ce point, les eaux souterraines ne peuvent plus refluer vers le captage, même dans les conditions les plus défavorables.
- > En amont du captage, la distance entre la limite de la zone S2 et celle de la zone S3 équivaut environ à la distance entre la limite de la zone S1 et la limite de la zone S2.

6.5.4 La délimitation «pratique» des zones de protection

La délimitation pratique enveloppe la limite hydrogéologique et prends en compte la réalité et les conditions locales (cf. fig. 10). Il s'agit alors de la délimitation définitive représentée dans le plan des zones de protection.

Les éléments suivant peuvent servir de limites pratiques:

- > les limites de parcelles
- > les lizières de forêt
- > les routes ou les chemins
- > les cours d'eau
- > limites des surfaces exploitées (soles, etc.)

7 > Cadastre des dangers et plan des conflits: investigations requises

Le cadastre des dangers et le plan des conflits mettent en évidence, pour une zone de protection existante ou prévue, les conflits d'utilisation qui opposent l'exploitation d'eau potable à d'autres activités. Tous deux font partie intégrante du rapport hydrogéologique et servent de base aux mesures définies dans le règlement des zones de protection. Les éventuels dangers doivent y être inscrits à l'échelle des parcelles.

Pour établir le cadastre des dangers et le plan des conflits qui lui est associé, il importe, selon les sites, d'évaluer les éléments suivants:

- > Plans directeurs et plans de zones
 - Plans directeurs ou plans directeurs partiels cantonaux, régionaux et communaux (tels les plans directeurs désignant les sites d'extraction de matériaux et les décharges, les infrastructures touristiques et de transport, etc.)
 - Plans de zones communaux: densité générale des constructions, zones industrielles et artisanales, zones d'habitation, zones mixtes, zones d'utilité publique, zones agricoles, zones de forêts, réserves naturelles, etc.
- > Cadastre communal (comprenant les conduites, les canalisations et les collecteurs d'eaux usées enterrés)
 - Plans des conduites d'eau, d'eaux usées, d'électricité, de télécommunication, de télévision par câble, de gaz (y compris les gazoducs),.
 - Plan général d'évacuation des eaux (PGEE), canalisations comprises
 - Cadastre communal d'infiltration répertoriant les diverses installations, y compris leur état d'entretien, accompagné le cas échéant d'une carte d'infiltration (PGEE)
 - Plans d'amélioration foncière indiquant l'emplacement de drainages et de ruisseaux enterrés
- > Sites contaminés et exploitations
 - Cadastre des sites contaminés
 - Cadastre des exploitations
 - Cadastre des citernes
- > Voies de communication
 - Pour les routes: évacuation des eaux de chaussée (pour autant qu'elle ne figure pas sur le plan des canalisations), statistique des accidents à demander à la police cantonale
 - Pour les lignes de chemin de fer: informations (à demander) sur le nombre de transports de marchandises dangereuses, le système d'évacuation des eaux, l'utilisation de produits phytosanitaires, les plans d'aménagement et d'assainissement
- > Dangers naturels
 - Carte des dangers (inondations, chutes de pierres, glissements de terrain, etc.)

- > Exploitation des eaux souterraines
 - Extraits du registre foncier indiquant les droits de source et d'autres servitudes éventuelles
 - Cadastre des sources
 - Inventaire cantonal des prélèvements d'eaux souterraines, des sondes géothermiques et des pompes à chaleur
 - Carte de protection des eaux, carte des eaux souterraines, atlas de l'approvisionnement en eau

Si certains plans ou extraits de banques de données font défaut, chercher les informations requises auprès des services communaux ou cantonaux compétents.

Dans la mesure où les documents disponibles ne contiennent pas les indications voulues, des relevés et des collectes de données complémentaires devront être entrepris sur place. Ce travail comprendra en général les éléments suivants:

- > Inventaire des constructions rurales, comme les installations d'entreposage des eaux domestiques et des engrais de ferme (réservoirs à lisier, canaux d'évacuation des déjections et collecteurs, réservoirs à jus de silo, fumières), conduites à lisier et à jus de silo, conduites à lisier équipées de vannes, pompes à lisier et prises de lisier, silos à fourrages, places de compostage, locaux pour l'entreposage et la préparation de produits phytosanitaires, d'engrais minéraux et d'autres produits agrochimiques, places de remplissage de pulvérisateurs, remises et place servant à l'entretien, au nettoyage et au stationnement de véhicules et d'engins agricoles (pulvérisateurs de produits phytosanitaires, p. ex.), aires d'exercice sans revêtement, bains de désinfection contre la gale du mouton, places de transbordement des engrais de ferme, engrais de recyclage, substance de nature à polluer les eaux, etc.
- > Eaux superficielles
- > Etangs et biotopes
- > Examen visuel et évaluation d'installations d'infiltration, si nécessaire.
- > Exploitations agricoles particulières (stockage intermédiaire de fumier dans les champs, compostage en bord de champ, élevage de porcs, de volaille, de buffles d'eau ou de bovins rustiques en plein air, zones où la couverture végétale est détruite autour des abreuvoirs ou des mangeoires, cultures fruitières ou maraîchères intensives, vignobles)
- > Exploitations particulières telles que pépinières, jardins familiaux, parcours équestres, terrains de golf, places de pique-nique, etc.
- > Mesures de prévention telles que glissières de sécurité ou remblais de protection le long de routes très fréquentées ou exposées
- > Présence de chauffages et de réservoirs à mazout sur les biens-fonds
- > Relevé détaillé, auprès des entreprises industrielles et artisanales, concernant l'entreposage, l'utilisation et le transbordement de substances de nature à polluer les eaux.
- > Recensement des aires de stationnement et leur aménagement (revêtement, bordure, évacuation de l'eau, raccordement d'eau, etc.) et leur fréquentation
- > Etc.

Les informations ainsi recueillies servent de base à l'établissement du cadastre des dangers et du plan des conflits (cf. chap. 8.5).

8 > Rapport hydrogéologique

8.1 Exigences

Le rapport hydrogéologique contient les données de base indispensables au dimensionnement des zones de protection et à la détermination des conditions à respecter pour l'utilisation du sol. Le rapport contient les résultats des investigations et études hydrogéologiques.

En règle générale, il est possible de reprendre les constats du rapport sur le contrôle d'adéquation dans le rapport hydrogéologique (rapport sur les zones de protection) et de les compléter par les données recueillies au cours d'autres études et investigations. Les *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines* (OFEFP 2004) énumèrent les informations qui doivent figurer dans le rapport hydrogéologique sur les zones de protection.

8.2 Données de base

Par données de base, nous entendons ici les informations concernant l'emplacement du captage, son équipement technique, la concession et l'exploitation effective. Il est recommandé de présenter ces données sous forme de tableau. En voici un exemple pour un captage dans des roches meubles:

Tab. 3 > Captage A

Commune d'implantation	Bourg-le-Haut				
Coordonnées	600 000/200 000		Altitude de la surface du sol: 464,50 m		
Propriétaire du captage	Service des eaux du syndicat des communes du Val d'en Bas Rue de la Vallée 1 9999 Bourg-le-Haut				
Concession	Numéro d'ordre:	596			
	Débit de concession:	12 000 l/min			
	Date d'octroi:	20 avril 1977			
	Date d'expiration:	30 juin 2031			
Numéros des archives	Archives géologiques cantonales	600/200.001 13001			
	N° du chimiste cantonal:				
Spécifications techniques	Puits à drains horizontaux d'une profondeur totale de 20 m, 8 tubes crépinés posés à 18 m de profondeur et d'une longueur cumulée de 216,4 m. Année de construction: 1951.				
Niveaux piézométriques de la nappe souterraine 1984–2004		Cote à partir de la surface du sol (m)	Cote d'altitude (m)		
	Moyenne		14,65	449,85	
	Max. (27.3.1988)		10,46	454,04	
	Min. (8.1.2004)		16,48	448,02	
Puissance maximale des pompes	Deux pompes de forage (ne pouvant pas fonctionner en parallèle): 6000 l/min. chacune.				
Prélèvements 2002–2005 (en italiques: quantités calculées)		m ³ /an	m ³ /mois	m ³ /jour	l/min
	Moyenne:	442 450	36 871	1212	842
	Minimum:		17 170	613	426
	Maximum:		58 820	1897	1318
Traitement de l'eau	Aucun				

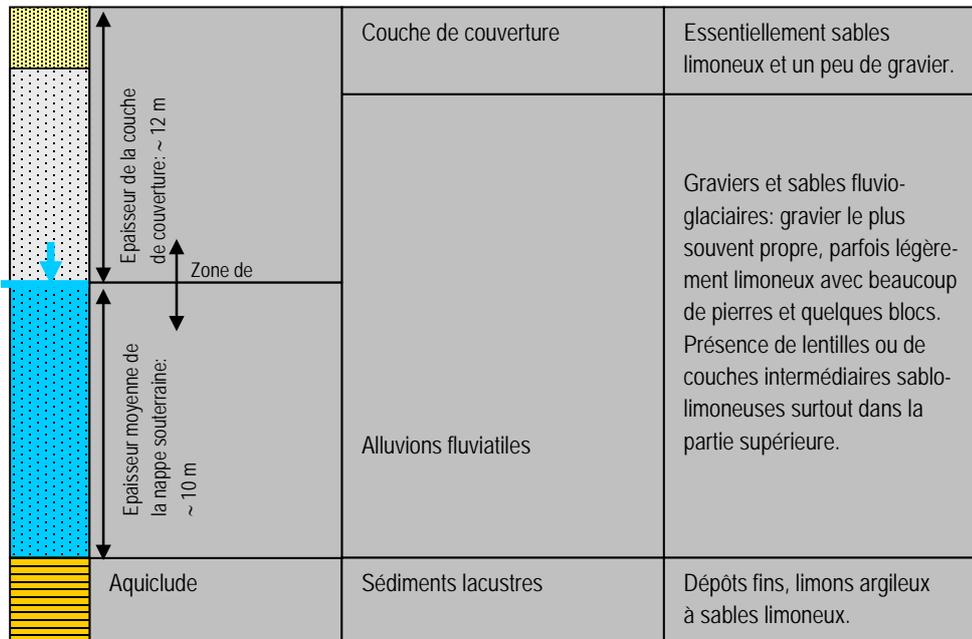
8.3 Conditions géologiques et hydrogéologiques

Le rapport sur les zones de protection doit contenir une description des conditions géologiques et hydrogéologiques. Le chapitre 6 présente les diverses méthodes pouvant être appliquées pour réaliser les études requises.

Outre la description générale de la nappe souterraine et des conditions d'écoulement, les points suivants revêtent une grande importance dans le cas des aquifères poreux:

- > Effet protecteur de la couche de couverture (profondeur de la nappe souterraine et capacité d'infiltration du sous-sol non saturé).
- > Direction d'écoulement, parabole du bassin d'alimentation, largeur de la zone d'appel et emplacement du point de stagnation aval (cf. chap. 6).
- > Données sur les vitesses effectives (qui servent à déterminer l'isochrone 10 jours).

Fig. 11 > Profil hydrogéologique



Couche de couverture, aquifère et aquiclude

Les conditions hydrogéologiques dans le bassin d'alimentation du captage sont les suivantes:

Les eaux souterraines s'écoulent dans les alluvions fluviatiles déposées là par la rivière après la dernière glaciation. La couche de couverture assure une bonne protection: d'une part, la nappe se situe à environ 12 m de profondeur; d'autre part, non seulement la couche de couverture (d'une épaisseur variant entre 0,5 et 3 m) est formée en bonne partie de matériel fin, mais les formations de gravier contiennent aussi des dépôts limoneux et sableux peu perméables, principalement dans la partie supérieure et non saturée du sous-sol.

L'épaisseur de la nappe souterraine avoisine 10 m. Le coefficient k variant entre $8 \cdot 10^{-3}$ m/s et $1,5 \cdot 10^{-2}$ m/s, la perméabilité des graviers fluviaux peut être qualifiée de très élevée.

Conditions d'écoulement et détermination de l'isochrone 10 jours

Les conditions générales d'écoulement ressortent de la représentation des isopièzes (renvoi à l'annexe au rapport). Les eaux souterraines suivent une direction parallèle à la vallée, du sud au nord. Dans la zone de captage, le gradient est de 0,2% lorsque la nappe est au repos.

Des mesures piézométriques réalisées lors d'un essai de pompage à grande échelle ont permis de situer avec précision le point de stagnation aval (qui détermine le débit de concession). Il se situe à 40 m au nord du captage.

Pour redéfinir les zones de protection, il importe de commencer par considérer la vitesse effective ou le tracé de l'isochrone 10 jours, celle-ci étant déterminée par le pic de restitution mesuré au cours des traçages. Plusieurs essais de ce type réalisés dans le bassin d'alimentation du captage ont débouché sur les résultats suivants: dans la direction d'écoulement, la vitesse maximale varie entre 11 et 15 m/jour. Sachant que le débit de concession n'a pas été pompé en tout temps pendant les traçages, il faut se fonder sur une vitesse de déplacement direct de 15 m/jour pour délimiter les zones de protection. En d'autres termes, l'isochrone 10 jours qui constitue, selon l'OEaux, la limite extérieure de la zone S2, doit se situer à environ 150 m en amont du captage. Lors d'un pompage à grande échelle, on a injecté un traceur dans la nappe à proximité de la zone industrielle, traceur qui n'a pas été décelé au captage. Ce résultat confirme l'interprétation de la carte des isopièzes de la nappe souterraine (situation pendant le pompage, renvoi à l'annexe au rapport): la zone industrielle située à l'est de la zone de captage se trouve à l'extérieur de la zone d'appel et donc à l'extérieur de la future zone de protection.

8.4 **Qualité des eaux souterraines**

Le rapport sur les zones de protection doit comporter une évaluation détaillée de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux souterraines. Cette évaluation doit porter en priorité sur l'eau au lieu de prélèvement (captage existant ou forage de reconnaissance). Selon les cas, on analysera également des échantillons prélevés à d'autres emplacements du bassin d'alimentation (en particulier en présence de sites contaminés).

Les paramètres mesurés seront comparés aux exigences qualitatives valables pour l'eau potable et les eaux souterraines exploitées comme eau potable, en vue de prouver que l'eau captée satisfait à ces exigences. Une liste complète des paramètres à vérifier figure dans l'annexe 1 des *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines*, de même que dans l'annexe 5 du guide pratique *Echantillonnage des eaux souterraines* (OFEFP 2003). Les tableaux présentés dans le chapitre 27A du *Manuel suisse des denrées alimentaires* (OFSP 2003) s'avèrent fort utiles pour interpréter les résultats des analyses.

8.5

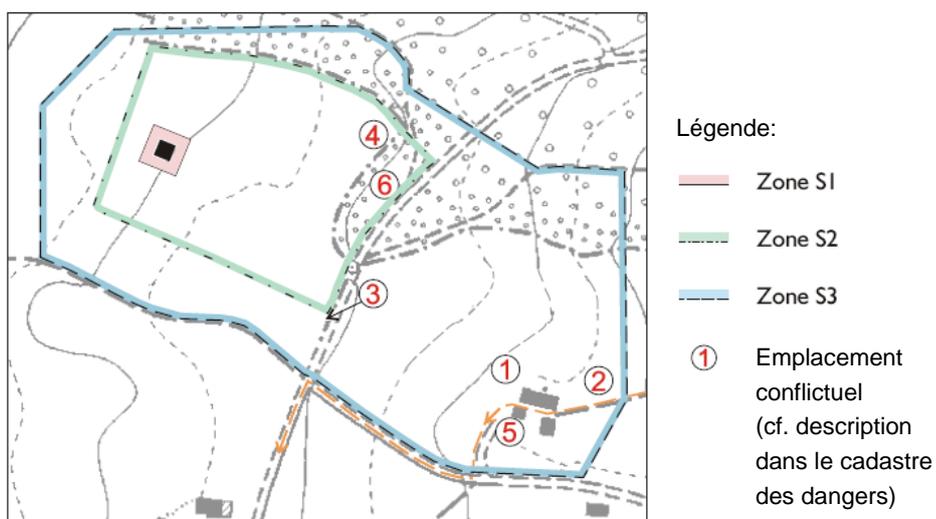
Cadastre des dangers et plan des conflits

Le cadastre des dangers est un tableau qui recense toutes les installations et activités situées dans les zones de protection et décrit en quelques mots le conflit existant ou potentiel entre chacun de ces éléments et les impératifs de protection. Si des mesures de protection font défaut, le cadastre en propose, évalue leurs coûts et fixe un délai pour leur application.

Le plan des conflits (cf. fig. 12) est une présentation graphique, sur un extrait de carte topographique, des conflits décrits dans le cadastre.

Cadastre des dangers et plans des conflits servent de base au catalogue (cf. chap. 9.2) des mesures et doivent être périodiquement mis à jour.

Fig. 12 > Carte présentant les zones de protection et les emplacements conflictuels



Tab. 4 > Cadastre des dangers (correspondant au plan des conflits de la fig. 12)

Zone	Parcelle	N° sur plan communal	Description des mesures recommandées
Constructions, exploitations et installations en surface			
S3	1000	1	Ferme équipée d'un chauffage à mazout (selon les indications du service cantonal, la citerne installée en 1999 satisfait aux prescriptions régissant les zones de protection). Contrôle initial, puis contrôles périodiques tous les dix ans pour la citerne et tous les deux ans pour le système de détection des fuites (selon Art. 32a OEaux).
Installation d'évacuation et d'épuration des eaux			
S3	1000	2	Conduite d'eaux usées (y compris raccordement du bien-fonds). Posée en 1975. Etat actuel inconnu. Contrôle initial, puis contrôles réguliers tous les cinq ans.
Routes			
S3	1000, 8203	3	Chemins non goudronnés. Selon le service des constructions, des travaux de revêtement sont prévus. Rester en contact et veiller à ce que l'évacuation des eaux soit prévue et réalisée conformément aux prescriptions.
S2, S3	1000, 8203		Divers chemins agricoles et forestiers. Aucune mesure ne s'impose.
Agriculture			
S1	7555		La parcelle est propriété du service des eaux. Elle est entourée d'une grille, qui comporte un portail équipé d'une serrure. Aucune mesure particulière ne s'impose.
S2, S3	1000		Pâturages et grandes cultures. Mesures: informer par écrit sur l'interdiction d'épandre du lisier dans la zone S2 ainsi que sur les produits phytosanitaires qui y sont défendus. Le service des eaux a déjà adressé un préavis à l'agriculteur concerné.
S2	1000	4	Balles d'ensilage: à déplacer dans la zone S3 (l'agriculteur a reçu un préavis).
S3	1000	5	Fosse à lisier, fumière et conduites de la ferme mentionnée ci-dessus. Mesure: faire inspecter la fosse à lisier, la fumière et les conduites par un spécialiste. Ensuite, contrôle tous les cinq ans.
Sylviculture			
S2, S3	8203		Forêt bourgeoisiale. La bourgeoise a déjà été informée sur les restrictions d'activités correspondantes (utilisation de produits pour la conservation du bois, entreposage de bois et arrosage du bois entreposé).
S2	8203	6	Dépôt de bois (selon la bourgeoisie, il sera déplacé en dehors de la zone de protection en automne). Vérifier le moment venu.

Le cadastre des dangers et le plan des conflits représentent l'inventaire des installations et activités non-conformes à la zone, au moment de la délimitation des zones de protection. La gestion des mesures à prendre et l'enregistrement des interventions nécessaires sont consignés dans le catalogue des mesures (cf. chap. 9.2).

9 > Mesures de protection

9.1 Instructions existantes

Le chapitre 4 des *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines (OFEFP 2004)* indique les mesures à appliquer après la délimitation des zones de protection. Il comprend notamment des recommandations sur les points suivants:

- > Procédure pour les zones de protection non conformes.
- > Marge de manœuvre légale pour accorder d'éventuelles dérogations.
- > Restrictions des droits de la propriété et indemnités.
- > Epandage de lisier et d'engrais liquides de recyclage dans la zone S2

9.2 Assainissement ou surveillance d'installations et activités existantes présentant un risque de conflit – catalogue de mesures

A l'aide d'un exemple, le présent document explique comment procéder pour recenser les exploitations et les installations non conformes et fixer les mesures correspondantes.

Mis au point par la Société suisse de l'industrie, du gaz et des eaux (SSIGE, 2005b), le catalogue de mesures est un instrument qui se fonde sur le cadastre des dangers issu du rapport hydrogéologique. Contrairement au cadastre, le catalogue est toutefois un instrument *dynamique* à l'usage des services des eaux et des autorités d'exécution. Il leur permet de piloter et de consigner les mesures requises conformément au règlement des zones de protection.

L'utilisation du catalogue est illustrée dans l'exemple ci-dessous. L'ordre dans lequel y figurent les différents objets et activités reprend celui des tableaux de référence des *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines (OFEFP, 2004)*. Le catalogue devrait être mis à jour au moins une fois par an.

Tab. 5 > Application des dispositions régissant les zones de protection – catalogue de mesures

Exemple

Zone	Parcelle(s)	Mesure
Catalogue de mesures établi lors de l'entrée en vigueur de la zone de protection		
Conduite d'eaux usées (raccordement de biens-fonds)		
S3	1000, 1001, 1002	A discuter avec le membre de l'exécutif communal chargé des canalisations. Mandater une entreprise spécialisée pour procéder à une télé-inspection de la conduite (cf. norme SIA 190).
Route cantonale		
S3	1003	Organiser une séance avec des représentants du service cantonal des ponts et chaussées et du service de la protection des eaux. Expliquer les exigences du règlement des zones de protection et requérir l'installation d'un système étanche d'évacuation des eaux, glissières de sécurité comprises, sur le tronçon de route concerné.
Voie d'accès au captage		
S1, S2	1004	La commune a déjà installé le panneau d'interdiction générale de circuler à la lisière de la forêt. Vérifier (contrôles aléatoires) le respect de l'interdiction. Au besoin, installer une barrière.
Agriculture: interdiction d'épandre du lisier et restriction de l'utilisation de produits phytosanitaires dans la zone S2		
S2	1000 (portion nord), 1005	L'interdiction d'épandre du lisier et les produits phytosanitaires interdits dans la zone S2 ont été communiqués aux deux agriculteurs concernés. Une convention sur une indemnité, offerte de plein gré, a déjà été rédigée et pourrait être signée dans les semaines qui viennent.
Fosse à lisier à proximité de la ferme		
S3	1000	D'entente avec l'agriculteur concerné, mandater un spécialiste pour inspecter la fosse.
Catalogue de mesures mis à jour une année après l'entrée en vigueur de la zone de protection		
Conduite d'eaux usées (raccordement de biens-fonds)		
S3	1000, 1001, 1002	Une télé-inspection a été effectuée. Un endroit endommagé par des racines a été aussitôt réparé. La conduite est par ailleurs en bon état. Les coûts d'assainissement ont été pris en charge par le propriétaire du bien-fonds. Prochain contrôle dans quatre ans.
Route cantonale		
S3	1003	Selon les informations de l'office des ponts et chaussées, le projet d'un système étanche d'évacuation des eaux et de glissières de sécurité est à l'étude. Les travaux ont été inscrits au budget de l'année prochaine.
Agriculture: interdiction d'épandre du lisier et restriction de l'utilisation de produits phytosanitaires dans la zone S2		
S2	1000 (portion nord), 1005	La convention d'indemnisation conclue avec les deux agriculteurs concernés est entrée en vigueur.
Fosse à lisier à proximité de la ferme		
S3	1000	L'état de la fosse a été contrôlé. Une petite fissure a été réparée. Prochain contrôle dans quatre ans.

Zone	Parcelle(s)	Mesure
Catalogue de mesures mis à jour deux années après l'entrée en vigueur de la zone de protection		
Conduite d'eaux usées (raccordement de biens-fonds)		
S3	1000, 1001, 1002	Prochain contrôle dans trois ans.
Route cantonale		
S3	1003	Le système d'évacuation des eaux et les glissières sont en place. Le service des ponts et chaussée contrôle régulièrement les conduites d'évacuation des eaux.
Voie d'accès au captage		
S1, S2	1004	Malgré l'interdiction de circuler, des promeneurs garent toujours leurs véhicules devant la barrière (limite de la zone S1). Il faut y remédier en installant une barrière à la limite extérieure de la zone S2. A coordonner avec la bourgeoisie.
Fosse à lisier à proximité de la ferme		
S3	1000	Prochain contrôle dans trois ans.
Catalogue de mesures mis à jour trois années après l'entrée en vigueur de la zone de protection		
Conduite d'eaux usées (raccordement de biens-fonds)		
S3	1000, 1001, 1002	Prochain contrôle dans deux ans.
Voie d'accès au captage		
S1, S2	1004	L'installation d'une barrière a mis fin aux infractions (stationnement non conforme). Aucune autre mesure ne s'impose.
Fosse à lisier à proximité de la ferme		
S3	1000	Prochain contrôle dans deux ans.
Utilisation de produits phytosanitaires		
?	?	Les dernières analyses de l'eau de boisson ont révélé la présence de produits phytosanitaires en concentrations à peine inférieures au seuil de tolérance. Le service cantonal de protection de l'environnement a été informé. Il va charger un spécialiste d'entreprendre les investigations requises pour identifier la provenance de ces produits. Les coûts des investigations seront pris en charge par le service des eaux. Jusqu'à nouvel avis, analyse des produits phytosanitaires trois fois par an.

> Figures et tables

Figures

Fig. 1 Les zones de protection des eaux souterraines assurent le traitement naturel de l'eau potable	16
Fig. 2 Délimitation de zones de protection des eaux souterraines en roches meubles – procédure applicable	18
Fig. 3 Plans des conflits d'une zone comprenant beaucoup de dangers	29
Fig. 4 Plan des conflits d'une zone comprenant peu de dangers	30
Fig. 5 Vue d'ensemble de la procédure de dimensionnement des zones de protection	33
Fig. 6 Zone d'appel	34
Fig. 7 Interprétation des courbes de restitutions de traceurs	37
Fig. 8 Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode de Wyssling	40
Fig. 9 Dimensionnement de la zone S1	42
Fig. 10 Dimensionnement des zones S2 et S3	43
Fig. 11 Profil hydrogéologique	50
Fig. 12 Carte présentant les zones de protection et les emplacements conflictuels	52

Tables

Tab. 1 Evaluation de l'emplacement de futurs captages – aide-mémoire	21
Tab. 2 Evaluation de l'emplacement de captages existants – aide-mémoire	24
Tab. 3 Captage A	49
Tab. 4 Cadastre des dangers (correspondant au plan des conflits de la figure 12)	53
Tab. 5 Application des dispositions régissant les zones de protection – catalogue de mesures	55

> Bibliographie

- Blau R.V. et al. 1984: Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental – Handbuch. Sonderdruck Nr. 1056 aus Gas-Wasser-Abwasser 1984/5.
- Canton de Saint-Gall 2005: Empfehlung für die gütliche Regelung der Entschädigung landwirtschaftlicher Nutzungsbeschränkungen in Grundwasserschutz-zonen.
- Dervey T. 2006: Communication personnelle. Toni Dervey, Office de l'économie hydraulique du canton de Berne.
- Hoehn E. 2004: Die abiotischen Prozesse in der Uferzone – Grundlagen und Forschungsergebnisse. ETH-NDK Kurs Nr. 23 «Revitalisierung von Fließgewässern», Kursunterlagen. www.ndk.ethz.ch
- Hoehn E., Zobrist J., Schwarzenbach R.P. 1983: Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser – hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Glattal. In: Gas-Wasser-Abwasser, Sonderdruck Nr. 1039, 1983/8.
- Huggenberger P., Hoehn E., Beschta R., Woessner W. 1998: Abiotic aspects of channels and floodplains in riparian ecology. *Freshwater Biol.* 40(3), 407–426.
- Jäckli H. 1970: Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. In: *Eclogae geol. Helv.* vol. 63, n° 2, p. 3894–34.
- Office fédéral de la santé publique (OFSP) 2003: Manuel suisse des denrées alimentaires (MSDA). Disponible sur CD-Rom, le manuel est régulièrement mis à jour.
- Office fédéral de la santé publique (OFSP) 2010: Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable. Office fédéral de l'environnement (OFEV) 2007: Annuaire hydrologique de la Suisse 2005. Connaissance de l'environnement n° 0713.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) 1998: Cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK). Guide pratique, L'environnement pratique.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) 2003: Echantillonnage des eaux souterraines, Guide pratique, L'environnement pratique.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) 2004: Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines. L'environnement pratique.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) 2005: Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u. L'environnement pratique.
- Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) et Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) 2004: Délimitation des zones de protection des eaux souterraines en milieu fissuré. Guide pratique, L'environnement pratique.
- Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) 2002: Utilisation des traceurs artificiels en hydrogéologie. Guide pratique, Rapports de l'OFEG, série Géologie n° 3.
- Putschert R. 2006: communication personnelle. Roland Putschert, physique du climat et de l'environnement, Institut de physique, Université de Berne.
- Société suisse de l'industrie, du gaz et des eaux (SSIGE) 2005: Directives pour la surveillance qualité de la distribution d'eau. Règles techniques, W1f.
- Société suisse de l'industrie, du gaz et des eaux (SSIGE) 2005: Directive pour l'assurance-qualité dans les zones de protection des eaux souterraines. Règles techniques, W2f.
- Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) 2000: Norme 190. Canalisations.
- Taschenbuch der Wasserversorgung 2007: 14. Auflage, Hrsg. Mutschmann J. und Stimmelmayr F. Vieweg Verlag, Wiesbaden.
- Wyssling L. 1979: Eine neue Formel zur Berechnung der Zuströmungsdauer (Laufzeit) des Grundwassers zu einem Grundwasser Pumpwerk. *Eclogae geol. Helv.* 72.2, 401–406.
- Zobrist J. et al. 2005: Wissen woher das flussnahe Grundwasser kommt. EAWAG aquatic research. Jahresbericht 2004.