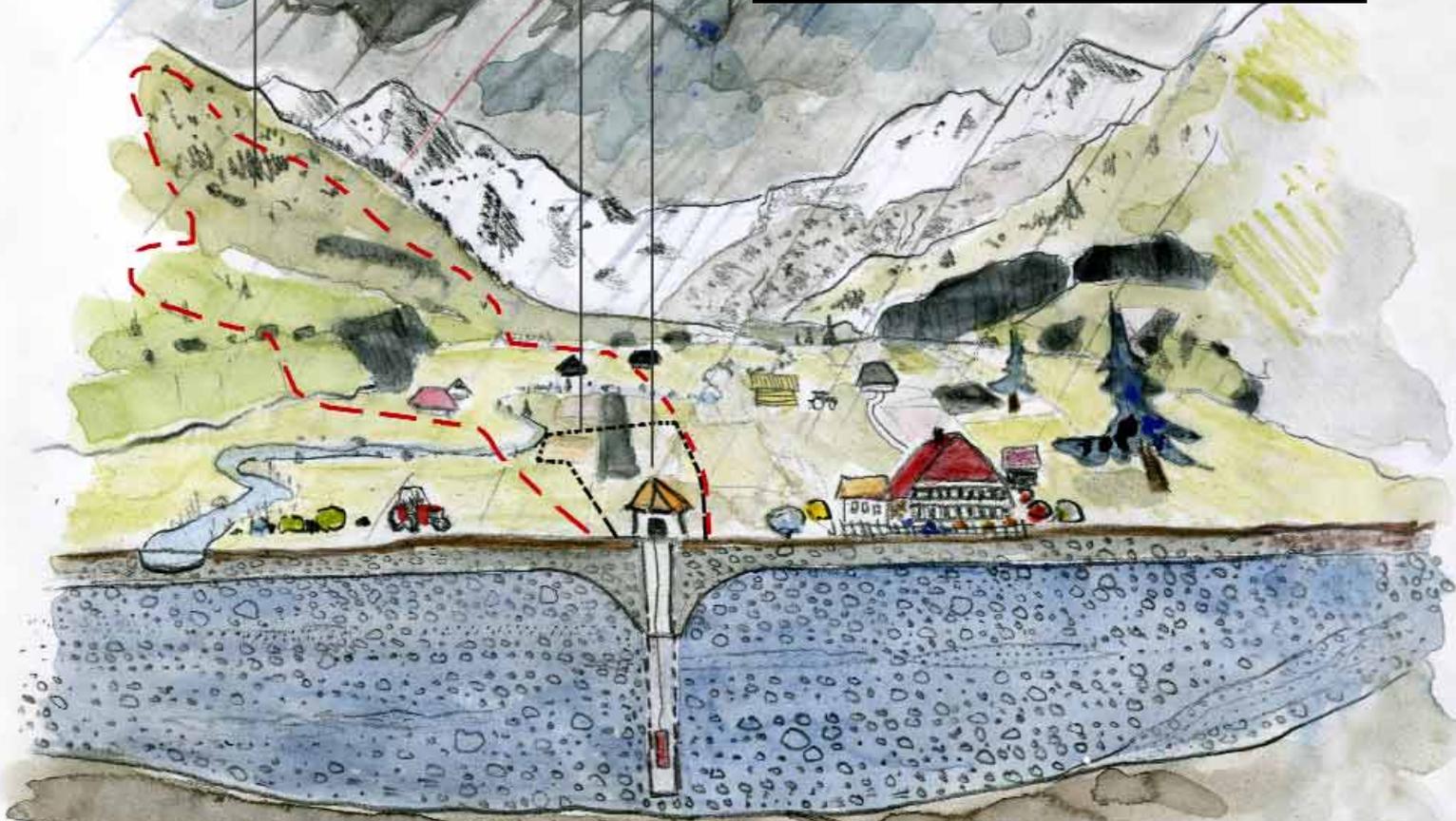


Aire d'alimentation

Zones de protection

Captage

Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u



Office fédéral de
l'environnement,
des forêts et
du paysage
OFEFP

S. W/05

**Dimensionnement
des aires
d'alimentation Z_u**

**Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts
et du paysage OFEFP
Berne, 2005**

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEFP 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'OFEFP (appelées aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection « L'environnement pratique ».

Document de base

T. BUSSARD, L. TACHER, A. PARRIAUX, D. BAYARD et V. MAITRE 2004 : *Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u*. Document de base. Paru dans : Documents Environnement N° 183, OFEFP/BUWAL, 143 p. Disponible sur CD en format pdf.

Editeur

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

Auteur

Daniele Biaggi, Institut Géotechnique SA, Berne

Accompagnement OFEFP

Benjamin Meylan,
section de la protection des eaux souterraines

Traduction

Peter Polack et J. Mayoraz, Institut Géotechnique SA

Graphisme, mise en page

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

Illustration

Hans-Peter Hauser, AVD, Berne

Illustration couverture

Stefan Werthmüller, Thun

Commande

OFEFP
Documentation
CH-3003 Berne
Fax +41 (0) 31 324 02 16
E-Mail : docu@buwal.admin.ch
Internet : www.buwalshop.ch

Numéro de commande: VU-2509-F

© OFEFP 2005

Table des matières

Abstracts	5
Avant-propos	7
Résumé	9
1 Introduction	11
1.1 Situation	11
1.2 Objectif du guide pratique	11
1.3 Cadre	11
1.4 Bases légales	12
1.5 Structure du guide pratique	13
2 Définitions et principes de dimensionnement	15
2.1 Aire d'alimentation Z_u	15
2.2 Autres définitions	16
3 Méthodologie	17
3.1 Aperçu de la procédure	17
3.2 Proportionnalité des coûts grâce à une démarche par étapes	17
3.3 Données de base nécessaires	19
3.4 Indications sur la procédure	19
4 Détermination du bassin d'alimentation d'un captage	21
4.1 Démarche générale	21
4.2 Identification des systèmes d'écoulement	22
4.3 Portion de l'aquifère qui alimente le captage	23
4.4 Portion de la zone de bordure du bassin d'alimentation du captage	25
4.5 Contrôle de la surface du bassin d'alimentation du captage à l'aide du bilan hydrogéologique	26
5 Détermination de l'aire Z_u selon la règle des 90-pourcent	29
5.1 Objectif et conditions cadres nécessaires	29
5.2 Division de la surface du bassin d'alimentation en cellules de bilan	30
5.3 Calcul des contributions à l'alimentation de chaque cellule de bilan	31
5.4 Etablissement de l'aire Z_u au moyen des cellules de bilan	32
6 Bibliographie	33

Abstracts

- E**
- Most of Switzerland's drinking water is obtained from groundwater. If groundwater fails to meet the water quality requirements specified in the Water Protection Ordinance of 28 October 1998, the authorities have to ensure that appropriate measures are taken to remove the causes of contamination. The area of contribution Z_u serves to delimit the area that requires remediation following contamination of a water resource with mobile or persistent pollutants. The present practical guide describes the general procedure used to calculate the area of contribution Z_u and explains the necessary foundations and methods of investigation.
- Keywords:
area of contribution
groundwater catchment
area
groundwater protection
- D**
- Der Hauptanteil des Trinkwassers in der Schweiz wird aus Grundwasser gewonnen. Erfüllt ein Grundwasser die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 an die Wasserqualität nicht, muss die Behörde die geeigneten Massnahmen zur Behebung der Ursachen der Verunreinigung anordnen. Der Zuströmbereich Z_u dient der Eingrenzung des Gebietes, das wegen einer Verschmutzung des gefassten Wassers mit mobilen und persistenten Stoffen saniert werden muss. Die vorliegende Praxishilfe zeigt die generelle Vorgehensweise zur Bemessung des Zuströmbereichs Z_u auf und legt die dafür notwendigen Bemessungsgrundlagen und Untersuchungsmethoden dar.
- Stichwörter:
Zuströmbereich
Fassungseinzugsgebiet
Grundwasserschutz
- F**
- En Suisse, la majeure partie de l'eau potable est fournie par l'eau souterraine. Lorsque la qualité de cette eau ne satisfait pas les exigences définies par l'ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998, l'autorité doit imposer des mesures appropriées afin de supprimer la cause de la pollution. L'aire d'alimentation Z_u sert à définir la zone devant être assainie lors d'une pollution des eaux captées par des substances chimiques mobiles et persistantes. Ce guide pratique présente la méthodologie générale appliquée pour le dimensionnement de l'aire Z_u et en explique les fondements et les méthodes d'investigation.
- Mots-clés:
Aire d'alimentation
Bassin d'alimentation
d'un captage
Protection des eaux
souterraines
- I**
- In Svizzera, gran parte dell'acqua potabile è prelevata da acque sotterranee. Quando la loro qualità non soddisfa più i requisiti stabiliti dall'ordinanza del 28 ottobre 1998 sulla protezione delle acque, l'autorità deve imporre misure adeguate al fine di rimuovere le cause dell'inquinamento. Il settore d'alimentazione Z_u serve a delimitare un territorio che deve essere risanato in seguito all'inquinamento della captazione delle acque con sostanze chimiche mobili e persistenti. Il presente testo mostra la procedura generale da seguire per il dimensionamento del settore d'alimentazione Z_u e ne spiega i fondamenti e i metodi d'analisi.
- Parole chiave:
settore d'alimentazione
bacino imbrifero di una
captazione
protezione delle acque
sotterranee

Avant-propos

Depuis plus de 40 ans, la *protection qualitative des eaux souterraines* est ancrée dans la législation suisse sur la protection des eaux. Le concept de zones de protection des eaux, entre autres, a montré son utilité dans le domaine de la protection qualitative des eaux à des fins d'approvisionnement. Les zones de protection servent en premier lieu à empêcher la pollution de l'eau potable par des microorganismes et des substances mobiles et dégradables qui sont surtout problématiques lorsqu'elles parviennent dans le sous-sol à proximité du captage (par exemple des microorganismes pathogènes ou des produits à base d'huiles minérales). Dans les années 90, la nécessité de créer un *instrument de planification* supplémentaire est apparue de plus en plus clairement : les captages d'eau potable d'intérêt public doivent aussi pouvoir être protégés contre les pollutions par des substances difficilement dégradables et mobiles, comme les nitrates et les produits phytosanitaires. C'est dans ce but que l'*aire d'alimentation* Z_u a été introduite lors de l'entrée en vigueur de l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux). Elle est établie lorsqu'une substance, dont la dégradation ou la rétention est insuffisante, porte atteinte ou menace un captage. L'aire Z_u comprend pour l'essentiel le bassin d'alimentation du captage concerné respectivement la région à assainir. L'établissement des aires d'alimentation incombe aux cantons.

La Confédération soutient les projets d'assainissement de l'eau souterraine dans les aires d'alimentation de captages lorsque l'utilisation du sol par l'agriculture porte atteinte à ces derniers (art. 62a LEaux). À long terme, la qualité des eaux souterraines captées devrait être améliorée grâce à des mesures comme des restrictions sur l'utilisation des engrais, un choix de cultures appropriées ou le renoncement à l'utilisation de produits phytosanitaires.

Ce guide pratique montre la méthodologie à adopter lors de l'établissement des aires d'alimentation Z_u . Il s'adresse en particulier aux services spécialisés et aux experts.

Office fédéral de l'environnement,
des forêts et du paysage

Stephan Müller
Division Protection des eaux

Résumé

Ce guide pratique présente la marche à suivre générale lors de la définition des aires d'alimentation Z_u . Il règle les principes de dimensionnement et explique les différentes étapes de la méthodologie à utiliser.

L'aire Z_u représente un élément des mesures d'organisation du territoire relatives à la protection des eaux souterraines. Les bases légales sont la loi sur la protection des eaux (art. 19 LEaux) et l'ordonnance sur la protection des eaux (art. 29, al. 1 et annexe 4, ch. 113 et 212 OEaux). Exprimée de manière simplifiée, l'aire d'alimentation Z_u correspond à la région d'où provient la majeure partie de l'eau qui s'écoule vers un captage d'eau souterraine.

Le guide pratique s'adresse aux services cantonaux spécialisés qui mandatent et accompagnent l'établissement des aires Z_u . Il s'adresse aussi aux bureaux appelés à mener les études correspondantes.

Le dimensionnement de l'aire d'alimentation Z_u est réalisé en plusieurs étapes. Les investigations se concentrent tout d'abord sur l'identification du bassin d'alimentation du captage. Au moyen de la caractérisation de la nappe, les différents systèmes d'écoulement sont définis. La combinaison de plusieurs méthodes permet d'établir la portion de l'aquifère qui alimente le captage. Par la suite, les investigations s'étendent à la zone de bordure du bassin d'alimentation. La portion de l'aquifère et la portion de la zone de bordure du bassin d'alimentation forment la totalité du bassin d'alimentation du captage. Le calcul du bilan hydrogéologique permet de contrôler la plausibilité de la surface trouvée. Dans certains cas, le bassin d'alimentation du captage ainsi établi correspond à l'aire d'alimentation Z_u .

Lorsque cela est possible et approprié, l'aire Z_u est calculée lors d'une deuxième étape, au moyen de la règle des 90-pourcent. Avec cette méthode, le bassin d'alimentation du captage est divisé en plusieurs cellules de bilan et la contribution de chacune de ces cellules est calculée. L'aire Z_u regroupe les cellules dont la somme des contributions représente environ 90 pourcent du débit d'alimentation.

Lors de la mise en œuvre de mesures de protection ou d'assainissement du bassin d'alimentation d'un captage, un dimensionnement correct de l'aire d'alimentation représente la condition préalable au succès.

1 Introduction

1.1 Situation

Le concept d'aire d'alimentation Z_u a été introduit dans la législation suisse lors de l'entrée en vigueur de l'ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998. L'aire d'alimentation, qui est l'une des mesures d'organisation du territoire relative à la protection des eaux souterraines, a été instaurée dans le but d'agir contre la pollution ou la mise en danger des eaux souterraines par des substances mobiles, faiblement ou non dégradables. Des teneurs excessives en nitrates ou en produits phytosanitaires en sont quelques exemples.

Les mesures à prendre dans l'aire Z_u doivent garantir la protection de la qualité des eaux des captages d'intérêt public, existants et projetés. L'aire d'alimentation sert en premier lieu à la délimitation de la surface qui doit être assainie.

Le guide pratique s'appuie essentiellement sur la méthodologie et les concepts présentés dans le rapport « Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u - Document de base » (BUSSARD et al. 2004).

1.2 Objectif du guide pratique

Objectif	Le guide pratique montre avec quelles approches et selon quelles méthodes hydrogéologiques l'aire d'alimentation Z_u peut être déterminée d'une manière suffisamment fiable, selon l'état actuel de la technique et avec des coûts acceptables.
Destinataires	La présente publication s'adresse aux autorités cantonales. Elle sert de document de base pour la préparation et l'accompagnement des investigations envisagées lors de l'établissement d'une aire d'alimentation. Elle vise ensuite les experts des domaines de l'hydrogéologie et de la géologie qui mènent ces études.

1.3 Cadre

Ce guide pratique traite exclusivement des bases et de la méthodologie utilisées pour le dimensionnement des aires d'alimentation Z_u . Les différents aspects énumérés dans le tableau 1 ne font pas l'objet de cette publication :

Tableau 1 : Liste des thèmes qui ne sont pas traités dans le guide pratique.

Thèmes non traités	Renvoi aux publications appropriées
Identification des zones à problème avec priorités : évolutions de concentration de substances qui entraînent la mise en place de mesures d'assainissement.	<ul style="list-style-type: none"> • Recueil des bases de la « stratégie nitrates » (OFEFP / OFAG 1999, actualisation en cours) • Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines (OFEFP 2004)
Délimitation de secteurs de projet selon l'article 62a LEaux ainsi que des zones sensibles à l'intérieur de ces secteurs.	<ul style="list-style-type: none"> • Recueil des bases de la « stratégie nitrates » (OFEFP / OFAG 1999, actualisation en cours) • BUSSARD et al. 2004
Exigences en matière de demandes de contributions et de procédure pour les projets d'assainissement conformément à l'article 62a LEaux. Exigences au sujet des indemnités versées par la Confédération pour les mesures prises par l'agriculture et de leur mise en œuvre.	<ul style="list-style-type: none"> • Recueil des bases de la « stratégie nitrates » (OFEFP / OFAG 1999, actualisation en cours)

1.4 Bases légales

La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) stipule dans l'article 19 que les cantons subdivisent les secteurs de protection des eaux souterraines en fonction des risques auxquels elles sont exposées. L'aire d'alimentation Z_u et le secteur A_u de protection des eaux sont décrits dans l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201) comme des secteurs particulièrement menacés¹. Les bases légales de ce guide pratique figurent dans l'article 29, alinéa 1 ainsi que dans l'annexe 4, chiffres 113 et 212 de l'OEaux.

¹ Pour les eaux de surfaces, l'aire d'alimentation Z_o et le secteur A_o de protection des eaux sont les secteurs de protection des eaux particulièrement menacés.

1.5 Structure du guide pratique

Ce guide pratique est constitué de cinq chapitres :

- Chapitre 1 : *Introduction*
- Chapitre 2 : *Définitions et principes de dimensionnement*
La définition de l'aire Z_u se trouve au premier plan. Les notions hydrogéologiques importantes utilisées dans le guide pratique sont également présentées.
- Chapitre 3 : *Méthodologie*
Aperçu de la marche à suivre appliquée lors de l'établissement des aires d'alimentation Z_u . Des aspects comme la proportionnalité du travail à effectuer et les documents de base nécessaires sont également traités.
- Chapitre 4 : *Détermination du bassin d'alimentation d'un captage*
Présentation du procédé appliqué pour le dimensionnement du bassin d'alimentation. Démonstration du contrôle de plausibilité au moyen de la méthode du bilan hydrogéologique.
- Chapitre 5 : *Détermination de l'aire Z_u selon la règle des 90-pourcent*
Division du bassin d'alimentation d'un captage en plusieurs cellules de bilan. La région d'où proviennent les 90 pourcent des eaux souterraines prélevées dans le captage peut ainsi être déterminé.

Les références bibliographiques se trouvent à la fin du guide pratique.

2 Définitions et principes de dimensionnement

2.1 Aire d'alimentation Z_u

Définition

L'aire d'alimentation Z_u couvre la zone où se reforment environ 90 pourcent des eaux souterraines prélevées par un captage. Lorsque la détermination de la zone exige un travail disproportionné, l'aire d'alimentation Z_u couvre tout le bassin d'alimentation du captage.

Contrairement à ce qui est fait lors de la mise en place de mesures d'assainissement, l'établissement des aires Z_u se base sur l'étude des flux d'eau et non sur la connaissance des flux de polluant.

Utilisation du terme d'aire d'alimentation

Le terme d'aire d'alimentation devrait uniquement être utilisé dans le sens défini par l'ordonnance sur la protection des eaux. Lorsque l'on décrit la direction d'écoulement des eaux souterraines vers un captage – sans référence aux mesures d'organisation du territoire relatives à la protection des eaux souterraines – il est alors conseillé d'utiliser le terme de bassin d'alimentation.

Motif de délimitation de l'aire Z_u

Les cantons délimitent les aires d'alimentation des captages d'eau potable d'intérêt public, pour lesquels

- l'eau utilisée présente une pollution par des substances mobiles et persistantes (approche curative)
- le danger d'une telle pollution existe (approche préventive).

Les cantons fixent les mesures d'assainissement ou de protection de la qualité des eaux souterraines qui sont à prendre à l'intérieur de l'aire Z_u .

Principes de dimensionnement de l'aire Z_u

Les bases de dimensionnement de l'aire d'alimentation Z_u sont données dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Bases de dimensionnement de l'aire Z_u .

Bases de dimensionnement	
Conditions hydrogéologiques	Conditions d'écoulement moyennes Niveau moyen de la nappe
Prélèvement, débit	Débit de prélèvement moyen au puits respectivement débit de dimensionnement Débits moyens pour les sources
Infiltration des eaux de surface	Le bassin versant des eaux de surface infiltrantes est exclu de l'aire d'alimentation Z_u . Une partie du cours d'eau est toutefois prise en compte lorsqu'il existe un lien hydraulique direct avec le captage.

Le débit fixé pour l'établissement de l'aire Z_u peut être différent du débit moyen actuel. Ceci par exemple si dans l'avenir une quantité d'eau souterraine supérieure au débit actuel doit être prélevée. Lors de la détermination du débit de dimensionnement des puits, il faut tenir compte de l'exigence que les prélèvements opérés dans une nappe d'eau souterraine ne doivent pas être supérieurs, à long terme, à la quantité d'eau qui l'alimente (art. 43 LEaux).

Le **débit de dimensionnement** doit être fixé par l'autorité avant la réalisation des investigations.

2.2 Autres définitions

Est considéré comme *nappe d'eau souterraine* une masse d'eau contenue et s'écoulant dans un aquifère.

L'*aquifère* constitue un volume de roche saturé en eau, poreux et perméable, dont l'étendue et l'épaisseur permettent une exploitation de cette eau.

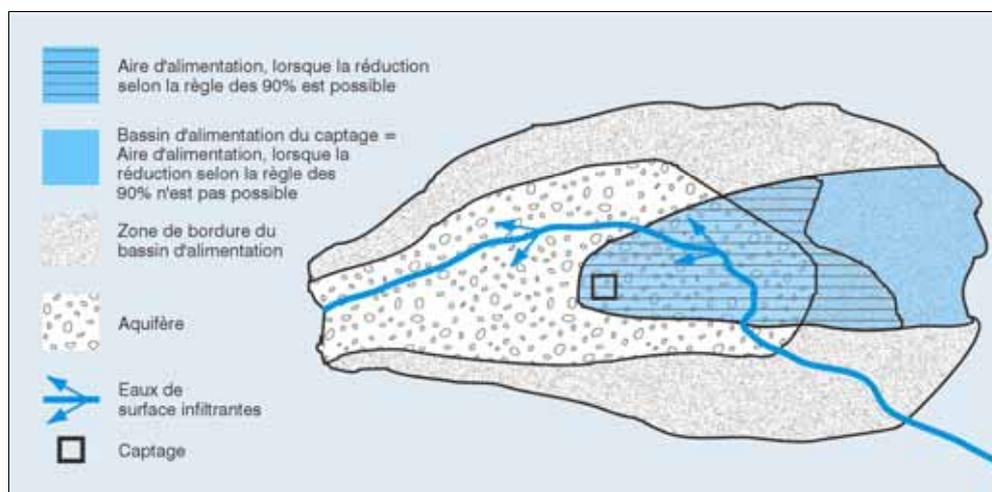
Le *bassin d'alimentation hydrogéologique d'un aquifère* comprend le périmètre total d'où provient l'eau qui y circule. Le bassin d'alimentation des eaux de surface infiltrantes n'en fait pas partie.

La portion du bassin d'alimentation hydrogéologique située en dehors du périmètre de l'aquifère respectivement qui lui est attenante est désignée comme *zone de bordure du bassin d'alimentation*.

On comprend par *captage d'eaux souterraines*² aussi bien les puits de prélèvement que les sources captées.

La *zone de capture* d'un puits représente la partie de la zone de rabattement d'où provient l'eau qui l'alimente directement.

Le *bassin d'alimentation d'un captage* représente la région d'où provient l'eau qui est prélevée au puits ou qui sort à la source. Le bassin d'alimentation des eaux de surface infiltrantes en est exclu de manière analogue à la définition ci-dessus. Une partie du cours d'eau lui-même fait toutefois partie du bassin d'alimentation du captage, respectivement de l'aire d'alimentation Z_u lorsqu'il existe un lien hydraulique direct avec le captage.



² Cf. OEaux, annexe 4, chiffre 113.

3 Méthodologie

3.1 Aperçu de la procédure

Lors de la délimitation de l'aire Z_u , l'étude des conditions hydrogéologiques vise principalement à répondre aux questions suivantes :

- De quelles surfaces proviennent les eaux souterraines qui s'écoulent vers le captage ?
- Quelle est l'importance de la contribution de chacune de ces surfaces par rapport à la quantité totale de l'eau utilisée ? ³

Une première étape d'investigation permet de déterminer le bassin d'alimentation du captage. Lors d'une deuxième étape, et si la situation s'y prête, l'aire Z_u peut être dimensionnée selon la règle des 90-pourcent. La marche à suivre est présentée à la page suivante (figure 2).

3.2 Proportionnalité des coûts grâce à une démarche par étapes

Le dimensionnement de l'aire Z_u respectivement de la région à assainir selon l'article 62a LEaux doit être réalisé de la manière la plus efficace possible. En conséquence, les méthodes utilisées sont choisies en fonction du but recherché. Dans un souci de rentabilité il faut éviter de délimiter les aires Z_u avec une précision exagérée. C'est pourquoi il vaut la peine d'effectuer les investigations selon les étapes décrites dans le chapitre 3.1. Si des investigations supplémentaires devaient entraîner des coûts disproportionnés, c'est alors le bassin d'alimentation du captage délimité lors de la première étape qui sera retenu comme aire d'alimentation Z_u . Si les mesures d'assainissement peuvent être optimisées grâce à un approfondissement raisonnable des investigations, alors, dans une deuxième étape, la région est déterminée comme étant la surface d'où provient environ 90 pourcent de l'eau souterraine prélevée. Cette région correspond alors à l'aire d'alimentation Z_u déterminée selon la règle des 90-pourcent.

³ Les connaissances concernant la répartition spatiale des cellules de bilan et leurs contributions respectives peuvent également servir de base lors d'une phase ultérieure consistant à délimiter des zones de sensibilité différentes à l'intérieur de la zone Z_u (BUSSARD et al. 2004 ; OFEFP 1999).

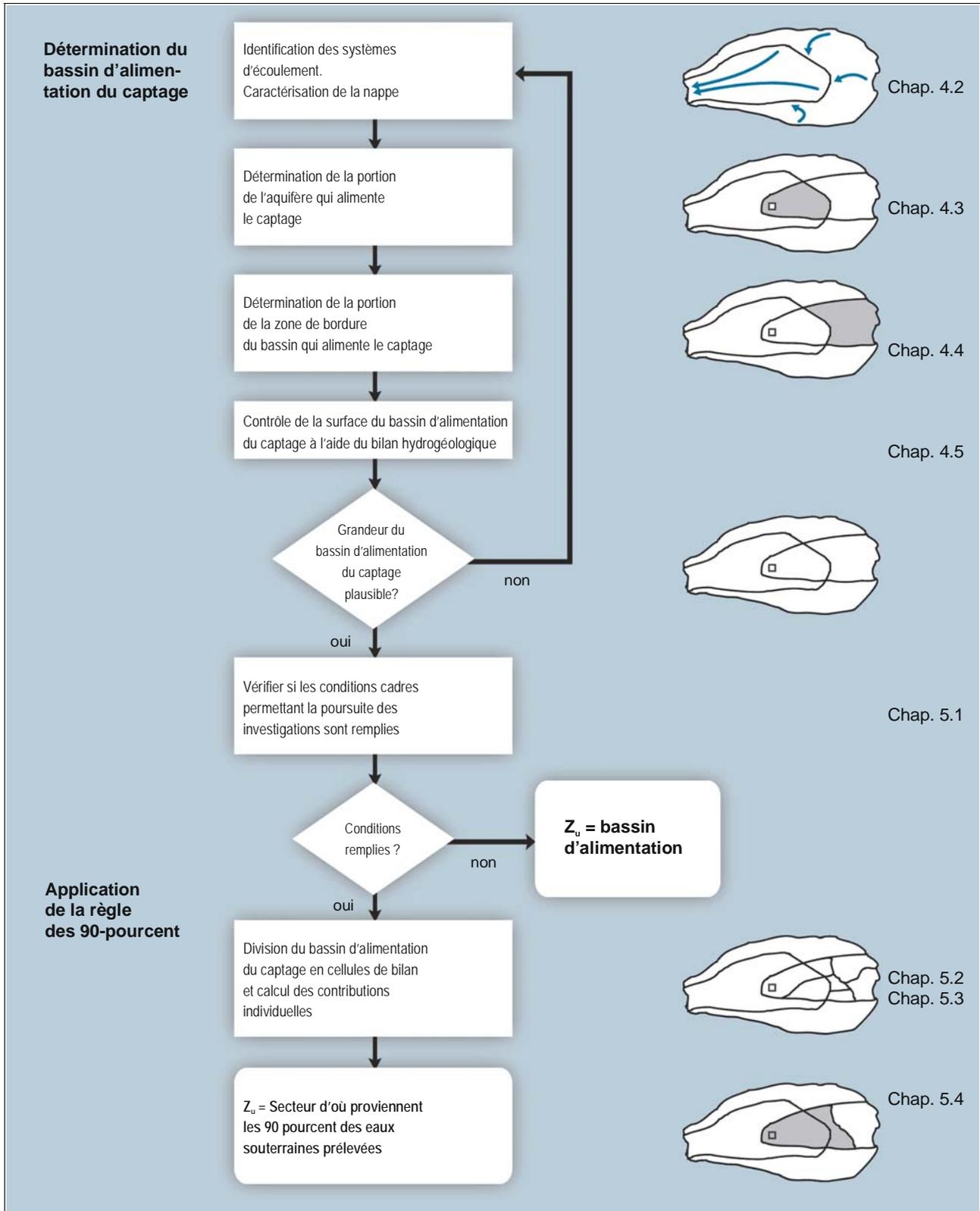


Figure 2 : Schéma de la marche à suivre.

3.3 Données de base nécessaires

Dans chaque cas, un modèle conceptuel des conditions d'écoulement dans la nappe concernée sert de base au dimensionnement de l'aire Z_u . Les informations importantes sur les conditions géologiques et hydrogéologiques doivent pouvoir en tout temps être intégrées au modèle. Il s'agit à chaque fois de décider, si les données disponibles sont suffisantes ou si des investigations de terrain supplémentaires sont nécessaires. Il est conseillé, dans la mesure du possible, de travailler avec les données déjà disponibles, par exemple celles obtenues lors de l'établissement de zones de protection. Les données de base les plus importantes pour le dimensionnement de l'aire Z_u sont énumérées ci-dessous.

Captage	<ul style="list-style-type: none">• Type de captage (puits, source d'exfiltration, source de débordement, source d'éboulis, source de faille, source de déversement, etc.)• Débit de prélèvement moyen/productivité moyenne respectivement débit de dimensionnement (cf. chapitre 2.1).
Nappe d'eau souterraine	<ul style="list-style-type: none">• Renseignements sur les conditions géologiques régionales, en particulier sur les structures importantes liées aux eaux souterraines (bassins, systèmes karstiques, systèmes de fracture, accidents tectoniques etc.).• Renseignements sur l'aquifère et sur ses limites spatiales.• Renseignements sur la zone de bordure du bassin d'alimentation de l'aquifère⁴ (relief, structures conductrices, écoulements de surface, etc.)
Direction d'écoulement	<ul style="list-style-type: none">• Isohypses de la surface piézométrique de la nappe (isopièzes) pour des conditions moyennes.• Résultats d'essais de traçage.• Résultats de modèles numériques d'écoulement.
Bilan hydrogéologique	<ul style="list-style-type: none">• Localisation des différentes entrées (recharge, infiltration des eaux superficielles, réalimentations artificielles, débits entrants provenant d'autres nappes, etc.)• Connaissance des débits sortants (prélèvements, sources, exfiltrations, drainages, écoulements souterrains vers d'autres nappes, etc.)

3.4 Indications sur la procédure

Voici quelques indications dont il faut tenir compte lors des investigations pour le dimensionnement :

- Dans de nombreuses études hydrogéologiques c'est l'estimation du *flux d'eau souterraine* à travers une région précise qui est mise au premier plan. Pour l'établissement de l'aire Z_u il s'agit d'un autre concept : les investigations doivent être orientées de manière à connaître la *provenance* des eaux souterraines.

⁴ Si aucune distinction ne peut être faite entre l'aquifère et sa zone de bordure alors il faut comprendre sous ce terme l'entier du bassin d'alimentation hydrogéologique de l'aquifère.

- Si un captage est alimenté par plusieurs nappes alors les investigations viseront l'ensemble de ces nappes. Des exemples et des figures présentant cette situation se trouvent au chapitre 4.2.
- Le mode d'aménagement d'un captage peut être, dans certains cas, important pour le dimensionnement de l'aire Z_u . Par exemple, si un puits extrait de l'eau uniquement de réservoirs profonds il est probable que cette eau provienne d'une région plus éloignée.

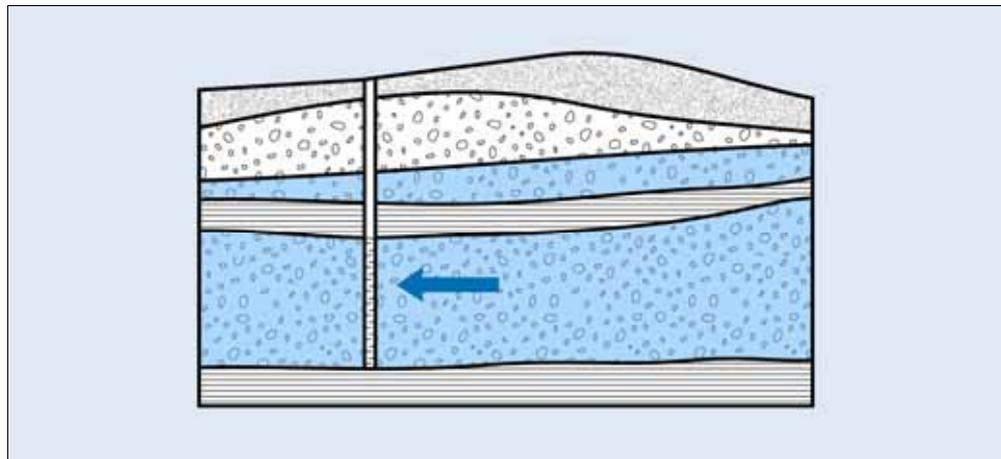


Figure 3 :
Prélèvement d'eau dans
des réservoirs plus
profonds.

- Les bassins d'alimentation de plusieurs captages peuvent se superposer.⁵ Lors de l'établissement de l'aire Z_u pour des groupes de puits ou de sources, il peut être judicieux de tenir compte de tout le groupe dès le début des investigations.

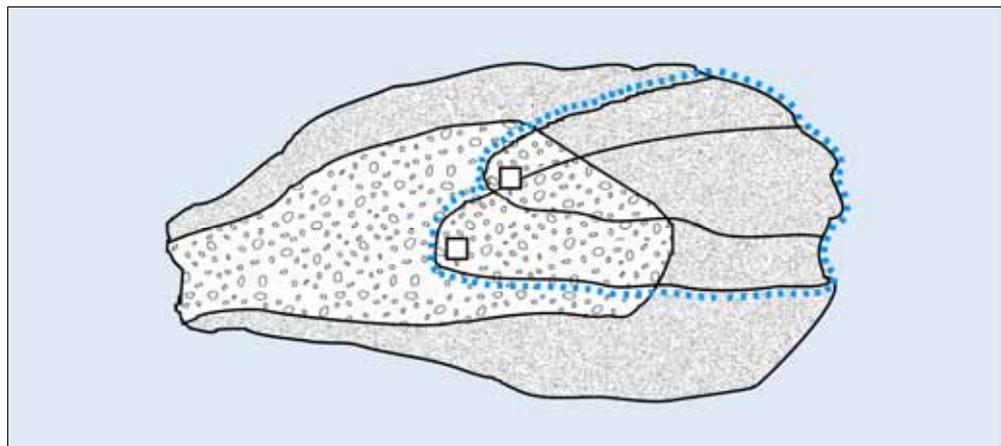


Figure 4 :
Délimitation de l'aire Z_u
pour un groupe de cap-
tages.

- Il est conseillé, dans le cadre de la gestion de la qualité, de contrôler la plausibilité des données de base importantes, comme par exemple la carte des isopièzes de la nappe ou le modèle d'écoulement, et de les mettre à disposition pour des investigations supplémentaires.

⁵ Le mélange est provoqué par la dispersion hydrodynamique et les changements continus à petite échelle de la direction de l'écoulement (comportement non stationnaire du champ d'écoulement).

4 Détermination du bassin d'alimentation d'un captage

4.1 Démarche générale

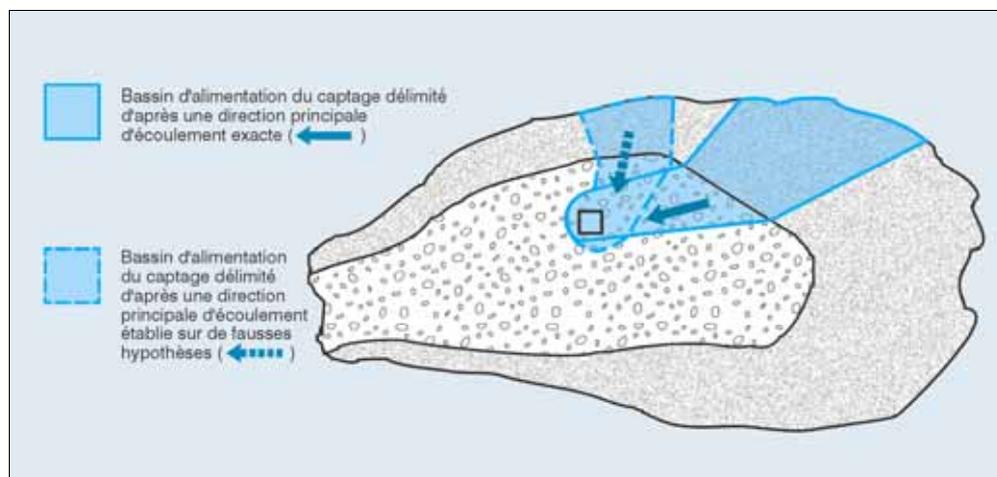
Le bassin d'alimentation d'un captage d'eau souterraine peut d'une manière générale être subdivisé en deux parties :

- Portion de l'aquifère qui participe à l'alimentation du captage.
- Portion de la zone de bordure du bassin d'alimentation de l'aquifère qui participe à l'alimentation du captage

Tout d'abord l'aquifère au sens strict doit être étudié. Des données suffisantes sont souvent déjà disponibles. Certaines méthodes s'appliquent presque exclusivement à l'étude des aquifères. On peut citer parmi elles l'interpolation ou l'extrapolation des niveaux piézométriques pour la représentation des isopièzes, les méthodes analytiques utilisées pour le calcul des zones de capture, ainsi que la simulation des conditions d'écoulement par des modèles numériques.

C'est seulement lorsque l'étendue exacte du bassin d'alimentation du captage est clairement établie jusqu'au bord de l'aquifère que les investigations sont étendues à la zone de bordure du bassin d'alimentation. Il convient d'être attentif car une direction principale d'écoulement dans l'aquifère mal déterminée a comme conséquence un positionnement erroné de la totalité du bassin d'alimentation du captage.

Figure 5 :
Positionnement erroné du bassin d'alimentation d'un captage suite à une fausse détermination de la direction principale d'écoulement.



Il existe des situations hydrogéologiques pour lesquelles les subdivisions susmentionnées n'ont pas de sens ou sont irréalisables. C'est le cas pour une multitude de sources pour lesquelles il faut combiner les procédures décrites dans les chapitres 4.3 et 4.4.

4.2 Identification des systèmes d'écoulement

Le modèle conceptuel des conditions d'écoulement constitue le véritable cadre des investigations. La caractérisation de la nappe représente un premier pas important. Elle nécessite les connaissances des conditions géologiques et hydrogéologiques régionales. Le but de cette caractérisation est l'identification des systèmes d'écoulement.

Les investigations effectuées lors de l'établissement du bassin d'alimentation doivent très souvent être orientées vers plusieurs systèmes d'écoulement. Ceci est illustré par les exemples suivants :

Exemple 1

Un puits extrait de l'eau souterraine dans la partie centrale d'un aquifère formé de graviers fluviaux. Latéralement, le bassin graveleux est entouré par des collines molassiques recouvertes de moraine. L'eau s'écoule à partir de ces collines molassiques de manière plus ou moins dispersée vers l'aquifère principal.

Exemple 2

Un puits extrait de l'eau souterraine à partir d'un petit bassin rempli de dépôts fluvio-glaciaires. Le bassin est situé dans un synclinal formé de calcaires karstiques. Le système karstique contribue à l'alimentation de l'aquifère dans la cuvette quaternaire (figure 6).

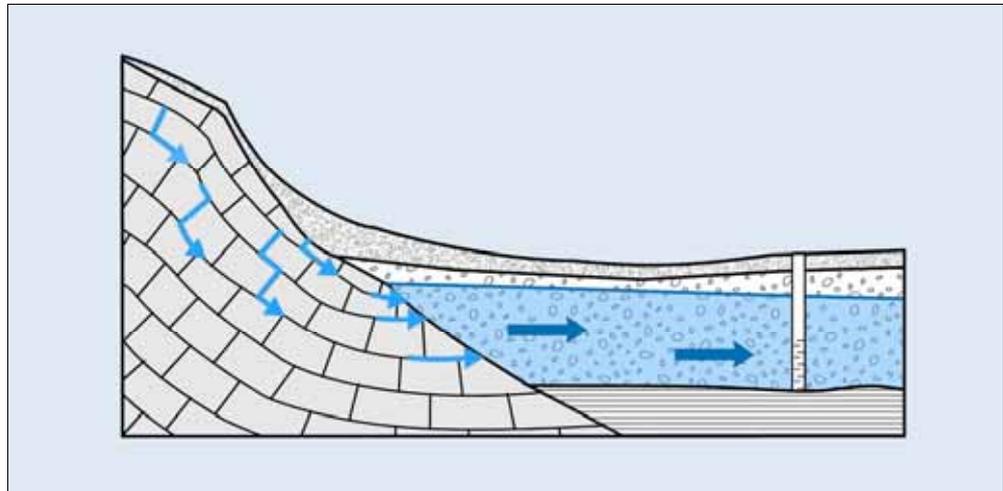
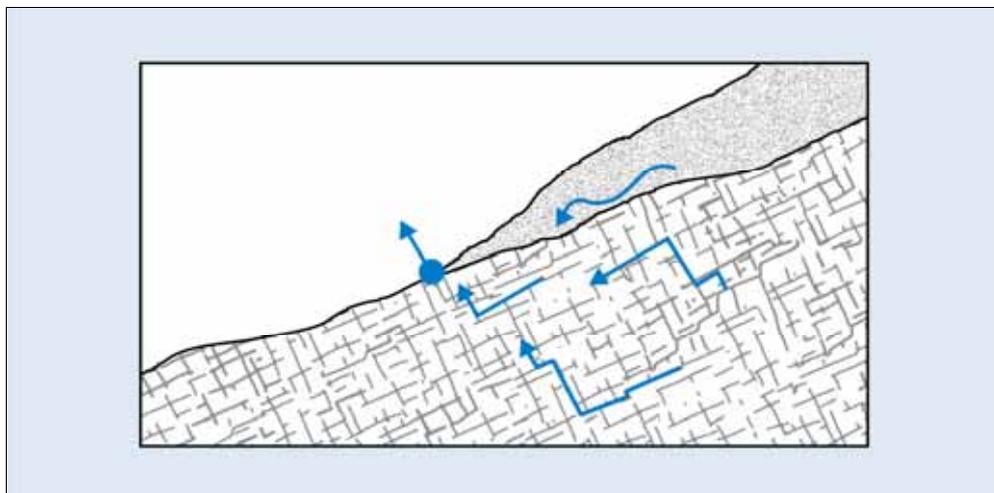


Figure 6 :
Deux systèmes
d'écoulement communi-
cants : le système karsti-
que contribue à
l'alimentation d'un aqi-
fère situé dans des
roches meubles.

Exemple 3

Une source se trouve au pied d'un complexe de flyschs fissurés. Deux types d'eaux souterraines alimentent la source : d'un côté les eaux s'écoulant à partir des fissures et de l'autre côté de l'eau provenant des couches altérées proches de la surface (figure 7).

Figure 7 :
Deux systèmes
d'écoulement contribuent
au débit de la source :
l'eau de fissures prove-
nant du complexe de
flyschs et l'eau percolant
à travers les couches
altérées proches de la
surface.



Des indications utiles à la caractérisation des nappes d'eau souterraines se trouvent dans BUSSARD et al. (2004) et dans l'atlas hydrogéologique de la Suisse (OFEG 2001).

4.3 Portion de l'aquifère qui alimente le captage

Les méthodes énumérées ici permettent de déterminer la portion de l'aquifère qui alimente le captage. Les méthodes à appliquer dépendent avant tout du type d'aquifère. Il appartient au spécialiste chargé de l'étude de faire le choix optimal. C'est en principe la combinaison de plusieurs méthodes qui permet la détermination la plus précise de cette région.

Structures géologiques

L'analyse à grande échelle des structures géologiques a pour but la détermination des limites des différentes unités aquifères. Ces unités peuvent être des séquences sédimentaires dans des roches meubles, des unités lithologiques dans des roches consolidées, des systèmes de fissures, des accidents tectoniques ou autres. Lorsqu'il s'agit de sources captées, la méthode permet souvent de délimiter le bassin d'alimentation entier du captage.

Plan des isohypses du niveau de la nappe d'eau souterraine

L'interprétation du plan des isopièzes moyen de la nappe permet d'établir la direction générale de l'écoulement vers le captage. Cela va permettre, en combinaison avec des méthodes spécifiées par la suite, de construire la zone de capture jusqu'au bord de l'aquifère.

Méthodes analytiques pour le calcul de la zone de capture.

Différentes méthodes d'établissement des zones de capture sont décrites dans la littérature. Il est recommandé de munir les paraboles de la zone de capture calculée d'un facteur de sécurité car ces méthodes sont basées sur des conditions d'écoulement stationnaires et homogènes et ne prennent pas en compte la dispersion hydro-

dynamique. La méthode de BEAR et JACOB (1965) est à nouveau donnée dans BUS-SARD et al. (2004).

Essais avec des traceurs artificiels

Les essais de traçage constituent une aide précieuse pour la détermination des systèmes d'écoulement des eaux souterraines. Avec ces méthodes il est possible de contrôler si un emplacement donné fait partie ou non du bassin d'alimentation d'un captage. De plus amples informations sur la mise en œuvre et l'interprétation des essais de traçage sont données dans le guide pratique « Utilisation des traceurs en hydrogéologie » (OFEG/SSH, 2002).

Isotopes et autres traceurs naturels

Les études hydrogéologiques à l'aide des isotopes et d'autres traceurs naturels peuvent servir à diverses applications. Lors de la délimitation des bassins d'alimentation, les isotopes peuvent donner des informations utiles sur la provenance de l'eau souterraine (composition isotopique dépendant de l'altitude d'infiltration) et sur les conditions de mélange. Quand une telle étude est envisagée, une collaboration avec des instituts de recherche ou des hautes écoles est conseillée.

Modèles numériques d'écoulement

Pratiquement tous les programmes de simulation modernes permettent de calculer la zone de capture d'un captage. Dans les modèles simples, les directions d'écoulement moyennes de l'eau sont représentées par des lignes de courant (« particle tracking » dans un champ d'écoulement purement advectif). Comme avec les méthodes analytiques, les paraboles de la zone de capture obtenues sont dans la plupart des cas trop étroites. Afin de tenir compte de la dispersion hydrodynamique et des conditions d'écoulement non stationnaires, un élargissement de la parabole est alors nécessaire.

Des modèles complexes donnent une description plus précise de la direction d'où proviennent les particules d'eau qui s'écoulent vers un captage. Il s'agit là de modèles qui prennent en compte la dispersion hydrodynamique ou de modèles stochastiques intégrant la variabilité spatiale ou temporelle, ainsi que l'incertitude liée à la valeur des paramètres.

Des modèles développés récemment permettent non seulement de déterminer la direction d'écoulement possible des particules d'eau mais aussi de déterminer quantitativement leur provenance. Ces programmes calculent quelle portion de l'eau infiltrée à un endroit précis va atteindre le captage, ou la probabilité qu'à l'eau qui s'infiltré à un endroit de s'écouler vers le captage. Ces modèles sont présentés dans KUHLMANN et al. (2000) et dans BUSSARD et al. (2004).

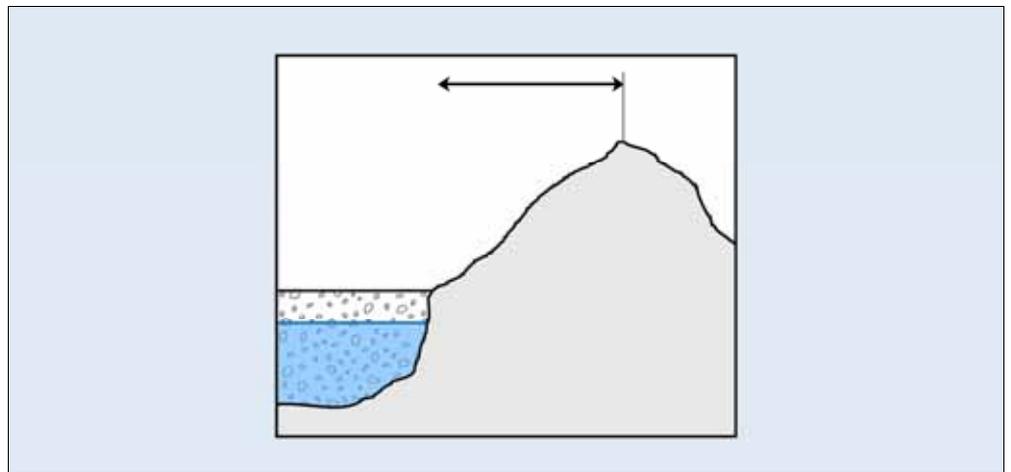
4.4 Portion de la zone de bordure du bassin d'alimentation du captage

Lorsque la portion de l'aquifère qui alimente le captage est clairement délimitée, les investigations se poursuivent vers la zone de bordure du bassin d'alimentation.

Démarche simple

De manière analogue à ce qui est fait en hydrologie, la portion de la zone de bordure qui alimente le captage est fixée sur la base de critères topographiques.

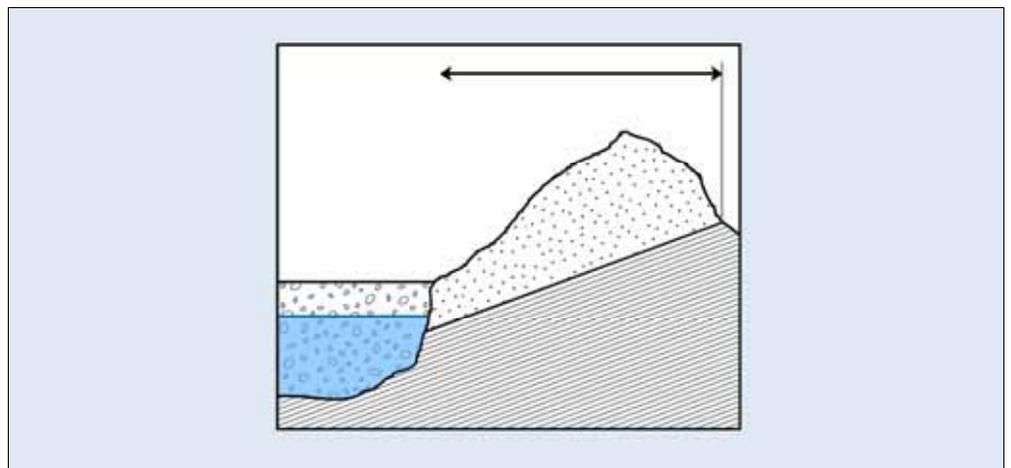
Figure 8 :
détermination de la zone de bordure du bassin d'alimentation du captage en se basant sur des critères topographiques.



Affinements

Dans certains cas des informations supplémentaires doivent être prises en compte. Ces affinements se font sur la base d'informations sur la situation géologique et/ou provenant d'études faites au moyen de traceurs naturels ou artificiels.

Figure 9 :
Détermination de la zone de bordure du bassin d'alimentation du captage en se basant sur des critères topographiques et géologiques.



Le bassin d'alimentation du captage comprend donc la portion de l'aquifère et la portion de la zone de bordure d'où provient l'eau qui est extraite du captage.

4.5 Contrôle de la surface du bassin d'alimentation du captage à l'aide du bilan hydrogéologique

Comme indiqué dans les chapitres 4.3 et 4.4, le bassin d'alimentation d'un captage peut être déterminé de différentes manières. Il est absolument nécessaire de contrôler approximativement la plausibilité de la surface ainsi établie. Pour ce contrôle il est possible d'utiliser la méthode du bilan hydrogéologique. La surface du bassin d'alimentation S_{BA} est évaluée au moyen d'indices du bilan. Dans les cas où les deux résultats sont très différents il faut alors contrôler le modèle conceptuel des conditions d'écoulement. Il est possible que la surface du bassin d'alimentation du captage ait été surestimée ou sous-estimée suite à de fausses hypothèses. Il est aussi possible que le débit de dimensionnement pris en compte soit supérieur à la capacité de l'aquifère à l'endroit du captage (selon l'art. 43 LEaux, les cantons veillent à ce que les prélèvements opérés dans une nappe d'eau souterraine ne soient pas supérieurs à la quantité d'eau qui l'alimente).

Le tableau 3 présente les formules les plus importantes utilisées pour le calcul du bilan hydrogéologique. De plus amples informations sont données dans BUSSARD et al. (2004) et dans BLAU et al. (1984).

Dans certains cas, les conditions spatiales ou structurales rendent impossible un contrôle de plausibilité au moyen du bilan. Par exemple, pour les captages qui se trouvent à l'intérieur ou à l'aval d'un aquifère se rétrécissant en forme de goulot. L'eau qui s'écoule à travers ce rétrécissement provient de l'ensemble du bassin d'alimentation situé à l'amont de l'aquifère. Celui-ci correspond alors au bassin d'alimentation du captage. Un calcul à l'aide des formules du tableau 3 sous-estimerait dans ce cas précis la superficie du bassin d'alimentation du captage.

Si des études supplémentaires demandent un travail disproportionné ou si elles se heurtent à des incertitudes insolubles concernant le périmètre du bassin d'alimentation du captage (cf. chapitre 5.1), il convient de s'arrêter à cette étape et de désigner le bassin d'alimentation du captage déterminé comme **l'aire d'alimentation Z_u** .

Tableau 3 : Bilan hydrogéologique

Formule		Signification
Superficie du bassin d'alimentation du captage		
$S_{BA} = \frac{Q_c + Q_p - Q_i}{I_e} \cdot D_f$	S _{BA}	Surface du bassin d'alimentation du captage [m ²]
	Q _c	Débit de dimensionnement du captage considéré [m ³ /s]
	Q _p	Débit moyen des pertes du bassin d'alimentation comme des prélèvements supplémentaires dans le bassin d'alimentation du captage, les exfiltrations dans des eaux de surface ou dans des drainages [m ³ /s]
	Q _i	Infiltration des eaux de surface [m ³ /s]
	I _e	Recharge spécifique du bassin d'alimentation du captage par les eaux météoriques [m/s]
	D _f	Facteur de correction [-] : voir plus bas
Recharge de la nappe par les eaux de surface infiltrantes		
Formule de base : $I = P_b - R - E$	I	Recharge de la nappe par infiltration des eaux météoriques [m ³ /s]
	P _b	Précipitations regionales [m ³ /s]
	R	Ruissellement [m ³ /s]
	E	Evaporation [m ³ /s] : somme de l'évaporation, de l'interception et de la transpiration
Formule simplifiée : $I_e = P_b \cdot f$	I _e	Recharge spécifique de la nappe par infiltration des eaux météoriques [m/s]
	P _b	Précipitations [m/s]
	f	Coefficient d'infiltration [-] f ≈ 0.5 pour les régions à forte infiltration f ≈ 0.3 pour les régions à faible infiltration (couches de couverture constituées de sédiments fins, terrains en pente etc.)
Plusieurs régions avec des recharges différentes : $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$	I	Recharge de l'ensemble du bassin d'alimentation [m ³ /s]
	I _{1...}	Recharge de chacune des différentes régions [m ³ /s]
Facteur de correction D_f		
<p>Pour les petits bassins d'alimentation : $1 \leq D_f \leq 1.5$</p> <p>Pour les grands bassins d'alimentation (plusieurs km²) : $1 \leq D_f \leq 2.5$</p>	D _f	La dispersion hydrodynamique et les changements continus, à petite échelle, de l'écoulement (comportement non stationnaire du champ d'écoulement) entraînent un mélange des eaux souterraines. Grâce à l'introduction d'un facteur de correction D _f [-] ce processus est pris en compte dans le calcul.

5 Détermination de l'aire Z_u selon la règle des 90-pourcent

5.1 Objectif et conditions cadres nécessaires

A l'intérieur d'un bassin d'alimentation d'un captage, la contribution de chacune des surfaces à l'alimentation peut être distribuée de manière très différente. On montre ce chapitre comment le bassin d'alimentation du captage est divisé en cellules de bilan de contribution plus ou moins homogène et finalement comment la région d'où provient environ 90 pourcent de l'eau souterraine prélevée est établie. Cette région représente l'aire d'alimentation Z_u . Les surfaces qui ne contribuent que faiblement à l'alimentation du captage peuvent ainsi être exclues. En outre, les résultats des calculs peuvent être utilisés pour délimiter les régions sensibles.

Pour que la règle des 90-pourcent puisse être utilisée, les conditions suivantes doivent être remplies :

- Le périmètre du bassin d'alimentation du captage doit être connu de manière précise.
- Le bassin d'alimentation du captage doit pouvoir être divisé de manière pertinente en un nombre approprié de cellules de bilan. Cela signifie que la variabilité de la distribution spatiale des contributions à l'alimentation doit être significative et relativement étendue.
- La division en cellules de bilan et le calcul des contributions correspondantes doivent être vérifiables.
- Il faut garantir un bon rapport coût/efficacité de ces études.

Même lorsque les informations sont nombreuses, le bassin d'alimentation d'un captage ne peut souvent pas être défini avec certitude⁶. Lorsqu'il existe de grandes incertitudes quant à l'appartenance de surfaces au bassin d'alimentation du captage, la règle des 90-pourcent ne peut pas être utilisée.

Si l'aire Z_u ne peut pas être estimée avec la règle des 90-pourcent, c'est l'entier du bassin d'alimentation du captage qui est désigné comme **aire d'alimentation Z_u** .

⁶ Par exemple: un bassin d'alimentation largement ramifié et très éloigné de la source dont le pourtour ne peut être établi précisément ou des bassins d'alimentation de captages qui comprennent plusieurs systèmes d'écoulement parfois complexes. (Cf. chapitre 4.2).

5.2 Division de la surface du bassin d'alimentation en cellules de bilan

Le modèle conceptuel des conditions d'écoulement constitue la base de la division du bassin d'alimentation du captage en cellules de bilan isolées. Le découpage des surfaces se fait selon les critères suivants :

- Différences significatives à grande échelle de la recharge de la nappe. (I)
- Différences significatives à grande échelle de la contribution d'un secteur à l'alimentation du captage (P).

Le terme de **recharge de la nappe I** décrit l'eau qui s'infiltré et qui alimente la nappe. Il comprend aussi bien la recharge par les eaux météoriques I_e que la recharge par les eaux de surface Q_i . Des eaux de surface infiltrantes peuvent considérablement augmenter la recharge par unité de surface par rapport aux régions adjacentes pour lesquelles l'alimentation se fait uniquement par les eaux météoriques. C'est pourquoi il est recommandé, lors de l'utilisation de cette méthode, de créer des cellules de bilan séparées pour les eaux de surfaces.

La variabilité de la recharge de la nappe par les eaux météoriques I_e résulte avant tout de l'hétérogénéité de la composition des couches de couverture et de différences de relief. Dans certains cas des différences climatiques à l'intérieur du bassin d'alimentation du captage peuvent aussi jouer un rôle.

Trois exemples pour lesquels il faut compter avec des différences significatives à grande échelle dans la recharge de la nappe sont présentés ci-dessous :

Exemple 1 L'aire d'alimentation du captage à étudier est traversée par une rivière. Le taux d'infiltration moyen est déterminé dans le cadre d'une étude hydrogéologique de base. Il sera alors – calculé par unité de surface – un multiple de la recharge directe de la nappe par l'eau météorique.

Exemple 2 L'essentiel des précipitations s'infiltré au fond d'une vallée. Les conditions sont différentes dans la zone de bordure du bassin d'alimentation du captage : les nombreux ruisseaux y prenant leur source témoignent d'un écoulement de subsurface significatif des eaux météoriques. La recharge de la nappe est donc nettement plus faible dans la zone de bordure que dans le fond de la vallée.

Exemple 3 La couche de couverture de la portion de l'aquifère qui alimente le captage peut se diviser en deux parties : d'une part, une couche de couverture faite de sédiments fins limno-palustres. L'infiltration verticale y est fortement réduite, une grande partie des eaux météoriques est évacuée par un système de drainage ou s'évapore. D'autre part, une couche de couverture constituée de matériel perméable et contribuant de manière déterminante à l'alimentation du captage.

La **part de l'eau souterraine P** ($0 \leq P \leq 1$) effective s'écoulant vers le captage est fixée par les conditions hydrologiques dans l'aire d'alimentation du captage ainsi que par les propriétés du captage lui-même.

Quelques exemples :

- Exemple 1** Le groupe de sources pour lequel l'aire d'alimentation doit être déterminée draine le bassin d'alimentation à 100 pourcent. Pour l'entier du bassin on a alors $P = 1$, cela signifie que l'établissement de plusieurs cellules de bilan se base uniquement sur la variabilité du taux de recharge.
- Exemple 2** Le captage, construit comme un puits incomplet, fonctionne de manière intermittente. Environ 40 pourcent de l'eau provenant de l'aire d'alimentation est inutilisée et s'écoule au travers, au dessous ou à côté du captage. Pour la cellule de bilan correspondante il faut alors choisir $P = 0.6$.
- Exemple 3** Le méandre d'un cours d'eau se trouve dans le bassin d'alimentation d'un captage. Les études hydrogéologiques nous apprennent que 50 pourcent de l'eau souterraine s'exfiltre dans le cours d'eau. Les 50 pourcent restant s'écoulent par-dessous vers le captage. Pour les cellules situées dans la direction d'écoulement amont du méandre on considère que $P = 0.5$.
- Exemple 4** Une installation de pompage « concurrente » se trouve dans le bassin d'alimentation du captage à examiner. On considère alors que 30 pourcent de l'eau souterraine du bassin d'alimentation du captage concurrent passe à côté et atteint le captage étudié. Pour les cellules concernées on choisit $P = 0.3$.

Dans beaucoup de situations on part du principe que P diminue en direction du bord du bassin d'alimentation. L'évaluation de P se base sur les informations obtenues à l'aide des essais de traçage, des études hydrochimiques, des modèles d'écoulement ou des raisonnements par analogie. Des renseignements complets se trouvent dans BUSSARD et al. (2004).

5.3 Calcul des contributions à l'alimentation de chaque cellule de bilan

La contribution de chaque cellule de bilan est évaluée. Cette contribution C_i est déterminée pour chaque cellule de bilan i en faisant le produit de la recharge effective de la nappe I par la part de l'eau souterraine P_i provenant de la cellule et s'écoulant vers le captage. La somme des contributions de chaque cellule correspond ainsi au débit de prélèvement du captage étudié. Les formules correspondantes sont présentées dans le tableau 4. Une description détaillée de cette méthode se trouve dans BUSSARD et al. (2004).

Le calcul du bilan de cellules distinctes demande aussi bien une étude approfondie qu'une grande qualité des données. Les exigences sont plus importantes dans ce cas que pour le calcul de bilan présenté au chapitre 4.5 qui est fait de manière approximative afin de contrôler la plausibilité de la surface du bassin d'alimentation entier. C'est pourquoi, généralement des études de terrain additionnelles et/ou des calculs supplémentaires sont nécessaires.

Tableau 4 : Calcul des contributions à l'alimentation selon le principe des cellules de bilan.

Formule	Symbole	Définition
Contribution à l'alimentation		
$C_i = I_i \cdot P_i$ $0 \leq P_i \leq 1$ $C_{tot} = \sum_{i=1}^n C_i$	C_i	Contribution de la cellule i à l'alimentation des eaux souterraines [m^3/s].
	I_i	Recharge de la cellule i [m^3/s]. On tient compte à la fois de la recharge par les eaux météoriques infiltrante et de l'infiltration par les rives.
	P_i	Part de l'eau souterraine qui arrive au captage à partir de la cellule de bilan i .
	C_{tot}	Somme des contributions à l'alimentation de toutes les cellules à l'intérieur du bassin d'alimentation du captage [m^3/s]
Contribution à l'alimentation par rapport au débit prélevé (ou au débit de la source)		
$Q_c \approx C_{tot}$	Q_c	Débit de dimensionnement du captage étudié [m^3/s]

5.4 Etablissement de l'aire Z_u au moyen des cellules de bilan

L'alimentation C_{tot} est donnée par la somme des contributions à l'alimentation C_i de chacune des cellules. Pour l'établissement de l'aire Z_u on prend ensuite en compte les cellules jusqu'à ce que la somme de leurs contributions respectives atteigne environ 90 pourcent. Lors de cette addition on commence par considérer les cellules à plus forte contribution. De cette façon les cellules à très faible contribution peuvent être exclues.

Lorsque l'aire d'alimentation Z_u peut-être déterminée par la méthode des cellules de bilan, l'aire Z_u comprend les cellules dont la somme des contributions représente environ 90 pourcent de l'alimentation totale.

6 Bibliographie

- BEAR J., JACOBS M. 1965 : *On the movement of water bodies injected into aquifers*. Journal of Hydrology, 3, pp. 37–57.
- BLAU R.V. et al. 1984 : *Quantitative Erkundung von Lockergesteins-Grundwasserleitern am Beispiel Emmental – Handbuch*. Sonderdruck Nr. 1056 aus Gas – Wasser – Abwasser 1984/5.
- BUSSARD T., TACHER L., PARRIAUX A., BAYARD D., MAITRE V. 2004 : Dimensionnement des aires d'alimentation Z_u . Document de base. Paru dans : Documents Environnement N° 183, OFEFP/BUWAL, 143 p.
- OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) 2004 : *Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines*.
- OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage) 1999 : *Recueil des bases de la « stratégie nitrates »*. Informations assemblées par le groupe de travail « stratégie nitrates ». Actualisation en cours.
- OFEG/SSH (Office fédéral des eaux et de la géologie, Société suisse d'hydrogéologie) 2002 : *Utilisation des traceurs en hydrogéologie*, guide pratique.
- OFEG 2001 : *Atlas hydrologique de la Suisse*. Edition 5, Classeur 2, chap. 8.
- KUHLMANN U., JORDAN P., TRÖSCH J. 2000 : *Zuströmbereiche von Grundwasserentnahmen*. GWA (Gas – Wasser – Abwasser), 4/2000, pp. 278–286.
- MICHEL P. 2001 : *Zuströmbereiche für Grundwasserfassungen – Definition und Zweck*. GWA (Gas – Wasser – Abwasser), 1/2001, pp. 5–9.