

**Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur  
la qualité des Eaux Souterraines (ESO)**

<b>INDICE</b>	<b>ETAT</b>	<b>MODIFICATIONS</b>	<b>DATE Soumission MEEDDAT</b>	<b>Date mise en application</b>
<b>V0</b>	<b>Opérationnel</b>		<b>16 janvier 2008</b>	<b>08/02/07</b>

## **I - Document introductif**



# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>5</b>
1.1. CONSTAT .....	5
1.2. OBJECTIF DU GUIDE .....	5
1.3. CONTENU DU GUIDE .....	6
1.4. ACTEURS CONCERNES PAR CE DOCUMENT .....	7
1.5. AVERTISSEMENTS PREALABLES SUR LE CONTENU ET L'UTILISATION DE CE DOCUMENT .....	7
<b>2. Les enjeux et les difficultés de la protection de la qualité des eaux souterraines .....</b>	<b>8</b>
2.1. ENJEUX ET DIFFICULTES LIES A LA NATURE DE LA RESSOURCE EN EAU ET DU MILIEU .....	9
2.2. ENJEUX ET DIFFICULTES LIES A LA NATURE DES POLLUTIONS ET AU CONTEXTE INDUSTRIEL .....	10
<b>3. Une réglementation à la hauteur des enjeux.....</b>	<b>10</b>
3.1. LES DIRECTIVES EUROPEENNES SUR LES EAUX .....	11
3.2. LA GESTION DE L'EAU EN FRANCE.....	11
3.3. LA PREVENTION DES POLLUTIONS DES SITES INDUSTRIELS.....	12
<b>4. Bibliographie .....</b>	<b>13</b>



# 1. Introduction

En préalable, il est rappelé que des informations réglementaires et méthodologiques (guides, outils, ...) sont gratuitement disponibles sur le site :

[www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr](http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr)

Par ailleurs, nous retiendrons l'abréviation ESU pour les Eaux Superficielles, et ESO pour les Eaux Souterraines.

## 1.1. CONSTAT

En 2003, un rapport parlementaire sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France [15] présentait le constat suivant, assorti de différentes recommandations :

*« La dégradation de la qualité de la ressource est quasi générale. Les mélanges d'eau qui permettent de considérer qu'une eau est de qualité acceptable ne constituent pas une solution durable. L'eau constitue un enjeu stratégique et doit être au cœur des politiques de développement et d'aménagement du territoire. Tout indique que la priorité annoncée sur la protection de la ressource en eau n'en est pas une. Elle doit le devenir. »*

Des constats similaires dressés avant ce rapport ([6], [11]...), confirment, si besoin était, le caractère préoccupant de la situation.

Les causes de la dégradation de la qualité de la ressource en eau sont multiples, et les leviers d'actions pour corriger cette situation sont divers et font l'objet de réglementations spécifiques.

Il ne faut pas dans ce contexte sous estimer la contribution particulière des sites industriels (potentiellement) pollués à cette situation, même si ce n'est pas la seule. La spécificité des impacts associés aux sites (potentiellement) pollués et aux Installations Classées, en particulier sur les eaux souterraines, est liée au caractère ponctuel des sources de pollution et à la nature des polluants.

Dans le cadre général de la gestion des sites et sols pollués, les acteurs (responsables de sites, bureaux d'études, Inspecteurs des Installations Classées...) sont régulièrement confrontés à la problématique de la qualité des eaux souterraines. Ce domaine présente des particularités avec lesquelles les acteurs sont souvent peu familiarisés. Tous ces éléments justifient le présent guide.

## 1.2. OBJECTIF DU GUIDE

Les objectifs de ce document sont de guider les acteurs et décideurs pour :

- la préservation et l'amélioration de la qualité des ressources en eau,
- la mise en place des actions de prévention, de surveillance et de maîtrise des pollutions d'origine ponctuelle.

Il s'appuie pour cela sur :

- l'élaboration d'une stratégie d'évaluation de la qualité des eaux souterraines,
- la définition des modalités de gestion et des conditions techniques de mise en œuvre de ces actions.

### 1.3. CONTENU DU GUIDE

Ce guide méthodologique traite spécifiquement des modalités de préservation et d'amélioration de la qualité des ressources en eaux, en abordant les notions de prévention des pollutions ponctuelles, de gestion des sources polluantes et de maîtrise des impacts.

Les différents aspects abordés sont :

- les enjeux liés à la qualité des eaux souterraines, replacés dans le contexte légal européen (Directive Cadre sur les Eaux - DCE et Directive pour la Protection des Eaux Souterraines - DPES) et dans le contexte national (Code de l'Environnement et Code de Santé Publique, réglementations relatives aux eaux, aux Installations Classées et aux sites et sols pollués) de la gestion de la qualité des eaux souterraines ;
- les stratégies de prévention et de surveillance de la qualité des eaux souterraines selon les objectifs recherchés (prévention, contrôle, connaissance, compréhension, orientation des actions de traitement, ...) ;
- la mise en œuvre d'un dispositif de surveillance (réseaux de forages et programmes de prélèvement et d'analyse) pour un ou plusieurs sites ;
- l'analyse des données (pertinence, fiabilité, incertitudes), interprétation et restitution des résultats (critères, bilans annuels et quadriennaux).

Ce guide contient en outre différents éléments techniques relatifs aux contextes géologiques et hydrogéologiques, au comportement des polluants dans les sols et dans les eaux, aux évaluations des transferts de polluants.

Ce guide comprend :

1. le présent document introductif,
2. un organigramme montrant les liens chronologiques des divers guides le composant et des outils méthodologiques complémentaires, à consulter selon les problèmes à résoudre,
3. un module traitant du schéma conceptuel et du modèle de fonctionnement relatifs au milieu des eaux souterraines,
4. un module relatif à la stratégie d'une surveillance de la qualité des ESO,
5. un module relatif à la conception d'un dispositif de surveillance des ESO,
6. un guide pour l'exécution des forages de contrôle de la qualité des ESO,
7. un guide relatif aux prélèvements dans les forages (à venir),
8. des recommandations relatives à l'interprétation des résultats, au rapport annuel et au bilan quadriennal.



## 1.4. ACTEURS CONCERNES PAR CE DOCUMENT

Le présent guide du Ministère de l'Écologie et du Développement et de l'Aménagement durable (MEDAD), concerne tous les acteurs ayant à intervenir sur des sites sur lesquels une surveillance de la qualité des eaux souterraines (ESO) ou un diagnostic de pollution auront été jugés nécessaires.

Ce guide s'adresse :

- aux gestionnaires et aux responsables en charge de la gestion environnementale de sites ou de friches industriel(le)s potentiellement pollué(e)s : *chefs d'entreprises, responsables Hygiène Sécurité Environnement (HSE) ...* ;
- aux agents d'organismes publics ou de collectivités territoriales ainsi qu'aux services de l'état œuvrant dans le domaine (*services de l'Inspection des Installations Classées, DRIRE<sup>1</sup>, DDASS<sup>2</sup>, DSV<sup>3</sup> ou autres*) ;
- aux personnes en charge de concevoir et de réaliser des études et des plans de gestion et de contrôle relatifs aux eaux souterraines : *bureaux d'études, ...*

## 1.5. AVERTISSEMENTS PREALABLES SUR LE CONTENU ET L'UTILISATION DE CE DOCUMENT

Ce document présente des aspects pratiques pour gérer un problème de qualité des eaux souterraines, et en particulier :

- concevoir et utiliser un dispositif de surveillance de leur qualité (réseau de forages et programme de mesures permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines) ;
- mettre en place un protocole d'échantillonnage ;
- interpréter les résultats pour agir.

Ces aspects concrets sont mis en perspective avec les aspects réglementaires et les recommandations relatives à la stratégie de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines et aux principes de gestion d'un site.

Compte tenu de la grande diversité des paramètres à prendre en compte, à apprécier au cas par cas, il ne pourra pas être donné de critères absolus et quantifiés à l'établissement d'un tel dispositif de surveillance. Cependant, les questions clés qu'il faut aborder pour concevoir, réaliser et utiliser de façon optimale, un réseau de forages permettant d'apprécier la qualité des eaux souterraines seront présentées. De même, ce guide n'a pas la prétention d'aborder toutes les situations susceptibles d'être rencontrées.

---

<sup>1</sup> DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement

<sup>2</sup> DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

<sup>3</sup> DSV : Direction des Services Vétérinaires

**Les questions clés sont relatives à :**

- a. la définition de l'objectif de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines ;
- b. l'élaboration du schéma conceptuel, qui évolue au fil de l'acquisition des données et de la connaissance du sous sol, pour gagner en précision et en pertinence, et devenir un modèle de fonctionnement ;
- c. le dimensionnement du réseau de forages (nombre, localisation, profondeur) ;
- d. la détermination de la stratégie d'échantillonnage et du programme des actions à entreprendre (polluants à rechercher, paramètres à mesurer, protocole d'échantillonnage, fréquence des prélèvements, techniques d'analyses...) ;
- e. l'interprétation des résultats des analyses et mesures ;
- f. la définition de déclencheur d'action : évènements, ou observations montrant que les résultats des mesures s'écartent de ce qui était attendu (tel que défini dans le modèle de fonctionnement) et nécessitent une action ;
- g. le suivi, la durée et l'arrêt du programme de surveillance en fonction des résultats observés, et de leur conformité au modèle de fonctionnement attendu.

L'ensemble des points c à g ci-dessus se fait en liaison étroite avec le schéma conceptuel élaboré dès le début de la démarche. Dès que des résultats de la surveillance sont disponibles, ils doivent être intégrés au schéma conceptuel et le faire évoluer : on parle alors de « modèle de fonctionnement » (évolution attendue de la pollution).

Ce modèle de fonctionnement dynamique, doit comporter une partie prédictive pour l'année ou les années à venir. Les résultats de la surveillance sont régulièrement confrontés à cette prédiction relative notamment à l'évolution attendue de la pollution. Celle-ci doit tendre vers une amélioration ou une confirmation de non dégradation de la qualité des eaux souterraines.

Des solutions alternatives ou complémentaires aux préconisations techniques du présent guide pourront être mises en œuvre pourvu qu'elles en respectent l'esprit.

L'application de ce guide doit être menée en tenant compte des principes retenus dans le cadre de la gestion des sites (potentiellement) pollués, à savoir, les principes de précaution, de proportionnalité, de spécificité et de transparence.

## **2. Les enjeux et les difficultés de la protection de la qualité des eaux souterraines**

La protection de la qualité des eaux souterraines est d'autant plus nécessaire au vu des enjeux qu'elles présentent et des difficultés que posent tant leur surveillance que leur traitement lorsqu'elles s'avèrent polluées. Dans ce contexte, la prévention est un atout à privilégier.

## 2.1. ENJEUX ET DIFFICULTES LIES A LA NATURE DE LA RESSOURCE EN EAU ET DU MILIEU

**Les eaux souterraines constituent des réservoirs d'une eau de qualité**, exploités à ce titre pour des usages multiples et qu'il convient de préserver des pollutions. En effet, à l'échelle nationale (sources : [8], [11], [12], [15]) :

- 60 % des eaux souterraines prélevées sont destinés à la production d'eau potable, 17 % sont destinés à l'agriculture et 24 % à l'industrie – énergie ;
- 66 % des besoins en eaux destinées à la consommation sont couverts par les eaux souterraines, ce pourcentage atteignant 80 % dans certaines régions ;
- 95 % environ des points d'eau utilisés pour les ressources en eau potable sont des captages souterrains, et donc environ 5 % des ouvrages de captage concernent les eaux de surface ;

Un examen du réseau de captages d'alimentation en eau potable révèle la présence de plus d'un millier de points « défectueux » (dont une large majorité puise les eaux souterraines) d'où la fermeture de plusieurs centaines d'entre eux chaque année.

Outre l'observation d'une qualité insuffisante des eaux captées, l'une des principales causes de fermeture des captages est le risque même d'une éventuelle pollution lié à la trop grande difficulté à protéger ces ouvrages, et à la nature du milieu ou de l'environnement.

**Les eaux souterraines constituent un milieu vulnérable** à l'égard duquel la prévention contre toute pollution doit être une priorité. Pour cela, différents aspects doivent être gardés à l'esprit :

- **la mobilité des nappes** : toute pollution atteignant les eaux souterraines va inéluctablement se propager et diffuser dans des conditions difficiles à maîtriser. Selon les milieux, l'eau souterraine parcourt en effet 1 km en quelques heures (milieux karstique), en quelques mois (milieux fissurés) ou en une à deux années (certains milieux poreux) ;
- **la persistance des perturbations** : les eaux souterraines se renouvellent lentement, entraînant une accumulation progressive des différentes contributions polluantes historiques ou géographiques. Les faibles effets de dilution et la persistance de nombreux polluants impliquent que les situations de pollutions perdurent sur de longues périodes et sont difficilement réversibles, au moins dans des temps raisonnables. Les techniques de dépollutions sont souvent longues et/ou chères, sans que les résultats soient toujours à la hauteur des objectifs fixés ;
- **la surveillance partielle des eaux souterraines dans le temps et l'espace** : la détection d'une pollution des eaux souterraines n'a lieu souvent que de façon tardive. Cela est dû au faible nombre de points d'observation (forages et puits) et aux relativement faibles fréquences d'échantillonnage pratiquées, comparativement à l'extension des nappes souterraines qui évoluent dans un milieu complexe développé en 3 dimensions.

## 2.2. ENJEUX ET DIFFICULTES LIES A LA NATURE DES POLLUTIONS ET AU CONTEXTE INDUSTRIEL

**Le sol est un milieu de transfert situé en interface avec les milieux aquatiques** (eaux de surface et souterraines), l'atmosphère et la biosphère. Aussi, ce n'est pas tant la présence locale de polluants dans les sols ou dans le sous-sol qui pose problème, mais plutôt le risque qu'ils présentent de se propager dans un milieu non impacté et d'affecter une population exposée du fait :

- que ces polluants sont mobilisables, constituant ainsi une « source de pollution »,
- et qu'ils puissent altérer la qualité des milieux naturels via les voies de transfert (eaux, végétaux, etc., ...) ou via l'usage des sols.

Les expériences passées montrent que l'impact d'un site (potentiellement) pollué, s'il apparaît, concerne dans la très grande majorité des cas, les eaux souterraines. Dans ce contexte, la mise en place d'un dispositif de surveillance des eaux souterraines est le complément indispensable permettant de vérifier l'efficacité des mesures préventives mises en place. Il doit être conçu sur la base d'une étude hydrogéologique pertinente et adaptée au contexte industriel et environnemental concerné.

Pour permettre de vérifier que la qualité des eaux souterraines ne se dégrade pas, voire qu'elle s'améliore (objectif de la DCE), la mise en place d'un dispositif de surveillance est par conséquent l'une des premières actions à mener en contexte industriel. Ce dispositif doit permettre le suivi analytique régulier de la qualité des ESO selon une procédure adaptée au contexte, particulièrement lorsqu'on s'inquiète de la présence de polluants dans les sols.

La pertinence des actions à engager dans le cadre de la gestion d'un problème lié aux eaux souterraines, découle de la fiabilité de l'analyse des risques que peuvent présenter les sites concernés. Cette analyse est elle-même fonction de l'adéquation du dispositif mis en place par rapport au contexte.

Bien souvent, les incertitudes sur la capacité effective des polluants contenus dans les sols à rester immobilisés et à ne pas atteindre les eaux à moyen ou long terme sont importantes. Ces incertitudes doivent être prises en compte et nécessitent une analyse réaliste et pondérée des actions de maîtrise des sources qui peuvent être mises en œuvre.

## 3. Une réglementation à la hauteur des enjeux

Ce chapitre n'a pas vocation à détailler les réglementations nationales et européennes en vigueur, lesquelles sont accessibles via les portails Eur-Lex<sup>4</sup> et LegiFrance<sup>5</sup>. Il apparaît cependant important de rappeler que la surveillance de la qualité des Eaux souterraines (ESO) au droit des Installations Classées trouve sa place dans un contexte réglementaire national et européen dont une synthèse est présentée ci-après.

---

<sup>4</sup> <http://europa.eu.int/eur-lex/>

<sup>5</sup> <http://www.legifrance.gouv.fr>

### **3.1. LES DIRECTIVES EUROPEENNES SUR LES EAUX**

La "Directive établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau" (DCE) a été adoptée par les Etats membres de l'Union européenne et le Parlement européen en septembre 2000. Elle a été publiée au Journal Officiel des Communautés européennes le 22 décembre 2000 (Directive 2000/60/CE). Ce texte vise à compléter les directives européennes déjà en vigueur dans le domaine de l'eau, en harmonisant les modalités de gestion de l'eau dans tous les pays de l'Union et en reconnaissant le bassin versant comme l'aire géographique pertinente. Ce texte fixe un objectif ambitieux de bon état de l'ensemble des eaux en 2015.

Par ailleurs, la Directive européenne sur la protection des eaux souterraines contre la pollution 2006/118/CE fixe des critères d'évaluation de l'état chimique des eaux souterraines qui correspondent à l'exigence de la DCE. L'objet de la directive dérivée sur les eaux souterraines est :

- d'établir des mesures spécifiques de prévention et de contrôle de la pollution des eaux souterraines (critères pour l'évaluation du bon état chimique des eaux souterraines, pour l'identification des tendances à la hausse significatives et durables de la concentration des polluants dans les eaux souterraines, et pour la définition des points de départ d'inversion de tendance) ;
- et de compléter la DCE, en particulier pour les valeurs seuils, les tendances significatives et durables à la hausse des pollutions dans les eaux souterraines.

### **3.2. LA GESTION DE L'EAU EN FRANCE**

En France (source IFEN – Institut Français de l'Environnement. [www.ifen.fr](http://www.ifen.fr)), la première loi sur l'eau, relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre la pollution (article L.211 du Code de l'Environnement), a instauré en 1964 une gestion par bassin hydrographique. La révision de la loi sur l'eau en 1992 (articles L.210-1 et suivants du Code de l'Environnement) a notamment institué un nouveau système de planification et de gestion décentralisée à travers les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). Ces SDAGE ont été approuvés sur l'ensemble du territoire métropolitain en 1996 et sont entrés en application depuis. La politique nationale s'inscrit de plus en plus dans le contexte européen : l'adoption de la directive cadre sur l'eau du 23 octobre 2000 est un élément fondateur pour la gestion de l'eau en France dans les prochaines années.

Des opérations de préservation, de protection des ressources en eau et de satisfaction des usages sont mises en œuvre à l'échelon local par unité hydrographique cohérente. Il s'agit des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), des contrats de rivière, de baie, de nappe, des contrats ruraux, de bassin versant, autant d'instruments de planification d'initiative locale. Ces opérations intégrées peuvent être menées à l'initiative des agences de l'eau, des collectivités locales et portées principalement par des groupements de communes (syndicats de rivière, ...) ou encore des commissions locales de l'eau dans le cas des SAGE.

Après une phase de concertation et de débats qui a duré près de deux ans, le Sénat a adopté en deuxième lecture le 11 septembre 2006 (l'Assemblée Nationale le 30 mai

2006 en première lecture) un projet de loi sur l'eau et les milieux aquatiques. Ce projet a notamment pour objectif :

- de donner à l'administration, aux collectivités territoriales et aux acteurs de l'eau en général, les outils pour reconquérir la qualité des eaux et atteindre en 2015 les objectifs de bon état écologique (fixés par la DCE)
- et retrouver une meilleure adéquation entre ressources en eau et besoins dans une perspective de développement durable des activités économiques utilisatrices d'eau.

Certains critères de qualité des ESO requis par la DCE et complétant ceux déjà établis dans la DCE sont donnés dans la circulaire nationale DCE 2006/18 du 21 décembre 2006.

### **3.3. LA PREVENTION DES POLLUTIONS DES SITES INDUSTRIELS**

Dans le cadre de la DCE, toutes les informations relatives aux Installations Classées et aux pollutions ponctuelles éventuellement associées (rejets, vulnérabilité des nappes, sites soumis à surveillance, sites identifiés comme (potentiellement) pollués, prélèvements dans les nappes et cours d'eau...) sont prises en compte lors de la mise en place des différents programmes nationaux de surveillance des eaux de surface et souterraines. On notera à ce sujet que le « Cahier des charges pour l'évolution des réseaux de surveillance des eaux souterraines » (Circulaire DCE 2005/14 relative à la surveillance des eaux souterraines en France) indique différentes manières de prendre en compte des pollutions ponctuelles dans les programmes de surveillance. Par ailleurs, la DPES traite des cas particuliers des pollutions ponctuelles et panaches associés, lesquels doivent faire l'objet de vérification particulière sur l'absence d'« extension » ou l'absence de « dégradation » des masses d'eau souterraine.

Afin de prévenir toute atteinte du milieu, et lorsqu'on n'a pas pu l'éviter, pour en limiter les effets, toutes les actions coordonnées entre DRIRE, DIREN<sup>6</sup>, DDASS, Agences de l'Eau et autres acteurs, s'appuient sur les outils réglementaires et méthodologiques disponibles :

- réglementation générale sur les Installations Classées, dont le bilan quadriennal,
- l'arrêté ministériel de 1998, et les articles 65-a (activités visées) et 65-b (cas de risque de pollution avec sensibilité ou vulnérabilité des eaux souterraines),
- l'outil BASOL<sup>7</sup>,
- le programme de bancarisation dans ADES<sup>8</sup> des données relatives à la qualité des ESO au droit des Installations Classées.

---

<sup>6</sup> DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

<sup>7</sup> BASOL : Base de données des sites faisant l'objet d'une action de la part des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. <http://basol.ecologie.gouv.fr>

<sup>8</sup> ADES : Banque d'Accès aux Données des Eaux Souterraines. [www.ades.eaufrance.fr](http://www.ades.eaufrance.fr)

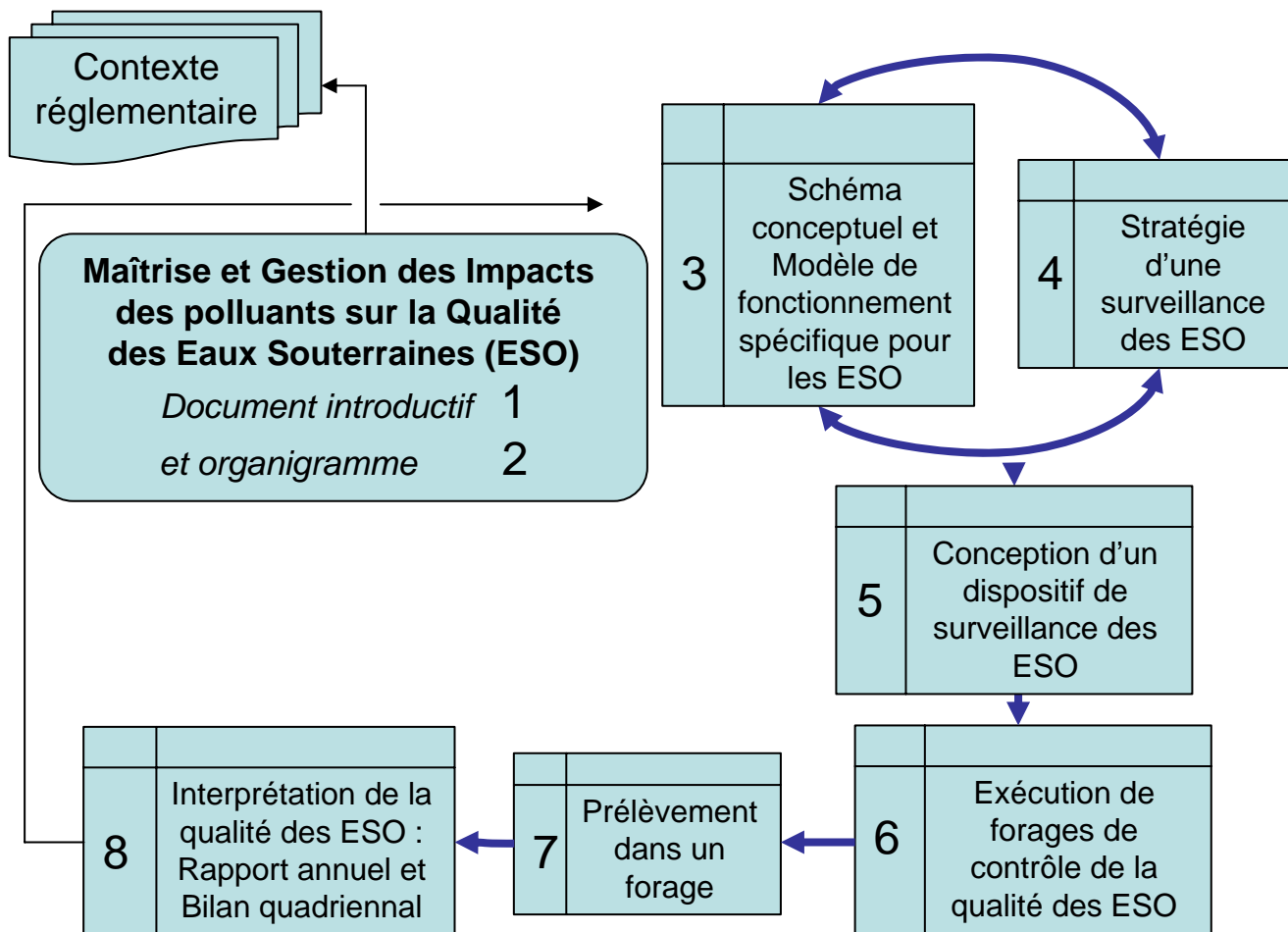
## 4. Bibliographie

- [1] AFNOR (1999) – Méthode de détection et de caractérisation des pollutions : Réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué – Fascicule de documentation FD X 31-614 (octobre 1999).
- [2] AFNOR (2000) – Méthode de détection et de caractérisation des pollutions : Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage – Fascicule de documentation FD X 31-615 (décembre 2000).
- [3] BRGM (1997) – Conception d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines au droit d'un centre de stockage de déchets, ultimes ou non – Guide méthodologique – Documents du BRGM n° 273.
- [4] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (2000) – Classeur relatif à la « Gestion des sites (potentiellement) pollués », Version en vigueur en 2006
- [5] Callier L., Charbonnier P., (2000) - Remblaiement de gravières, carrières et plans d'eau - Critères d'appréciation des demandes d'autorisation et contrôles à mettre en œuvre - Application en Lorraine et en Champagne-Ardenne pour la partie du bassin Rhin-Meuse la concernant – Rapport BRGM/RP-50111-FR, 79 pages, 3 figures, 6 tableaux, 4 annexes.
- [6] Commissariat général au plan (2001) – La politique de préservation de la ressource en eau destinée à la consommation humaine, Rapport d'évaluation (Franck Villey-Desmeserets, Denis Ballay, Caroline Henry de Villeneuve, Dominique Tricard, Philippe Le Lourd)
- [7] Guyonnet D. (1994) - L'estimation, à l'aide d'abaques, des temps de transfert de polluants à travers les barrières peu perméables. BRGM/Direction de la Recherche - Rapport ANTEA n° A01785 de décembre 1994 - 27 p. ; 6 fig. ; 1 tabl. ; bibliographie.
- [8] IFEN (2005) Les prélèvements d'eau par ressource et par usage, données 2002 (source Internet / agences de l'Eau - RNDE - Ifen, mars 2005)
- [9] Johnson R. Cherry J., Pankow J., (1989) – Diffusive contaminant in natural clay: a field example and implication for clay-lined waster disposal sites – Environment Science and Technology, 1989, vol. 23, p. 340.
- [10] Lemièrre B., Seguin J.J., Baranger Ph., Le Guern C., Guyonnet D., Saada A. avec la collaboration de Darmendrail D., Conil P., Bodenan F. (2006) - Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Applications dans un contexte d'E.D.R. Eau – Document BRGM 2008.
- [11] Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales - Fonds national pour le développement des adductions d'eau (2000) – Situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement des communes rurales en 2000, Synthèse nationale et résultats départementaux
- [12] Ministère de la Santé et des Solidarités (2004) L'eau potable en France, 2002-2004, Guide technique Eau et Santé

- [13] Museum National d'Histoire Naturelle (2005) – La prise en compte par la France des polluants chimiques et d'origine microbiologique présents dans les eaux dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau
- [14] Nielsen D.M., Yeates G.L. (1991) - Practical handbook of groundwater monitoring. Nielsen (Ed. à Lewis Publishers, NWWA).
- [15] Office parlementaire d'évaluation des choix scientifique et technologique (2003) – Rapport sur la «la qualité de l'eau et de l'assainissement en France», Rapport 215 tome 1 (2002-2003).
- [16] Shackelford (1988) – Diffusion as a transport process in fine-grained barrier materials – Geotechnical News, 1988, vol. 6, pp. 24-27.



## 2 – Organigramme des guides



## Outils complémentaires

- Catalogue des différents contextes hydrogéologiques susceptibles d'être rencontrés
- Recherche de l'origine de pollution(s) dans les ESO
- Comportement des polluants dans le milieu naturel
- Modélisation hydrodynamique et hydrodispersive
- Dispositif de surveillance de la qualité des ESO pour les sites multiples
- Surveillance de la qualité des ESO au droit des installations classées en milieu karstique

### **III - Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement relatif au milieu « eaux souterraines » (ESO)**

**NB :** Le guide déjà existant sur le "**schéma conceptuel - modèle de fonctionnement**" étant général pour l'ensemble des milieux à considérer lors d'un diagnostic, et le document rédigé ci-après sur ce même thème étant spécifique au milieu des eaux souterraines (ESO), il est apparu plus pertinent de le laisser dans ce guide « **Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO)** » où il constitue un ensemble cohérent.

Il sera alors nécessaire, et plus simple, de rajouter dans le guide général une phrase priant le lecteur de se référer pour le « modèle de fonctionnement relatif au milieu « eaux souterraines » au guide spécifique des ESO.



# Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Définition du modèle de fonctionnement.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Objet général et contenu du modèle de fonctionnement .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Enjeux et contraintes sur la qualité des ESO .....</b>	<b>7</b>
4.1. LES ENJEUX SANITAIRES OU ENVIRONNEMENTAUX LIES A L'EAU .....	7
4.1.1. Les enjeux sanitaires .....	7
4.1.2. Les enjeux environnementaux .....	8
4.2. DISTINCTION DES SITUATIONS SUR SITE ET HORS SITE.....	8
4.3. LES CONTRAINTES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES.....	9
<b>5. Déclencheurs d'action .....</b>	<b>10</b>
5.1. PRINCIPES.....	10
5.2. EXEMPLES.....	10
5.2.1. Cas d'une pollution des sols n'ayant pas atteint la nappe. ....	10
5.2.2. Cas d'un panache de pollution.....	10
5.2.3. Cas d'une pollution à proximité d'un captage .....	10
5.3. CONCLUSIONS SUR LES DECLENCHEURS D'ACTION.....	10



# 1. Introduction

La question du **modèle de fonctionnement** (cf. Site du MEDAD<sup>1</sup>) se pose après une phase de diagnostic, après une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM), ou pour préparer un plan de gestion ou des travaux destinés, soit à maîtriser les sources de pollution et/ou les impacts associés, soit à mettre en conformité l'état des milieux avec leurs usages.

Au stade de l'élaboration du modèle de fonctionnement, le schéma conceptuel, défini dans le guide du MEDAD (Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement. Ministère de l'Ecologie, de l'Aménagement et du Développement durables. Version 0. Février 2007) est déjà en place et une surveillance des milieux est nécessairement requise.

En matière de « sites et sols (potentiellement) pollués », **ce « modèle de fonctionnement »** va constituer la trame générale pour l'interprétation des résultats d'analyse et la gestion de la situation.

# 2. Définition du modèle de fonctionnement

Le modèle de fonctionnement est défini à l'annexe 2 (p 9) de la lettre ministérielle du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués – Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués.

Alors que le schéma conceptuel est un **constat** du fonctionnement du système à un moment donné, le modèle de fonctionnement inclut un aspect **dynamique et interprétatif**.

Le schéma conceptuel décrit comment le site et les pollutions interagissent dans l'environnement existant. Le modèle de fonctionnement pose les hypothèses de l'évolution future, laquelle peut être naturelle ou conditionnée par la bonne mise en œuvre des travaux qui seront entrepris.

Le modèle de fonctionnement prend donc en compte :

- Les évolutions constatées et attendues des pollutions (dispersion, diffusion, dégradation ...)
- les actions de maîtrise de ces pollutions (sources et impacts) décidés au regard du bilan « coûts-avantages » (plan de gestion).

**Le modèle de fonctionnement comporte donc obligatoirement une dimension prédictive.**

---

<sup>1</sup> [www.site-pollues.ecologie.gouv.fr](http://www.site-pollues.ecologie.gouv.fr)

### 3. Objet général et contenu du modèle de fonctionnement

**Pour les eaux souterraines, dès lors qu'un constat de dégradation de la qualité est dressé**, différentes actions de maîtrise des sources de polluant et/ou de maîtrise des impacts doivent être mises en œuvre et accompagnées d'un suivi de leur efficacité : **c'est l'objet du plan de gestion**. Celui-ci définit les actions à engager **en fonction d'enjeux sanitaires et environnementaux établis au préalable et identifiés par le schéma conceptuel**.

Compte tenu que les évolutions, notamment celles des concentrations en polluants apparaissent souvent variables dans l'espace (en fonction du comportement des polluants et des secteurs concernés) et progressifs dans le temps (compte tenu de la nature du milieu), **un modèle de fonctionnement évolutif précisant l'objectif final à atteindre doit être établi**. Ce modèle pourra évidemment être modifié au fil de l'acquisition des résultats analytiques et des actions correctives qu'ils auront pu déclencher, afin d'atteindre les objectifs initialement demandés.

Ce modèle de fonctionnement constitue en quelque sorte le « canevas » auquel faire référence en termes d'évolution progressive attendue des polluants. Outre l'interprétation régulière et annuelle des résultats de la surveillance, un bilan spécifique des résultats et du dispositif de surveillance doit être réalisé tous les 4 ans : c'est l'objet du bilan quadriennal.

En pratique, l'élaboration du modèle de fonctionnement :

- prend en compte les enjeux sanitaires et environnementaux ;
- rappelle les actions (passées, en cours ou envisagées), de maîtrise des sources et des impacts sur la base desquelles l'évolution de la qualité des eaux a été établie (plan de gestion : enlèvement des polluants « sources », traitements appliqués, substances ou polluants visés...) ;
- précise les polluants prioritaires retenus : on retiendra qu'il faut aussi intégrer les polluants les moins mobiles et les plus persistants (et non uniquement les éléments les plus mobiles qui sont pris en compte pour définir la fréquence des prélèvements) ;
- indique la nature des polluants et des milieux concernés (l'évolution envisagée intégrant les temps de transfert, dans la Zone Non Saturée<sup>2</sup> à l'aplomb de la zone polluée et dans la Zone Saturée<sup>3</sup>, entre la source polluante et les forages de surveillance) ;
- indique les éléments de comparaison à prendre en compte, tels que la qualité des eaux de la nappe avant exploitation du site (si elle est connue), la qualité des eaux analysée en amont hydraulique<sup>4</sup> du site à surveiller, afin de distinguer les

---

<sup>2</sup> Zone non saturée (ZNS) : zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe.

<sup>3</sup> Zone saturée (ZS) : zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant, une nappe d'eau souterraine.

<sup>4</sup> Amont hydraulique : en amont par rapport au sens d'écoulement de la nappe.

fluctuations saisonnières ou naturelles, ou une contamination venant de l'amont, sous réserve que le point d'eau concerné soit bien hors influence du site ou de la pollution étudiée ;

- rappelle les critères de qualité identifiés comme applicables (critères réglementaires ; critères spécifiques ; bruit de fond ou seuils en dessous desquels il y a adéquation entre les usages et la qualité du milieu, ou tout autre référentiel pertinent souhaité par les services compétents ...) ;
- décrit l'évolution progressive, en termes d'amélioration attendue, de la qualité des eaux (pour les différentes substances et les différents milieux concernés) à laquelle les résultats seront comparés ;
- identifie les principales incertitudes associées aux évolutions attendues (incertitudes liées aux techniques de gestion des pollutions mises en œuvre, à la connaissance des milieux et des polluants, tendances et fluctuations).

Au-delà, le « modèle de fonctionnement » doit aussi, proposer des « critères » en termes de seuils d'alerte et de déclenchement à partir desquels des actions particulières pourraient être déclenchées. Ces « déclencheurs d'action » sont définis comme des observations qui ne sont pas conformes au modèle de fonctionnement.

Ces événements appellent donc à une correction du modèle de fonctionnement et à une mise à jour de l'évolution attendue de la situation. Si cette évolution s'avère incompatible avec les objectifs déterminés au regard des usages et des enjeux (sanitaires ou environnementaux), alors des actions de corrections devront être menées.

Le modèle de fonctionnement est ainsi un concept dynamique évoluant en fonction des résultats de la surveillance.

## **4. Enjeux et contraintes sur la qualité des ESO**

Globalement l'évaluation de la qualité des eaux souterraines (ESO) doit être conduite au regard **d'enjeux sanitaires et environnementaux**. **Ce chapitre vise à rappeler ces notions.**

### **4.1. LES ENJEUX SANITAIRES OU ENVIRONNEMENTAUX LIES A L'EAU**

Les eaux souterraines dans leur ensemble constituent un enjeu au regard des préoccupations sanitaires et environnementales.

Les enjeux sanitaires sont liés à des usages constatés des eaux.

Les enjeux environnementaux sont liés à la nécessité de préserver le milieu naturel.

#### *4.1.1. Les enjeux sanitaires*

Ces enjeux sont liés à des usages soit constatés, soit expressément prévus dans le cadre d'un plan de gestion.



Ils comprennent tous les points d'usages connus ou recensés sur un aquifère ou sur un cours d'eau (captages AEP<sup>5</sup>, puits de particulier, etc.) que ceux-ci soient déclarés ou non, y compris le cône d'appel<sup>6</sup> des ouvrages concernés et la zone couverte par les périmètres de protection lorsqu'ils existent. Ces enjeux constituent la notion de « zone d'usages avérés ».

#### 4.1.2. Les enjeux environnementaux

Ils comprennent tout d'abord, les futures ressources en eau (souterraines ou superficielles) liées à des usages inscrits dans des documents administratifs (SAGE<sup>7</sup>), (SDAGE<sup>8</sup>), etc.).

Ils comprennent aussi les milieux naturels qu'il convient de protéger soit au regard des réglementations nationales ou des directives européennes (Directive cadre sur l'eau (DCE), ...), soit parce que leur qualité non dégradée nécessite d'être préservée, soit que leur qualité déjà dégradée nécessite de ne pas l'être davantage.

A défaut de connaître, *a priori*, tous les documents administratifs existants, ou à venir, relatifs à la définition des objectifs de qualité à respecter ou des usages sanitaires et environnementaux de toutes les nappes potentiellement concernées, il faudra utilement se rapprocher :

- de l'agence de l'eau concernée : SAGE, SDAGE, SEQ Eau<sup>9</sup> visé par la circulaire ministérielle du 10 juin 1999, ...,
- des services de l'état concernés par la police de l'eau ou l'environnement (DDASS<sup>10</sup>, DDE<sup>11</sup>, DIREN<sup>12</sup>, DRIRE<sup>13</sup>...) : normes AEP, circulaires ministérielles, contrats consensuels particuliers, arrêtés préfectoraux (y compris ceux relatifs à la sécheresse, aux zones vulnérables, aux biotopes, ...),
- des mairies des communes concernées,
- des associations représentant les usagers ...,

## 4.2. DISTINCTION DES SITUATIONS SUR SITE ET HORS SITE

**Une distinction doit être faite entre les secteurs situés au droit d'une Installation Classée (*i.e.* dans les limites de propriété de l'exploitation) et les secteurs, publics ou privés, situés en dehors des limites de propriété.**

---

<sup>5</sup> AEP : Alimentation en Eau Potable

<sup>6</sup> Cône d'appel : zone de la nappe dont le niveau est abaissé par les opérations de pompage et qui forme un cône pointe en bas autour du captage

<sup>7</sup> SAGE : schémas d'aménagement et de gestion des eaux

<sup>8</sup> SDAGE : schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux

<sup>9</sup> SEQ EAU : Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux

<sup>10</sup> DDASS : Direction Départementale des Actions Sanitaires et Sociales

<sup>11</sup> DDE : Direction Départementale de l'Equipement

<sup>12</sup> DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

<sup>13</sup> DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

Dans le cas d'une pollution existante constatée des eaux souterraines, associée à la démonstration par un bilan coûts/avantages de l'impossibilité de maîtriser complètement certaines sources ou impacts, le propriétaire d'un site industriel peut décider d'éventuelles restrictions d'usages des eaux souterraines. Ces restrictions s'appliqueront pour lui même au droit des terrains dont il a la maîtrise foncière dans le cadre de ses activités actuelles et futures.

On notera cependant que la maîtrise foncière, donc des terrains, n'impliquant pas la maîtrise du sous-sol, le propriétaire du site n'a pas nécessairement la maîtrise complète des usages potentiels à venir des eaux souterraines au droit de sa propriété. Par ailleurs, le propriétaire ou exploitant n'a aucune maîtrise des terrains, publics ou privés, situés en dehors des limites de propriété d'une Installation Classée. Si ces terrains sont aussi susceptibles de faire l'objet de restrictions d'usages en fonction de la pollution constatée des eaux souterraines, ces restrictions seront décidées par les administrations compétentes en fonction de chaque situation spécifique et au regard des bilans coûts/avantages exposés.

Il est utile de rappeler que l'existence de restriction d'usage sur une ressource en eau, où un panache de polluant aurait été constaté, n'exclut pas de rechercher à maîtriser à la fois les sources de ces polluants et leurs impacts.

#### **4.3. LES CONTRAINTES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES**

Selon la situation constatée et identifiée au moment des études (extension de la pollution, nature du milieu, actions possibles), les actions à envisager seront variables. Ainsi, on visera à protéger la nappe au droit même de la source de pollution, si les polluants ne l'ont pas encore atteint. On vise donc la protection de la ressource dans son ensemble, et non de certains secteurs spécifiques seulement.

Néanmoins, le niveau de qualité « recherché » pourra être adapté en fonction du niveau de dégradation existant dans la nappe (avant la mise en place de l'Installation Classée et/ou en amont hydraulique) et des enjeux identifiés.

**Ainsi, en cas d'impossibilité à maîtriser complètement les sources de pollutions ou à résorber leurs impacts (et sous réserve de démonstration par un bilan coût/avantages),** on cherchera à protéger la qualité des eaux sur les secteurs non impactés par les polluants au moment des études. Ces secteurs pourront se situer :

- en dedans des limites de propriété du site, si le panache de polluants ne s'étend pas au-delà. Des éventuelles restrictions d'usage pourront par ailleurs être envisagées à l'intérieur des limites de propriété en fonction de la compatibilité évaluée usages/état des milieux ;
- hors des limites de site et en aval hydraulique du front de pollution identifié. Comme précédemment, il faudra aussi envisager la mise en place de restrictions d'usage dans les secteurs impactés et pour lesquels la comptabilité usage – état des milieux ne serait pas assurée.

## 5. Déclencheurs d'action

### 5.1. PRINCIPES

Dans le contexte d'un problème identifié de pollution avec mise en œuvre d'un plan de gestion, l'interprétation et la restitution des données doit se faire sur la base d'un modèle de fonctionnement relatif à la qualité des eaux souterraines.

Associés au modèle de fonctionnement, les déclencheurs d'action sont des événements qui apparaissent en contradiction avec les prédictions ou évolutions attendues de la pollution.

### 5.2. EXEMPLES

Les exemples présentés ci-dessous ne constituent pas une liste exhaustive.

#### 5.2.1. *Cas d'une pollution des sols n'ayant pas atteint la nappe.*

Dans ce cas, en règle générale, le modèle de fonctionnement prévoit que les polluants ne seraient pas mobiles et n'atteindront pas la nappe : tout prélèvement décelant du polluant (même à faible concentration) dans l'eau constitue un déclencheur d'action.

#### 5.2.2. *Cas d'un panache de pollution*

Le modèle de fonctionnement prédit une évolution de ce panache. Le déclencheur d'action est une observation qui n'est pas en accord avec les prédictions : apparition de polluants là où on ne les attendait pas, augmentation des concentrations où l'on attendait une diminution etc.... Cela suppose de disposer de forages de contrôle de la qualité des eaux souterraines en dehors des limites du panache de polluant.

#### 5.2.3. *Cas d'une pollution à proximité d'un captage*

L'hypothèse du modèle de fonctionnement est que le cône d'appel d'un captage AEP est suffisamment éloigné du panache de polluants pour ne pas risquer d'être pollué par ce dernier, ce qui évitera de fermer le captage. La surveillance portera alors sur l'évolution piézométrique<sup>14</sup>, destinée à délimiter le cône d'appel du captage, et sur la qualité des eaux souterraines pour définir l'enveloppe du panache de polluant. Dans ces conditions, le déclencheur d'action peut être une extension du cône d'appel trop proche des zones polluées.

---

<sup>14</sup> Piézométrie : mesure de la cote altimétrique de la surface de l'eau de la nappe, à la pression atmosphérique

### 5.3. CONCLUSIONS SUR LES DECLENCHEURS D’ACTION

Il apparaît donc que les déclencheurs d'action, s'ils sont souvent exprimés, *in fine*, sous forme de valeurs de concentrations anormales, ne sont pas systématiquement ou uniquement des seuils numériques. Il s'agit de données mesurées qui ne sont pas en accord avec les prédictions du modèle de fonctionnement.

Il importe dans tous les cas que les déclencheurs d'action définis pour le site concerné puissent garantir à la fois :

- la détection précoce et la mise en place d'un mode de suivi de toute baisse significative de la qualité des eaux souterraines ;
- le respect de l'objectif de qualité en aval hydraulique des forages de contrôle dans le délai nécessaire à la mise en œuvre d'une intervention ;
- la réversibilité de la tendance d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines après mise en œuvre du plan d'intervention.

Pour anticiper les possibles difficultés ou problèmes, une réflexion préalable doit être engagée sur les mesures à mettre en œuvre en cas d'apparitions d'impacts significatifs et déclencheurs d'actions, et ce au moment de l'établissement du modèle de fonctionnement.

Dans tous les cas, le modèle de fonctionnement devra être revu et adapté aux résultats des mesures.

## **IV – Stratégies de surveillance de la qualité des eaux souterraines (ESO)**



# Sommaire

<b>1. Constats et principes</b> .....	5
1.1. CONSTATS .....	5
1.2. PRINCIPES : LES 3 PILIERS DE LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES ESO .....	5
<b>2. La réflexion amont (cadrage préalable)</b> .....	6
2.1. ELEMENTS JUSTIFICATIFS.....	6
2.2. ANALYSE DU CONTEXTE <i>A PRIORI</i> OU <i>A POSTERIORI</i> DE LA SURVEILLANCE DES ESO ET FINALITES RESPECTIVES.....	7
2.2.1. La surveillance a priori .....	7
2.2.2. La surveillance a posteriori, .....	8
2.3. LES OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES ESO.....	10
2.4. LES DIVERS OBJECTIFS DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE MIS EN PLACE .....	10
2.5. LES DECLENCHEURS D’ACTION .....	12
2.6. LES BESOINS A METTRE EN PLACE .....	12
2.7. MODALITES DE RESTITUTION, INTERPRETATION ET VALORISATION DES DONNEES.....	13
<b>3. Définition de l’étape technique</b> .....	14
3.1. GENERALITES ET RECOMMANDATIONS.....	14
3.2. Les réseaux de forages .....	14
<b>4. Présentation des résultats</b> .....	15
<b>5. Annexe : les réseaux de forages destinés à évaluer la qualité des ESO</b> .....	16

## **Table des figures**

Figure 1 - Schéma général des principaux types de réseaux de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine .....	16
Figure 2 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type A destiné à la détection d'éventuels polluants dans les eaux souterraines .....	17
Figure 3 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type B(1) destiné à suivre l'évolution <i>sur site</i> d'un panache de polluants dans les eaux souterraines .....	17
Figure 4 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type B(2) destiné à suivre l'évolution <i>hors site</i> d'un panache de polluants dans les ESO .....	18
Figure 5 - Schéma de principe d'un réseau d'alerte dans la zone d'alimentation en eaux souterraines d'un point d'exposition à protéger .....	18



# 1. Constats et principes

## 1.1. CONSTATS

L'examen de nombreuses situations, où le dispositif mis en place n'a pas apporté les réponses espérées, met en évidence que la démarche de surveillance de la qualité des eaux souterraines au droit ou à proximité d'une installation potentiellement polluante nécessite :

- non seulement la mise en œuvre et application des règles de l'art et normes, en matière d'étude hydrogéologique, d'implantation et de réalisation des forages, de prélèvements et d'analyse ;
- mais aussi, une identification suffisante et préalable des objectifs et des besoins ;
- ainsi qu'une interprétation et une mise en perspective des données dans le cadre du schéma conceptuel et du modèle de fonctionnement.

## 1.2. PRINCIPES : LES 3 PILIERS DE LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES ESO

Pour être bien conçue, la démarche destinée à apprécier la qualité des eaux souterraines, doit comprendre les trois aspects ci-après (cf. § 2, 3 et 4).

**1 – Une réflexion « en amont »** (cf. §2) qui doit porter sur :

- **les éléments justificatifs** (cf. §2.1) de sa mise en place dans le contexte industriel et/ou environnemental concerné, et **une analyse du contexte et des finalités** (cf. §2.2) en termes de protection et/ou d'amélioration de la qualité des eaux souterraines. Ces éléments sont à rechercher dans le **schéma conceptuel / modèle de fonctionnement** ;
- **une identification des objectifs** (cf. §2.3 et 2.4) **et la définition de déclencheurs d'actions** (cf. §2.5) : souhaits de compréhension ou de connaissance, actions à engager assorties de concentrations à respecter ou à atteindre, voire de communication publique à envisager ;
- **la déclinaison en besoins** (cf. §2.6) : techniques, procédures, protocoles, ... précis ;
- **la définition des modalités de restitution des résultats** (cf. §2.7), en cohérence avec le modèle de fonctionnement, les objectifs à atteindre en termes de qualité ou de facilité de compréhension des phénomènes.

**2 – Une étape technique** (cf. § 3) qui implique la conception du dispositif de surveillance et sa mise en place. Cette étape couvre les aspects relatifs à l'hydrogéologie, aux polluants potentiels, au réseau de forages, aux caractéristiques des ouvrages, au programme de prélèvements et d'analyses. Ce dispositif répondant aux besoins doit permettre de satisfaire aux objectifs définis.

**3 – Une présentation « en aval »** (cf. § 4) qui doit permettre **une restitution et une valorisation** des résultats, à faire selon les modalités qui ont été définies, au moins dans les grandes lignes, dès l'amont, conforme au schéma conceptuel / modèle de fonctionnement, laquelle peut s'accompagner d'une éventuelle communication publique.

Ainsi, **les composantes** de la surveillance de la qualité des eaux souterraines sont les suivantes :

- obtention de données pertinentes (mise en place d'un dispositif adéquat permettant l'acquisition de résultats d'analyses) ;
- évaluation de la qualité des ESO dans leur ensemble (interprétation des données et de leurs variations et mise en perspective au regard de critères préalablement établis) ;
- orientation et aide à la mise en œuvre nécessaire d'un plan de gestion afin de prévenir toute dégradation, de limiter un impact ou d'améliorer la qualité des ESO (au besoin).

Par ailleurs, les **conditions d'obtention des données** sont toujours les suivantes :

- les données acquises doivent être documentées en termes de conditions d'acquisition (mode de prélèvement, échantillonnage, transport et analyse) ;
- les données doivent aussi être représentatives de ce qu'on souhaite caractériser : il peut s'agir :
  - **de la pollution** : on cherchera alors en général toute trace de polluant (même à faible concentration), sans homogénéisation de l'eau dans le forage afin d'éviter toute dilution des éventuels polluants, dès lors qu'on souhaite connaître le plus tôt possible une éventuelle défaillance du système de prévention, et prévenir un impact sur une nappe ;
  - **de la nappe** : on cherchera alors, pour le secteur concerné, à caractériser l'état général du milieu. Les conditions de prélèvement dépendront du contexte environnemental et donc des critères de comparaison (état initial, contraintes de qualité liées aux usages de l'eau, objectifs environnementaux de qualité des milieux -eaux de surface, zones protégées...).

Ainsi, toute démarche d'évaluation de la qualité de l'eau et de son suivi (surveillance) doit être **conçue et gérée** sur la base du couple « Acquisition de données » et « Utilisation des résultats ».

## 2. La réflexion amont (cadrage préalable)

L'objet de ce chapitre est de préciser les différents éléments de réflexion à conduire en amont de la mise en place du dispositif de surveillance.

### 2.1. ELEMENTS JUSTIFICATIFS

Au regard des enjeux, qu'il s'agisse d'enjeux humains (liés aux usages de eaux) ou d'enjeux environnementaux (liés à des objectifs de préservation de la qualité des

milieux naturels), la multiplicité des situations faisant état d'une pollution (cas avérés), ou faisant craindre une pollution (cas potentiels), justifie pleinement la mise en place de dispositifs permettant l'évaluation de la qualité des eaux souterraines.

## **2.2. ANALYSE DU CONTEXTE *A PRIORI* OU *A POSTERIORI* DE LA SURVEILLANCE DES ESO ET FINALITES RESPECTIVES**

Pour les situations de pollutions ponctuelles potentielles (installations classées, friches industrielles, sites potentiellement pollués), **la surveillance de la qualité des eaux souterraines doit être différenciée selon deux contextes possibles de motivations :**

- **la surveillance *a priori*** (cf. 2.1.1 ci-après) : **dans ce contexte, la finalité des actions à engager dans un dispositif d'alerte est la protection de la qualité** des eaux souterraines (éviter qu'elles ne se dégradent, que des polluants soient présents ou non dans les sols, ou si elles le sont déjà, qu'elles ne se dégradent davantage<sup>1</sup> !).
- **la surveillance *a posteriori*** (cf. 2.1.2 ci-après) : **dans ce contexte, la finalité est l'amélioration de la qualité** de cette eau (contribuer à lui restaurer une qualité afin de la rendre apte à l'usage qui lui est dévolu, ou l'état qui était le sien avant qu'elle soit dégradée).

Selon le contexte, les modalités d'acquisition des données et les modalités d'interprétation de ces résultats seront variables.

Dans chacun de ces deux cas, la surveillance de la qualité des ESO se fonde sur un schéma conceptuel initial. Ce schéma devient ensuite modèle de fonctionnement, lequel peut évoluer en fonction des résultats acquis et des niveaux de connaissance et de compréhension atteints.

Il est aussi **nécessaire, d'anticiper et de prévoir, dans un plan de gestion**, quelles seraient les possibilités d'agir si des polluants venaient à être décelés dans les eaux souterraines (cas de la surveillance *a priori*), ou si les résultats de la surveillance ne confirmaient pas les prévisions du modèle de fonctionnement (cas de la surveillance *a posteriori*).

### **2.2.1. La surveillance *a priori***

Dans le contexte d'une installation en fonctionnement, le rôle des arrêtés d'exploitation est bien de préciser les différentes mesures et précautions nécessaires au regard des risques que l'installation représente pour les personnes et l'environnement.

---

<sup>1</sup> En aucun cas la mise en évidence d'une nappe déjà fortement dégradée, du fait de pollutions historiques par exemple, ne peut être un prétexte pour ne pas évaluer au travers un plan de gestion les mesures à prendre pour éviter toute dissémination de polluants dans les eaux ou toute dégradation complémentaire de la qualité des eaux.

Cependant, la défaillance des systèmes de protection et d'alerte en cas de dysfonctionnement, de fuite ou de déversement accidentel reste possible. En raison notamment des caractéristiques particulières des eaux souterraines (peu visibles, difficiles d'accès, à renouvellement lent, difficulté à résorber les pollutions...) la mise en place d'un dispositif permettant la détection « le plus tôt possible » d'une éventuelle pollution est primordiale. C'est l'objet même de la surveillance de la qualité des eaux souterraines en implantant des forages à l'amont et à l'aval immédiat de l'installation ou du site.

Dans ce cas, **le déclencheur d'action** sera l'apparition confirmée de polluant dans les eaux souterraines (même à faible concentration). Les actions à entreprendre sont alors de trois types :

- recherche de l'origine de la pollution dans l'installation, et mise en place de mesures correctives (maîtrise des sources et des impacts) ;
- élaboration d'un plan de gestion, au travers de l'analyse croisée des enjeux, des actions possibles et du fonctionnement du système (avec un bilan coût/avantage) ;
- la mise en œuvre du plan de gestion, pour une maîtrise des sources et une maîtrise des impacts.

**Par conséquent, pour les cas de surveillance *a priori***, l'exercice nécessite un cadrage préalable et une programmation (cf. 1.2). Ceci a notamment vocation à permettre l'élaboration d'un schéma conceptuel, de simple à complexe, qui sera le fondement du dispositif mis en place. Ce schéma conceptuel doit être établi sur la base d'une étude historique des activités du site (actuelles et passées) et sur une compilation documentaire relative au contexte hydrogéologique.

Cette étude et cette compilation doivent être menées selon les règles classiques dans le cadre d'un diagnostic, qui dans le cas d'une surveillance *a priori*, n'a pas forcément été engagé en préalable (et reste donc à faire).

Au fur et à mesure de la poursuite des mesures dans le sous sol et la nappe au droit du site et de ses environs, le schéma conceptuel sera précisé et deviendra éventuellement un modèle de fonctionnement dynamique (cf. document « Schéma conceptuel et Modèle de fonctionnement spécifique des ESO »).

### 2.2.2. La surveillance *a posteriori*,

La surveillance *a posteriori* intervient après la découverte d'une pollution des sols ou des eaux, à l'issue d'un diagnostic. Un schéma conceptuel est alors établi.

Le plan de gestion sur site (maîtrise des sources et des impacts) et l'Interprétation de l'Etat des Milieux hors site (pouvant elle aussi déboucher sur un plan de gestion), doivent permettre d'évaluer la comptabilité entre la qualité des milieux (éventuellement après traitement) et les usages qui en sont fait. En cas d'inadéquation, il faut alors engager les actions correctives nécessaires lesquelles seront mises en place au regard du bilan coût/avantages.

Dans ce contexte, la seule surveillance n'est pas la réponse adaptée. Elle permet cependant d'acquérir des données qui, une fois interprétées et mises en perspectives, peuvent :

- permettre de mieux connaître et comprendre la situation (et affiner le modèle de fonctionnement au besoin) ;
- orienter les actions de gestion, voire conforter les décisions prises ;
- vérifier que la situation évolue conformément aux prévisions du modèle de fonctionnement.

Selon les sites, la surveillance *a posteriori* aura pour but de vérifier un ou plusieurs des aspects ci-après (liste non exhaustive), dès lors qu'ils correspondent à des points clés du modèle de fonctionnement ou d'un plan de gestion :

- L'évolution des concentrations dans les eaux souterraines, qui devraient diminuer au droit du site, en raison d'actions menées sur les sources primaires ;
- L'évolution des concentrations dans le panache de polluants dont l'extension n'aurait pas pu être maîtrisée aux limites du site ;
- L'évolution des pompages d'eau dans les forages voisins, notamment si des augmentations des débits sont prévues ou prévisibles, ce qui pourrait générer une extension des cônes d'appel<sup>2</sup> des forages et une déviation des eaux polluées... ;
- Les évolutions saisonnières des concentrations et de la piézométrie<sup>3</sup>, en particulier lors des situations de basses eaux combinées à des demandes de prélèvement importantes. Cela suppose donc de disposer d'un réseau de piézomètres<sup>4</sup>, et de procéder à des relevés systématiques qui permettront d'établir un référentiel « normal » et à des relevés dictés par les conditions météorologiques et hydrogéologiques. ;
- L'efficacité d'une barrière hydraulique, soit naturelle (présence d'une rivière entre le site et un captage AEP<sup>5</sup>), soit anthropique (pompages hydrauliques, barrière réactive, ... ) ;
- ...

Les résultats de la surveillance permettront de valider les prévisions du modèle de fonctionnement et/ou de le corriger, et donc d'en améliorer la fiabilité.

**Par conséquent, pour les cas de surveillance *a posteriori***, la phase de réflexion doit s'appuyer sur les diagnostics menés en amont. Ces diagnostics doivent comporter systématiquement l'étude historique des activités du site (actuelles et passées ; leurs procédés industriels ainsi que les produits associés) du site et la compilation documentaire relative au contexte hydrogéologique à son aplomb. C'est sur la base du premier schéma conceptuel établi à l'issue du diagnostic qu'un réseau de forages pourra être implanté de façon optimale. Au fur et à mesure de la poursuite des investigations dans le sous sol et la nappe au droit du site et de ses environs, le schéma conceptuel sera précisé et deviendra un modèle de fonctionnement (cf. document « Schéma conceptuel et Modèle de fonctionnement spécifique des ESO »).

---

<sup>2</sup> Cône d'appel : zone de la nappe dont le niveau est abaissé par les opérations de pompage et qui forme un cône pointe en bas autour du captage

<sup>3</sup> Piézométrie : mesure du niveau de la nappe

<sup>4</sup> Piézomètre : dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un aquifère

<sup>5</sup> Captage AEP : Captage d'Alimentation en Eau Potable

## 2.3. LES OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE LA SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES ESO

En premier lieu les objectifs et les contraintes de la surveillance des ESO visent la qualité et les délais dans lesquels cette qualité doit être atteinte. Cela nécessite la mise en place d'un dispositif de surveillance qui a lui même ses propres objectifs.

La surveillance de la qualité des eaux souterraines mise en place est donc associée à :

- des **objectifs de qualité des ESO** : il peut s'agir d'objectifs liés à des enjeux environnementaux (non-dégradation<sup>6</sup>, restauration de la qualité) et sanitaires (préserver ou retrouver une qualité conforme aux usages actuels ou prévus dans le cadre d'un plan de gestion). Ces enjeux sont rappelés au chapitre 4 du document n° 3 relatif au « modèle de fonctionnement spécifique au milieu des ESO » ;
- des **contraintes de délais** : la qualité devra ainsi être préservée là où elle est jugée satisfaisante, et ce sans limites de délais. Au contraire, la qualité devra progressivement être restaurée sur les secteurs impactés, mais dans des délais fonction des pollutions, du milieu et des actions entreprises ;
- **des objectifs du dispositif de surveillance mis en place** (cf. 2.4) : en termes de « contrôle », « compréhension », « connaissance », « suivi », ... de l'évolution des concentrations, de la piézométrie,..., lesquels vont permettre de tendre vers les finalités de préservation ou d'amélioration de la qualité des ESO.

Ces objectifs de qualité et ces contraintes de délais doivent être clairement indiqués dans le schéma conceptuel puis dans le modèle de fonctionnement.

## 2.4. LES DIVERS OBJECTIFS DU DISPOSITIF DE SURVEILLANCE MIS EN PLACE

Au-delà des objectifs de qualité des ESO et des contraintes de délai et quel que soit le contexte *a priori* ou *a posteriori*, le dispositif de la surveillance de la qualité des eaux souterraines peut être associé à des objectifs différents, complémentaires parfois les uns des autres :

- 1) **Le contrôle** : le dispositif est alors un outil, ponctuel dans le temps, visant à établir (constater) la présence ou non de polluants dans les ESO. L'interprétation qui est faite des résultats demeure limitée et peu fiable ; elle reste donc indicative, n'étant représentative que de la situation au moment même du constat. Elle nécessiterait impérativement une confirmation dans la durée ;
- 2) **Le suivi** : le suivi s'exerce de façon répétée et continue sur la durée. Il intègre donc la dynamique des eaux souterraines et des polluants contenus. Les données acquises doivent l'être dans des conditions similaires afin de pouvoir être comparées (conditions de prélèvement, de conditionnement et d'analyse). Dans le cas des installations classées, il s'agit d'un outil de prévention des

---

<sup>6</sup> En aucun cas la mise en évidence d'une nappe déjà fortement dégradée, du fait de pollutions historiques par exemple, ne peut être un prétexte pour ne pas évaluer (au travers un plan de gestion) les mesures à prendre pour éviter toute dissémination de polluants dans les eaux ou toute dégradation complémentaire de la qualité des eaux.

pollutions visant à montrer notamment l'absence de dégradation de la qualité des eaux en différents points depuis un certain nombre d'années, par rapport :

- à l'état initial (imputables ou non à l'exploitation) ;
  - à des contraintes de qualité liées aux usages de l'eau... ;
  - à des objectifs environnementaux de qualité des milieux (eaux de surface, zones protégées...).
- 3) **La connaissance** : la connaissance repose sur un dispositif similaire à celui du suivi. Pour autant, les résultats obtenus sont mis en perspective et permettent de dresser un état de la situation à une échelle spatiale donnée (secteur du bassin versant) et à une échelle de temps (sur les n dernières années). Cela suppose l'établissement à échéances régulières de cartes de la piézométrie, de la qualité des eaux et de son évolution, de ses fluctuations, selon les saisons, les phénomènes ... ;
- 4) **La compréhension** : la compréhension repose sur un dispositif généralement plus complet que celui du suivi ou de la connaissance. En effet, il ne s'agit pas de se limiter à des constats, mais nécessairement d'établir des liens de causes à effets. Les données vont donc concerner des paramètres supplémentaires permettant de comprendre les phénomènes mis en jeu. Ces données doivent ensuite être interprétées en lien avec des phénomènes physico-chimiques, afin de permettre une analyse de la (les) cause(s) des impacts. Les résultats laisseront entrevoir les évolutions possibles, que cela concerne des niveaux piézométriques ou la chimie, naturelle ou anthropique, des eaux...La surveillance établie dans un objectif de compréhension permet ainsi généralement d'affiner le schéma conceptuel puis le modèle de fonctionnement ;
- 5) **L'orientation de la gestion** : la surveillance doit aussi demeurer une démarche « active » puisque, en fonction de résultats inhabituels ou dépassant des critères préalablement fixés, des décisions d'actions éventuelles doivent être envisagées et au besoin mises en œuvre. La surveillance est donc aussi menée dans un objectif de **gestion**, et consiste à orienter à des actions visant soit à limiter les effets constatés, soit à restreindre certains usages. Les dispositifs de surveillance peuvent donc être modulés, de façon à suivre certains paramètres particuliers (étude du rabattement d'une nappe en cas de confinement, étude de la dégradation des polluants ...) ;
- 6) **La vérification** : dans ces situations, et après mise en œuvre des mesures de gestion (actions préventives, correctives ou curatives), l'évaluation de la qualité des ESO sert aussi à vérifier la pertinence ou l'efficacité des actions correctives ou curatives entreprises. Le dispositif peut être adapté de façon à cibler certains paramètres, traceurs de l'activité ou des actions entreprises.

Ces différents objectifs du dispositif de surveillance de la qualité des ESO impliquent évidemment des niveaux d'investigation et d'interprétation différents. La surveillance doit permettre de répondre aux questions que l'on peut se poser tant dans des phases amont (contrôle et prévention) que dans des phases plus matures (compréhension et gestion).

## 2.5. LES DECLENCHEURS D'ACTION

L'interprétation et la mise en perspective des données de qualité des ESO acquises ont notamment pour objet de vérifier que l'évolution constatée reste conforme aux éléments du schéma conceptuel ou modèle de fonctionnement. **Cette vérification peut prendre des formes diverses et fait nécessairement appel à un avis « expert » sur la situation.**

Les déclencheurs d'action évoqués par la suite le sont à titre d'exemple illustratif et ne représentent pas la diversité des situations rencontrées sur le terrain.

Les « déclencheurs d'action » sont ainsi associés à des événements confirmés qui appellent, en plus de la surveillance elle-même, à des actions nouvelles (de gestion ou de maîtrise), dont voici quelques exemples :

- apparition confirmée de polluant dans les eaux souterraines, même à faibles concentrations, dans le cas d'une surveillance a priori ;
- augmentation des concentrations, en contradiction avec les prévisions du schéma conceptuel ou du modèle de fonctionnement ;
- augmentation plus forte qu'attendue des pompages d'eau dans les forages voisins du site, imposant de revoir le modèle de fonctionnement en conséquence ;
- évolution piézométrique jugée préoccupante, montrant une extension inattendue du cône d'appel d'un forage, sans même faire référence à des concentrations particulières...

Parallèlement à la définition des « déclencheurs d'actions », des orientations devront être définies quant aux actions à mettre en place pour le cas où les observations seraient en contradiction avec les attentes et où des actions correctives seraient nécessaires.

En conséquence, il est aussi utile d'anticiper et de prévoir, dans un plan de gestion, quelles seraient les possibilités effectives d'actions (au titre de l'urgence au moins et aussi de gestion plus longue) si des polluants venaient à être décelés dans les eaux souterraines (cas de la surveillance *a priori*), ou si les résultats de la surveillance ne confirmaient pas les prévisions du modèle de fonctionnement (cas de la surveillance *a posteriori*).

Ce plan de gestion est communiqué aux responsables du site et/ou des pollutions, ainsi qu'aux autorités compétentes, différentes selon qu'il s'agit d'Installation Classée, ou de situation relevant de la police de l'eau.

## 2.6. LES BESOINS A METTRE EN PLACE

L'expression détaillée des objectifs doit permettre de préciser les besoins (techniques, procédures, protocoles, ...) en termes de dispositif à mettre en place (cf. §3 et divers guides *ad hoc*) pour apprécier et/ou suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines, que cela s'inscrive ponctuellement ou dans la durée.

Quels que soient le contexte, la finalité, l'objectif ou le terme employé « suivi », « étude », « contrôle », ... la surveillance de la qualité des eaux souterraines consiste à prélever, de façon appropriée, l'eau de la nappe dans des lieux et ouvrages



adéquats, de mesurer sa qualité en analysant les éléments et paramètres pertinents par rapport au problème à résoudre, et d'interpréter les résultats obtenus par rapport à des objectifs prédéfinis.

## **2.7. MODALITES DE RESTITUTION, INTERPRETATION ET VALORISATION DES DONNEES**

L'interprétation et le rendu des résultats sont détaillés dans le document n° 8 « Interprétation des résultats ». Le paragraphe ci-dessous ne fait que rappeler les éléments principaux.

L'acquisition de données sur la qualité des ESO ne se fait pas dans l'objectif de ranger les bordereaux d'analyse sans les avoir utilisées ni valorisés. Les types de données acquises étant variables en fonction des contextes et des objectifs du dispositif de la surveillance, l'utilisation qui sera faite de ces données pourra aussi varier.

Pour ces raisons, **la définition au préalable** des modalités de présentation des résultats dès le cadrage est primordiale.

Il importe donc de souligner que **la surveillance d'une installation susceptible d'être polluante, doit comporter :**

- un rendu périodique des bordereaux d'analyses brutes (nécessaire mais insuffisant) ;
- une interprétation de ces résultats analytiques en cohérence avec les objectifs établis par rapport au contexte d'étude. Cette interprétation doit permettre de visualiser l'évolution dans le temps et dans l'espace des concentrations et des paramètres utiles, notamment les niveaux piézométriques, afin de faciliter la compréhension des phénomènes ;
- une valorisation, notamment par une présentation adaptée facilement digeste pour les utilisateurs auxquels ils sont destinés. La valorisation des résultats sur un site peut aussi passer par l'interprétation synthétique des données de la qualité des ESO acquises sur plusieurs sites contigus ;
- une comparaison des résultats avec les critères de qualité retenus et avec les prévisions du schéma conceptuel/modèle de fonctionnement. Tout écart confirmé (*cf.* déclencheurs d'actions) et mis en perspective au regard des objectifs de préservation de la qualité des eaux implique nécessairement la mise en place de nouvelles mesures de gestion.

Matériellement, la présentation des résultats obéit à un standard défini dans le guide n° 8 « Interprétation des résultats » et comprenant au minimum :

- un tableau complet des résultats de la période en cours,
- des courbes d'évolution dans le temps,
- une carte de la piézométrie (interpolée au besoin) et une carte des concentrations préférentiellement non interpolées, représentées par des points de taille et/ou de couleur différente.

### 3. Définition de l'étape technique

Les différents aspects techniques relatifs aux modalités de mise en œuvre d'un dispositif de surveillance sont abordés de façon détaillée dans le guide *ad hoc* n° 5 « *Conception d'un dispositif de surveillance de la qualité des ESO* ».

#### 3.1. GENERALITES ET RECOMMANDATIONS

De façon générale, mettre en place un dispositif de surveillance de la qualité des eaux souterraine c'est, après avoir mené les réflexions en amont :

- établir un schéma conceptuel qui deviendra modèle de fonctionnement définissant l'évolution attendue de la qualité des eaux souterraines en terme de non dégradation ou d'amélioration ;
- prévoir une « programmation » autour de l'évaluation de la qualité des ESO : début, déclencheurs d'action, étapes de décisions, fin éventuelle...;
- concevoir et mettre en place un réseau de surveillance, en utilisant des puits et/ou des forages et tous autres points d'accès à la nappe ;
- élaborer un programme d'échantillonnage, de conditionnement et d'analyse (quels ouvrages, comment, quand, quelles substances ?) ;
- définir le mode de restitution et de présentation des résultats acquis, lequel mode doit être adapté et cohérent par rapport aux objectifs et attentes.

**Il est important de rappeler l'importance que revêt cette étape technique.**

Pour les réseaux de surveillance et programmes d'échantillonnage, différentes études ont montré l'influence des modalités de réalisation des ouvrages, de purge et de prélèvement d'eau dans les ouvrages sur les résultats, c'est-à-dire les concentrations mêmes. Ces modalités doivent donc être évaluées dans le détail en fonction des objectifs recherchés et de la nature du milieu aquifère.

Au-delà, toute modification du réseau d'ouvrages ou des modalités de prélèvement peut influencer considérablement la nature des résultats. Il est donc **fondamental** de mettre en place un dispositif qui soit le plus pérenne possible, en veillant notamment :

- au maintien des ouvrages formant le réseau de surveillance, toute modification étant susceptible d'influencer les niveaux de concentrations ;
- à la définition précise et au respect, lors de chaque campagne, des procédures d'échantillonnage, et ce afin de contribuer à la reproductibilité des résultats. Les éventuelles adaptations ne devront se faire qu'en cas de nécessité, en ayant analysé les conséquences sur le moyen terme, et avec une phase mixte, visant à appliquer l'ancienne et la nouvelle technique pour identifier avec précisions les modifications induites.

#### 3.2. LES RESEAUX DE FORAGES

Quatre types de réseau de forages de contrôle peuvent être envisagés selon les besoins (cf. annexe jointe à ce document) :

- A. le réseau permettant de détecter ou de rechercher et caractériser une éventuelle pollution des ESO au droit ou à proximité d'une installation ou d'un site (potentiellement) pollué (cf. figure 2) ;
- B. le réseau permettant de suivre l'évolution (extension, concentration, ...) d'un panache de polluants dans les eaux de la nappe (cf. figures 3 et 4). La mise en place d'un tel réseau est destinée a) à l'évaluation des possibles mesures de maîtrise des impacts, b) au suivi de l'efficacité du dispositif de maîtrise des impacts et c) si nécessaire à la surveillance des impacts résiduels liés à des polluants qui n'auraient pas été complètement maîtrisés. Il est implanté dans l'emprise du site concerné, mais si besoin aussi à l'extérieur sur les zones susceptibles d'être affectées par des pollutions ou impacts en lien direct avec les activités, passées ou actuelles, du site ;
- C. le réseau d'alerte dans la zone d'alimentation d'un point d'exposition à protéger, comme un captage AEP, par exemple (cf. figure 5) ;
- D. le réseau de suivi de l'évolution de la qualité de l'eau de tout ou partie d'un système aquifère.

En pratique, la limite entre ces réseaux n'est pas toujours aussi franche que dans la présentation ci-avant ; le réseau de type (A) peut constituer la première étape d'un réseau de type (B), lui même pouvant évoluer vers un réseau de type (C) et être intégré dans celui de type (D).

De plus, en fonction du contexte rencontré (extension de la pollution, état de dégradation de la qualité des eaux) et des actions de maîtrise des sources et des impacts envisagés dans le plan de gestion (possibilités de résorber la pollution et restaurer la qualité des eaux), le réseau B pourra se décliner sur site (B1) et hors site (B2).

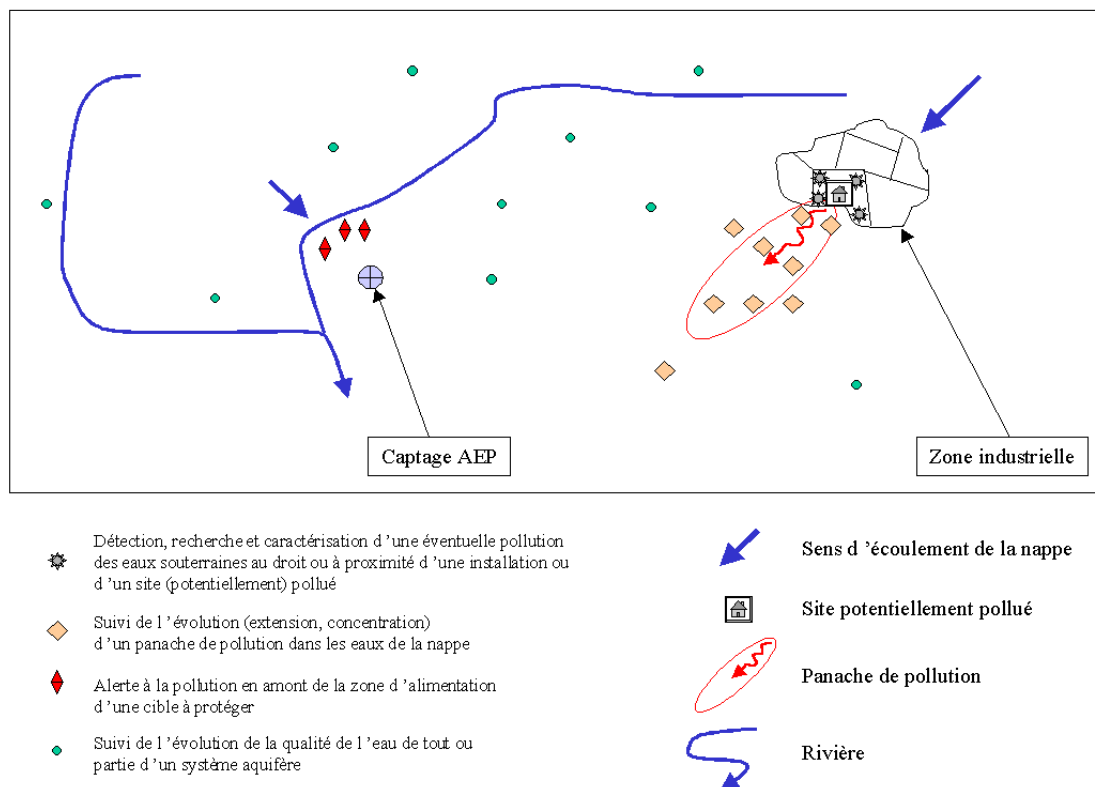
## 4. Présentation des résultats

L'interprétation et le rendu des résultats ont déjà été abordés au chapitre 2.7 du présent document et sont plus amplement détaillés dans le document *ad hoc* « Interprétation des résultats ».

## Annexe : les réseaux de forages destinés à évaluer la qualité des ESO

Dans le cadre de la mise en place d'une surveillance de la qualité des ESO, le dispositif mis en place se fonde sur un réseau de forages et un protocole de prélèvement et d'analyse.

Les quatre principaux réseaux de forages pouvant être envisagés sont schématiquement évoqués dans la figure ci-dessous.



**Figure 1 - Schéma général des principaux types de réseaux de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine**

**NB :** Dans les figures 2 à 5 ci-après, les eaux de la nappe s'écoulent de la courbe piézométrique la plus haute (ex. 90) définissant « l'amont piézométrique » vers les plus basses (ex. 85) qui représentent « l'aval piézométrique ».

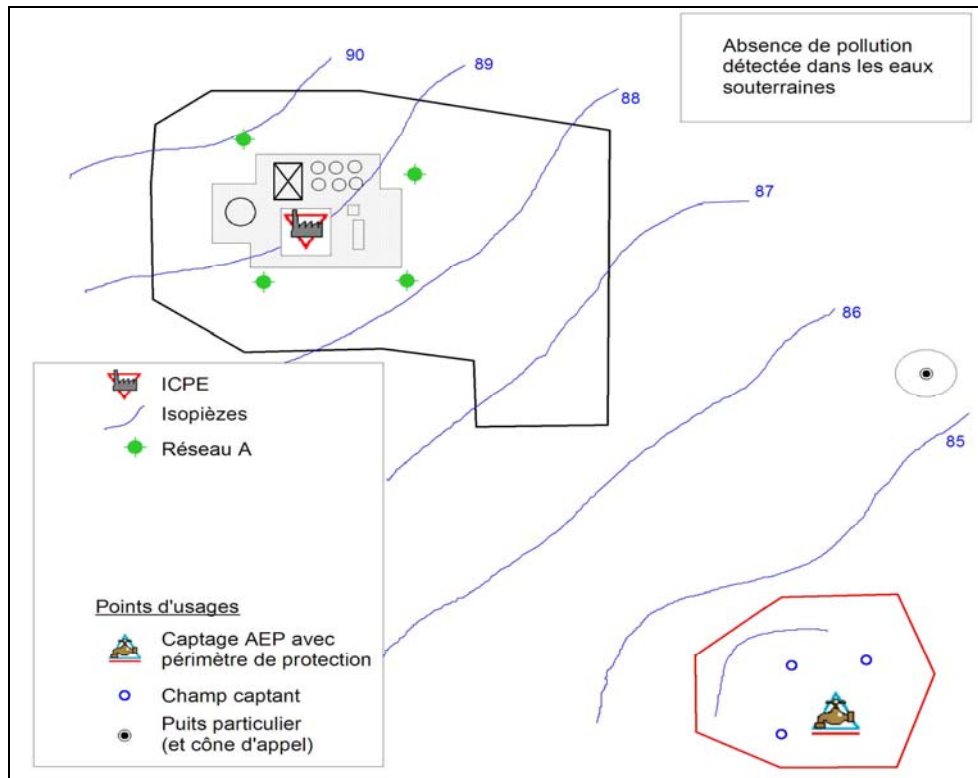


Figure 2 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type A destiné à la détection d'éventuels polluants dans les eaux souterraines

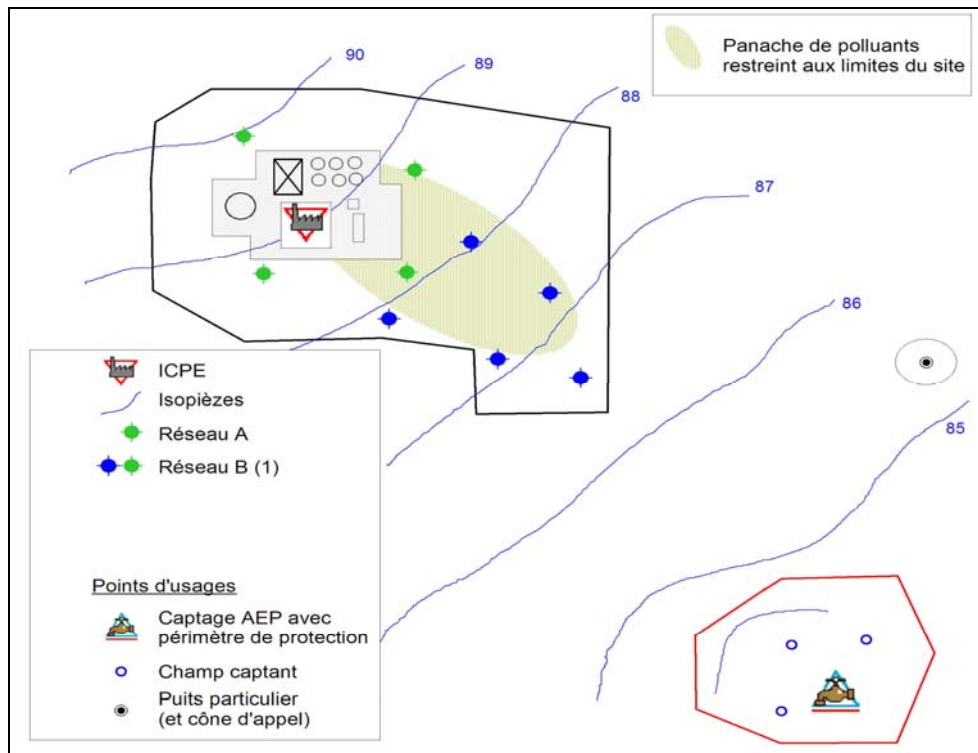


Figure 3 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type B(1) destiné à suivre l'évolution *sur site* d'un panache de polluants dans les eaux souterraines

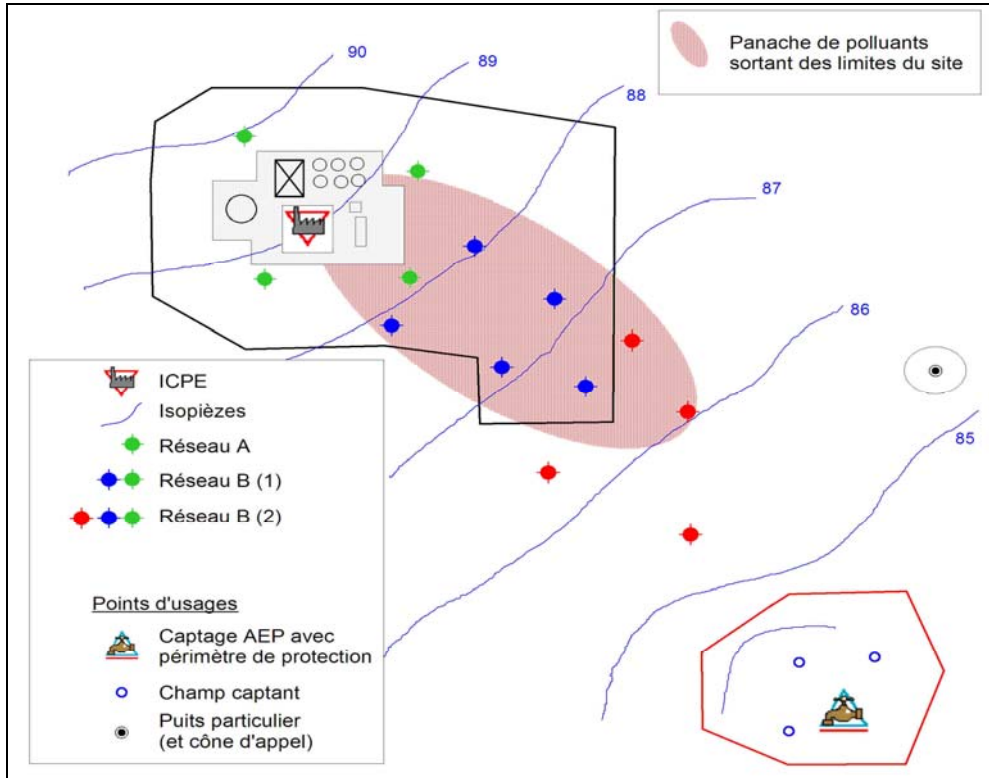


Figure 4 - Schéma de principe d'un réseau de forage de type B(2) destiné à suivre l'évolution *hors site* d'un panache de polluants dans les ESO

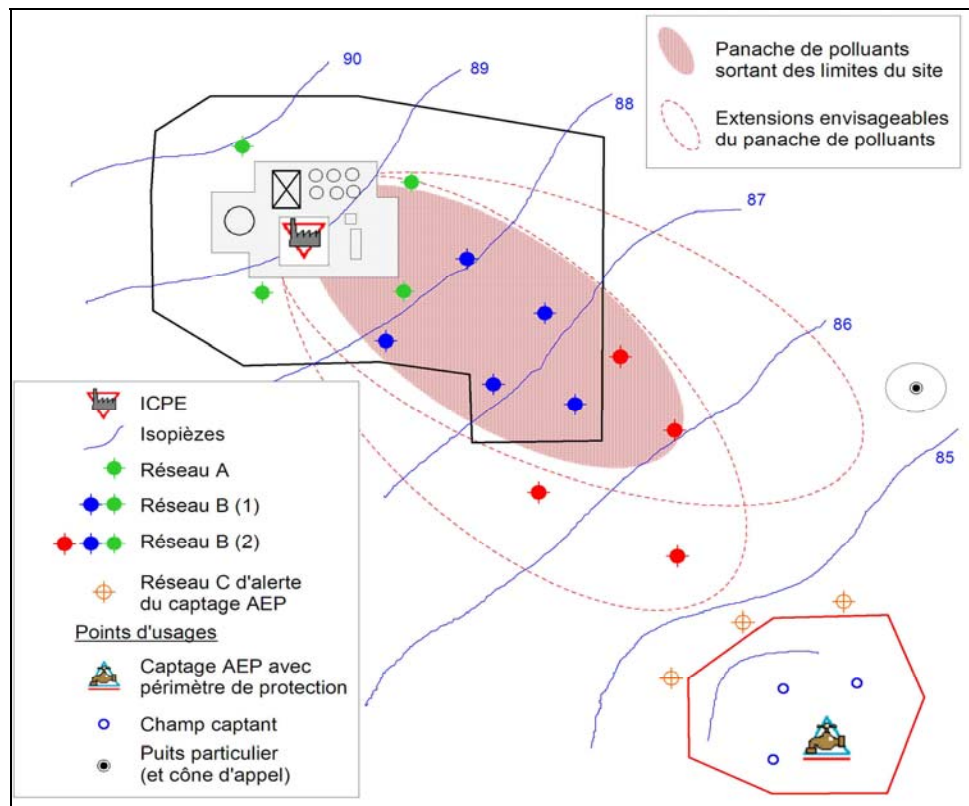


Figure 5 - Schéma de principe d'un réseau d'alerte dans la zone d'alimentation en eaux souterraines d'un point d'exposition à protéger

## **V - Conception et mise en œuvre d'un dispositif de surveillance de la qualité des eaux souterraines (ESO)**

**Nota Bene** : L'objet de ce document est de présenter un fil conducteur pour concevoir, mettre en place et utiliser un dispositif de surveillance (forages et programme), permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines (ESO) au droit ou à proximité des sites concernés.

Un dispositif de surveillance est donc constitué sur la base :

- d'un certain nombre de forages, constituant un réseau (cf. § 1 et 3), lesquels doivent être implantés et équipés en fonction des contextes géologiques et hydrogéologiques, des substances susceptibles d'être recherchées et de certaines contraintes telles que l'aménagement ou l'occupation des sols dans la zone étudiée ;
- d'un programme de surveillance (cf. § 2), détaillant les modalités de prélèvement et d'analyse des eaux, lesquels sont aussi adaptés en fonction de la nature des milieux, des substances, des objectifs de la surveillance et plus généralement des enjeux.





# Sommaire

<b>1. Conception d'un réseau de forages sur un site.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Elaboration, évolution ou arrêt d'un programme de surveillance des eaux souterraines .....</b>	<b>13</b>
2.1. ETABLIR LA LISTE DES SUBSTANCES ET ELEMENTS A ANALYSER .....	13
2.2. LA FREQUENCE DES PRELEVEMENTS ET DES MESURES.....	14
2.2.1. <i>Prise en compte des spécificités (lithologie, épaisseur, perméabilité ...) de la ZNS.....</i>	15
<b>a) Cas des installations localisées sur une ZNS perméable (formations aquifères) .....</b>	<b>16</b>
<b>b) Cas des installations situées sur une ZNS peu perméable, surmontant un aquifère .....</b>	<b>16</b>
2.2.2. <i>Prise en compte des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe souterraine.....</i>	17
2.2.3. <i>Influence des caractéristiques des polluants .....</i>	17
2.3. PRELEVEMENTS ET ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES ..	18
<b>3. Annexe technique : Dimensionnement d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine.....</b>	<b>19</b>
3.1. RECHERCHE D'UNE CONNAISSANCE SUFFISANTE DES CONTEXTES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES .....	20
3.1.1. <i>Compilation documentaire .....</i>	20
3.1.2. <i>Les travaux complémentaires de terrain.....</i>	20
3.1.2.1. <i>Le site est implanté sur une formation argileuse, surmontant un aquifère .....</i>	22
3.1.2.2. <i>Les formations hétérogènes.....</i>	22
3.1.2.3. <i>Les formations karstiques et les milieux fissurés .....</i>	22
3.2. LES STRUCTURES A METTRE EN PLACE .....	23
3.2.1. <i>Recherche des sens et des axes d'écoulement souterrains d'une nappe et des éventuels polluants qu'elle contiendrait .....</i>	23
3.2.2. <i>Combien faut-il de forages ? Où et comment les implanter ?.....</i>	28
3.2.2.1. <i>Réseau A : Détection, recherche et caractérisation d'une éventuelle pollution des eaux souterraines au droit ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué.....</i>	30

3.2.2.2. Réseau B : Suivi de l'évolution d'un panache de polluants dans les eaux souterraines.....	30
3.2.3. <i>Quelle profondeur faut-il envisager pour chacun des forages destinés à l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe ?</i> .....	30
3.2.3.1. Les facteurs à prendre en compte .....	31
3.2.3.2 Les contextes hydrogéologiques les plus courants.....	31

## Liste des illustrations

<b>Figure 1 - Démarche pour concevoir et mettre en place un réseau de forages permettant de mesurer la qualité de l'eau souterraine</b> .....	9
Figure 2 – Exemple des possibilités de pollution d'un aquifère ou d'un cours d'eau à partir d'un site qui serait pourtant implanté sur une formation argileuse. ....	21
Figure 3 – Coupe hydrogéologique : exemple de plissement ou d'érosion du plancher d'une nappe pouvant générer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en période d'étiage qu'en période de hautes eaux. ....	24
Figure 4 – Coupe hydrogéologique : exemple de plissement des couches géologiques pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en période d'étiage de la nappe qu'en période de hautes eaux. ....	25
Figure 5 – Coupe hydrogéologique : exemple de couches géologiques érodées pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en fonction de la piézométrie. ....	26
Figure 6 – Coupe hydrogéologique : exemple de couches géologiques érodées pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits, ainsi que des sens d'écoulement différents, en fonction de la piézométrie. ....	26
Figure 7 – Sens d'écoulement différents d'une nappe selon qu'elle est en haute ou en basse eaux, compte tenu du pendage du substratum de l'aquifère. ....	27
Figure 8 – Sens d'écoulement différents des pollutions pour un même état piézométrique de la nappe compte tenu du pendage du substratum de l'aquifère et des caractéristiques des polluants. ....	27
Figure 9 - Exemple d'implantation de piézomètres localisés sur des éléments structuraux, photo-géologiques et/ou géophysiques. ....	28
Figure 10 - Exemple de forages de contrôle implantés sur une carte piézométrique d'étiage. ....	29
Figure 11 - Exemple d'une profondeur insuffisante (A) du forage P2, éloigné de la source de pollution et de forages de plus en plus profonds (B) en fonction de la distance les séparant de la source polluante. ....	32
Figure 12 - Exemple d'un site localisé sur socle (milieu fissuré) illustrant la nécessité de forages de contrôle profonds de façon à capter aussi les structures faillées en profondeur. ....	33
Figure 13 - Exemple de mouvement d'effluents dans un aquifère stratifié dont les horizons supérieurs sont peu perméables (Nielsen and Yeates 1991). ....	34
Figure 14 - Exemple de deux aquifères superposés séparés par une formation peu perméable, de type argileux par exemple. ....	35

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Données à acquérir en fonction des questions à résoudre .....	8
Tableau 2 – Paramètres à prendre en compte pour établir les profondeurs, le nombre et les lieux d'implantation des forages à mettre en place .....	12
Tableau 3 – Eléments et paramètres potentiellement à analyser dans le cadre d'une surveillance de la qualité des eaux souterraines .....	14
Tableau 4 – Etapes et paramètres à prendre en compte pour définir une fréquence d'échantillonnage .....	15



# 1. Conception d'un réseau de forages sur un site

Compte tenu de l'enjeu fort que représente la préservation de la qualité des eaux souterraines dans la gestion des sites, il faut privilégier les réseaux de forages pérennes plutôt que ceux provisoires susceptibles de devoir être refaits à court terme.

**Ce réseau de forages doit être implanté de telle sorte qu'une éventuelle pollution dans la nappe soit recoupée.** Ce document guide a donc pour vocation de rappeler (car cela est trop souvent oublié!) que l'implantation optimale d'un réseau de forages ne peut se faire qu'après une réflexion (notamment par l'étude historique des activités du site et par la connaissance du contexte hydrogéologique) qui relève d'une démarche de type diagnostic.

Cette réflexion préalable vaut :

- autant pour les situations de surveillance **a posteriori**, qui ont précisément fait l'objet d'un diagnostic (en espérant qu'il ait porté aussi sur les eaux souterraines en suivant les recommandations des règles de l'Art, rappelées dans le présent document) ;
- que pour les situations de surveillance **a priori**, c'est à dire celles qui relèvent par exemple d'une décision spontanée d'un exploitant, voire de l'article 65 (arrêté du 02 février 1998 modifié), et qui ne dispose pas forcément d'un diagnostic sur les ESO mené dans les règles de l'Art.

Dans tous les cas cela doit aboutir à l'élaboration d'un schéma conceptuel qui va évoluer en modèle de fonctionnement au fil des résultats analytiques acquis par le réseau de forages de surveillance mis en place.

La figure 1 ci après résume la démarche à suivre pour concevoir et mettre en place un réseau de forages permettant de mesurer la qualité de l'eau souterraine au droit ou à proximité d'un site concerné. Les grandes étapes en sont :

- la compilation documentaire,
- les travaux complémentaires (si besoin),
- la synthèse des données,
- l'élaboration d'un cahier des charges argumenté.

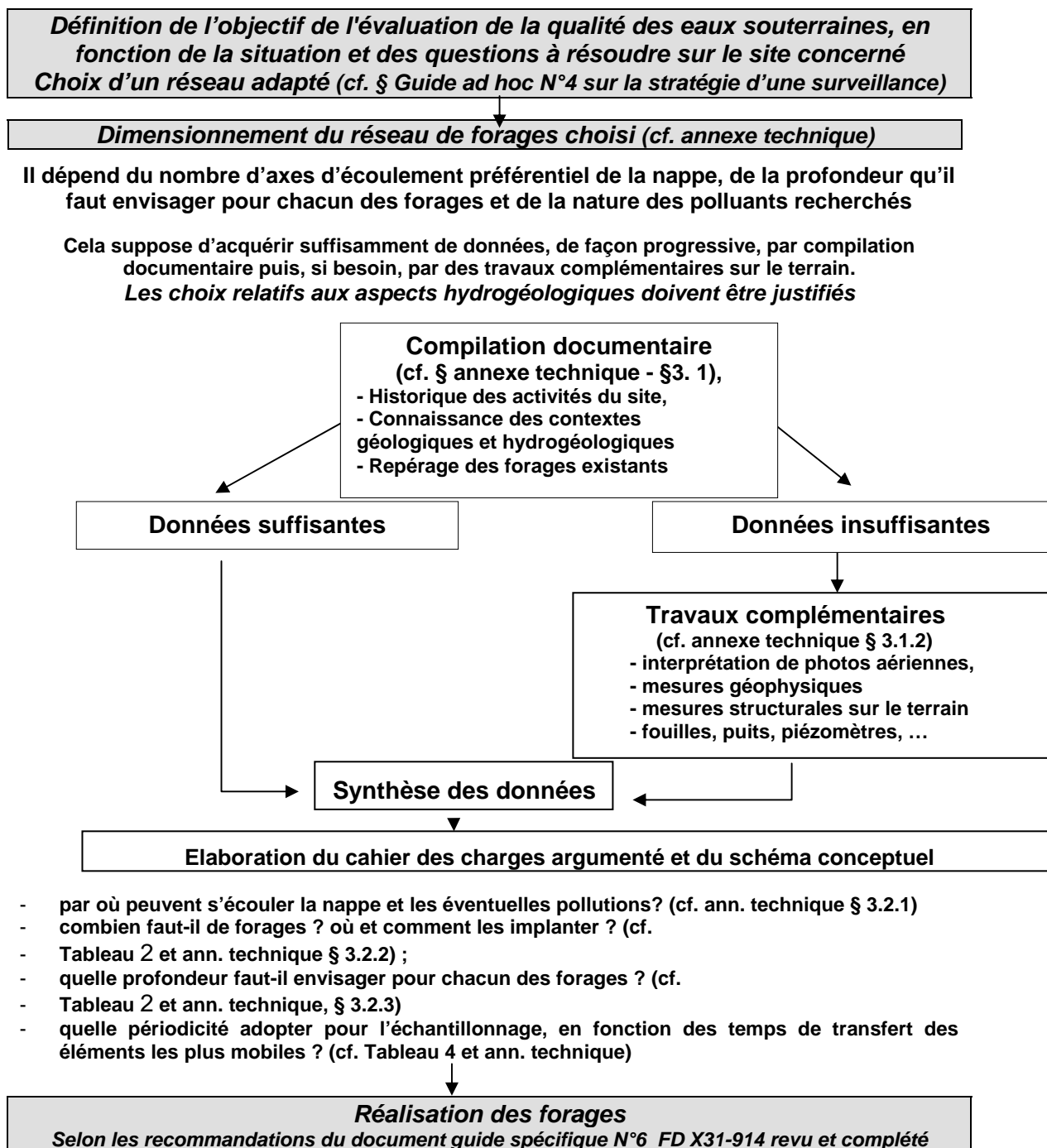
**La compilation documentaire** consiste à collecter les données existantes relatives aux questions à résoudre (cf. Tableau 1), lorsqu'elles apparaissent pertinentes à la fois pour le site et la situation à considérer. Les résultats d'études antérieures, notamment pour les pollutions anciennes, seront pris en compte s'ils apparaissent fiables (protocole de prélèvement des échantillons, méthodes et seuils analytiques, ...).

Objectifs ou questions à résoudre	Actions à mener pour concevoir un dispositif de surveillance de la qualité des eaux souterraines (ESO)
- Connaître les substances à analyser	Point : a et j
- Connaître les cibles potentielles, - Etablir un schéma conceptuel	Points : b, c, d, f et g
- Savoir si l'on peut utiliser des forages existants et ainsi limiter le nombre de forages à mettre en place	Point : d
- Elaborer un cahier des charges techniques pour le mode de foration et la profondeur des forages (*)	Points : e, f et i
- Planter les forages en tenant compte des structures existantes et de telle sorte qu'une éventuelle pollution dans la nappe soit recoupée	Points : a, b, f et g
- Définir un protocole d'échantillonnage adapté aux conditions hydrogéologiques et aux polluants du site concerné	Point : h et a
- Estimer le temps de transfert d'une éventuelle pollution avant d'atteindre une cible potentielle	Points : d, e et h
- Définir une fréquence de prélèvement adaptée au contexte hydrogéologique du site concerné	Points : e et h
- Connaître les sens d'écoulements de la nappe	Point : c, f et i
- Avoir un aperçu de la qualité de l'eau de la nappe à partir de données antérieures afin d'appréhender une éventuelle évolution	Point : j

**(\*) : Lorsqu'il n'existe pas de données suffisantes, notamment pour déterminer la profondeur à atteindre, les premiers forages peuvent être suivis par une personne compétente qui décidera, au cours de la foration et au vu de la lithologie traversée, d'arrêter ou de poursuivre le forage.**

*Tableau 1 - Données à acquérir en fonction des questions à résoudre*





**Figure 1 - Démarche pour concevoir et mettre en place un réseau de forages permettant de mesurer la qualité de l'eau souterraine**

NB : le cahier des charges doit préconiser les techniques et matériaux à utiliser pour réaliser les forages, tout en évitant l'accroissement d'une pollution suspectée ou sa migration vers une autre partie du sous-sol encore saine (par ex. : mise en connexion d'aquifères superposés) et en veillant à assurer l'efficacité et la pérennité de chacun des forages mis en place dans le contexte concerné.

### Types d'actions à mener :

- a. établir la liste la plus exhaustive possible des éléments et substances, utilisés ou générés sur le site, ayant pu polluer les sols et/ou l'eau souterraine au droit ou aux abords du site et en connaître le comportement (cf. [www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr](http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr) 2008) ;
- b. obtenir ou réaliser des cartes, coupes et plans, à échelle adaptée en fonction des besoins, relatifs aux données topographiques, géographiques, géologiques et à l'environnement naturel ou anthropique du site, y compris les structures enfouies ;
- c. connaître l'hydrologie, les éventuelles relations nappe/rivière à proximité du site, les cibles éventuelles liées aux eaux de surface (pompages AEP<sup>1</sup> en rivière, zones de baignades, piscicultures, cressonnières, objectifs de qualité de l'eau superficielle ...) ;
- d. recenser les ouvrages situés dans l'environnement du site à étudier (puits, forages industriels ou agricoles, sources, ...) et connaître leur état, leur usage, leurs caractéristiques techniques, notamment débits et cônes d'appel<sup>2</sup>, connus ou estimés, des pompages, afin de repérer les cibles potentielles liées aux eaux souterraines (captage AEP, puits de particuliers, périmètres de protection,...), ainsi que les ouvrages défectueux (forages, canalisations, drains... ) pouvant constituer des voies potentielles de migration d'éventuels polluants vers la nappe. Par ailleurs, si leur localisation et leur état le permettent, certains d'entre eux pourront être intégrés au réseau envisagé ;
- e. identifier la nature lithologique et la granularité des formations aquifères et apprécier leur hétérogénéité latérale et verticale, leur épaisseur (zone non saturée ZNS<sup>3</sup> et saturée ZS<sup>4</sup>), leur profondeur, ainsi que la nature et le pendage des formations au toit et au plancher de l'aquifère ;
- f. connaître le type d'aquifère (captif, artésien jaillissant ou non, libre), sa nature (poreux, fissuré ou karstique) et les sens d'écoulement des nappes souterraines concernées ;
- g. connaître au mieux les éléments structuraux (failles, karsts, chenaux d'écoulement préférentiel des eaux souterraines, plis, pendages des couches...), susceptibles d'influencer le sens des écoulements souterrains ;
- h. connaître les caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité, dispersivité, débit, transmissivité, piézométrie, vitesse, gradient hydraulique...) des nappes concernées ;
- i. obtenir, s'il existe, l'historique de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps sur les ouvrages les plus proches, sous forme de cartes piézométriques en hautes et en basses eaux, de la nappe, libre ou captive, pouvant être concernée par le site. Il faut veiller à vérifier la qualité de ces cartes, afin de bien préciser l'amont et l'aval hydraulique par rapport au site : levés piézométriques synchrones, précision

---

<sup>1</sup> AEP : Alimentation en Eau Potable

<sup>2</sup> Cône d'appel : zone de la nappe dont le niveau est abaissé par les opérations de pompage et qui forme un cône pointe en bas autour du captage

<sup>3</sup> Zone non saturée (ZNS) : zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe.

<sup>4</sup> Zone saturée (ZS) : zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant, dans un aquifère, une nappe d'eau souterraine.



des nivellements des têtes de forages d'autant plus grande que la topographie est peu vallonnée ou que les gradients hydrauliques sont faibles, densité géographique des points d'observation ;

- j. rassembler, si possible, des données hydrogéochimiques, même anciennes, afin de reconstituer un historique de la qualité physico-chimique de l'eau souterraine à proximité du site.

**Des travaux complémentaires**, tels qu'évoqués en **Erreur ! Source du renvoi introuvable**. peuvent aussi s'avérer nécessaires (cf. 3.1).

Le Tableau 2 ci-après résume les conditions et paramètres à prendre en compte pour établir la profondeur, le nombre et les lieux d'implantation des forages à mettre en place selon le type de réseau envisagé (par exemple type A ou B).

Quel que soit le type de situation, les choix retenus devront être justifiés, et les forages mis en place doivent être réalisés conformément aux recommandations du document guide *ad hoc* N° 6 « Réalisation des forages de contrôle de la qualité des eaux souterraines ».

<b>Combien faut-il de forages ? où et comment les implanter ? (cf. ann. technique, § 3.2.2)</b>			
<i>Type de réseau de forages</i>	<i>objectifs</i>	<b>RESEAU A</b> Détecter, rechercher, caractériser une éventuelle pollution de l'eau de la nappe à proximité d'une installation ou d'un site (cf. ann. technique, §.3.2.2.1)	<b>RESEAU B</b> Suivre l'évolution (extension, concentration) d'un panache de pollution dans les eaux de la nappe (cf. ann. technique, § 3.2.2.2)
<i>Quel que soit le milieu</i>		- Mettre en place autant de forages que nécessaire de telle sorte que les sens d'écoulement de la nappe soit connus et qu'une éventuelle pollution soit recoupée (cf. ann. technique, fig. 9 et 10) ; - Ne pas oublier le(s) forage(s) en amont hydraulique du site concerné ; Réaliser les forages selon les recommandations du fascicule de documentation AFNOR FD-X-31-614 <b>revu et complété (document spécifique N°6)</b> - Utiliser les éventuels forages existants s'ils sont bien localisés sur les axes drainants du sous-sol et s'ils répondent aux préconisations du document FD-X-31-614 <b>revu et complété (document spécifique N°6)</b> - Les anciens ouvrages défectueux pouvant constituer des voies de migration de polluants vers la nappe devraient être rebouchés de façon efficace.	
		Le plus proche possible de la source ou de l'installation à surveiller (cf. annexe. technique, § 3.2.2.1)	Dans le panache de pollution et à sa périphérie dans des zones non polluées (cf. annexe. technique, § 3.2.2.2)

<b>Profondeur des forages à implanter en fonction du type de réseau et du type d'aquifère (cf. annexe. technique, § 3.2.3)</b>			
<i>Aquifères dont le plancher est à une profondeur inférieure à 30 mètres</i>		Les forages devront traverser la totalité de l'épaisseur de l'aquifère jusqu'au substratum	Les forages devront traverser la totalité de l'épaisseur de l'aquifère jusqu'au substratum
<i>Aquifères dont le plancher est à une profondeur supérieure à 30 mètres</i>	<i>Recherche de « flottants » ou LNAPL<sup>5</sup> (densité &lt; 1) ou de polluants solubles</i>	La profondeur des forages pourra se limiter à la partie supérieure (plusieurs m dans la tranche d'eau) de l'aquifère en tenant compte de la cote piézométrique d'étiage de la nappe en plus basses eaux	Mêmes conditions que ci contre en tenant compte aussi de la distance séparant la zone polluée du forage (cf. ann. technique, fig. 11). Une modélisation peut s'avérer nécessaire
	<i>Recherche de « plongeants » ou DNAPL<sup>6</sup> (densité &gt; 1) (ann. technique, fig. 8)</i>	Le forage devra recouper l'aquifère jusqu'à son substratum <sup>7</sup> (voir aussi (*) en pied du tableau 1)	Le forage devra recouper l'aquifère jusqu'à son substratum
<i>Les aquifères en milieu fissuré (ann. technique, fig. 12) ou de type karstique</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantation de forages recoupant les conduits ou fissures par lesquels les polluants pourraient s'infiltrer (étude structurale, géophysique, ...),</li> <li>- Multiplication des forages,</li> <li>- Réalisation de forages inclinés, si l'inclinaison n'est pas pénalisante pour le mode de prélèvement envisagé</li> </ul>	Mêmes conditions que ci contre en tenant compte de la nature des polluants et de la distance « source polluante – forage »
<i>Les aquifères superposés et les cas "mixtes" (ann. technique, fig. 13 et 14)</i>		Forages dans l'aquifère le plus proche de la surface selon les mêmes principes précédents (selon les cas), puis, si besoin, forages bien distincts dans l'aquifère sous-jacent. <b>Rappel : ne pas mettre en relation les eaux d'aquifères superposés bien distincts.</b>	Mêmes conditions que ci contre en tenant compte de la nature des polluants et de la distance « source polluante – forage »

Tableau 2 – Paramètres à prendre en compte pour établir les profondeurs, le nombre et les lieux d'implantation des forages à mettre en place

<sup>5</sup> LNAPL : Light Non Aqueous Phase Liquids – Liquides légers de la phase non aqueuse

<sup>6</sup> DNAPL : Dense Non Aqueous Phase Liquids – Liquides denses de la phase non aqueuse

<sup>7</sup> Substratum : base sur laquelle repose une formation aquifère

## 2. Elaboration, évolution ou arrêt d'un programme de surveillance des eaux souterraines

Le programme de la surveillance des eaux souterraines porte tant sur les aspects quantitatifs (piézométrie<sup>8</sup>) que sur la qualité des eaux de la (les) nappe(s) surveillée(s). Il doit permettre de répondre aux objectifs définis en préalable (cf. document n°4 « Stratégie d'une surveillance »).

Après sa conception et sa réalisation, le réseau de forages permettant d'évaluer la qualité des eaux souterraines d'un site (potentiellement) pollué pourra être utilisé de façon optimale dès lors que :

- la nature des éléments à analyser sera établie (cf. 2.1),
- la fréquence des prélèvements sera définie (cf. 2.2),
- les prélèvements seront réalisés selon une procédure adaptée et répétitive (cf. 2.3).

Ce programme est applicable quelles que soient les situations de surveillance. Le tableau 3 résume les étapes et les paramètres à considérer pour définir une stratégie d'échantillonnage, c'est à dire le programme permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine.

Par ailleurs, la question relative au suivi et à l'évolution, voire à l'arrêt d'un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines, ainsi que celles relatives aux bilans annuels et quadriennaux des résultats analytiques, viennent aussi à se poser. Ces aspects sont abordés dans le document guide n° 8 relatif à « l'interprétation des résultats de la surveillance de la qualité des ESO ».

### 2.1. ETABLIR LA LISTE DES SUBSTANCES ET ELEMENTS A ANALYSER

Les éléments à rechercher seront plus particulièrement ceux susceptibles d'être utilisés ou générés par les activités, actuelles ou anciennes, et/ou les déchets stockés sur le site étudié.

La liste de ces éléments et substances ayant pu polluer les sols et/ou l'eau souterraine au droit ou aux abords du site étudié a été établie lors de l'étude historique des différentes activités successives ou synchrones du site. Elle peut définir une multitude d'éléments à rechercher, dont certains peuvent ne pas être spécifiquement liés aux activités du site, mais venir de l'extérieur car véhiculés par la nappe.

Une attention toute particulière devra être portée au site en cas de déversements, accidentels ou non, de produits liquides.

Certains paramètres doivent être mesurés immédiatement sur site dès lors qu'ils sont souhaités pour l'interprétation des résultats : température, pH, conductivité, oxygène dissous, potentiel d'oxydoréduction. La mesure de l'alcalinité est aussi souhaitée sur

---

<sup>8</sup> Piézométrie : mesure de la cote altimétrique (hauteur piézométrique) de la surface de la nappe en divers points donnés d'un aquifère.

site, mais il est possible de la faire en laboratoire sous réserve qu'elle soit réalisée dans les plus brefs délais.

**Etablir la liste des éléments et substances à analyser (cf. 2.1)**

En fonction des besoins, on pourra retenir :

- Les substances et éléments spécifiques des risques encourus,
- Les substances les plus mobiles (ex : chlorures, sulfates...),
- Les substances les plus persistantes et les moins mobiles,
- Les substances les plus toxiques,
- Les substances relatives aux produits de dégradation,
- Quelques paramètres globalisants afin de mieux cerner la qualité générale, voire certaines pollutions organiques.

*Tableau 3 – Eléments et paramètres potentiellement à analyser dans le cadre d'une surveillance de la qualité des eaux souterraines*

## **2.2. LA FREQUENCE DES PRELEVEMENTS ET DES MESURES**

La fréquence des prélèvements et mesures doit être établie en prenant en compte plusieurs paramètres, déjà présentés dans le tableau 3.

<b>Etablir une fréquence de prélèvements et de mesures, Paramètres à prendre en compte (cf. 2.2)</b>					
Spécificités de la ZNS (cf. § 2.2.1)	<b>Site sur formation aquifère</b>	<b>Site sur formation argileuse</b>			
	Considérer les temps de transfert relatifs aux flux convectifs des éléments les plus mobiles (cf. § 2.2.1.a)	Considérer les temps de transfert relatifs au flux convectif et à ceux résultant de la diffusion moléculaire des éléments les plus mobiles (cf. § 2.2.1.b)			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature lithologique, coefficient de perméabilité et épaisseur de la ZNS</li> <li>- Variations saisonnières et interannuelles du niveau piézométrique</li> </ul>				
Caractéristiques hydrodynamiques de la ZS (cf. § 2.2.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesse des eaux de la nappe</li> <li>- Distance entre la source polluante et le forage</li> </ul>				
Caractéristiques des polluants (cf. § 2.2.3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilité,</li> <li>- Toxicité</li> <li>- Capacité d'adsorption du polluant sur les particules fines de l'aquifère</li> </ul>				
Propositions pour établir une fréquence de prélèvements (cf. § 2.2.4)	1 <sup>ère</sup> Phase	<i>Prélèvements selon un pas de temps adapté ne pouvant être supérieur à un trimestre, quel que soit le contexte (cf. cahier des charges – fig. 1)</i>			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Cas d'une pollution n'ayant pas encore atteint la nappe</b></th> <th><b>Cas d'une pollution déjà présente dans la nappe</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Période au plus égale à 1/2 du temps de transfert dans la ZNS, des éléments recherchés les plus mobiles</td> <td>Période au plus égale à 1/10 du temps de transfert dans la ZS (pour la distance de la zone polluée au forage de contrôle), des éléments les plus mobiles</td> </tr> </tbody> </table>	<b>Cas d'une pollution n'ayant pas encore atteint la nappe</b>	<b>Cas d'une pollution déjà présente dans la nappe</b>	Période au plus égale à 1/2 du temps de transfert dans la ZNS, des éléments recherchés les plus mobiles
<b>Cas d'une pollution n'ayant pas encore atteint la nappe</b>	<b>Cas d'une pollution déjà présente dans la nappe</b>				
Période au plus égale à 1/2 du temps de transfert dans la ZNS, des éléments recherchés les plus mobiles	Période au plus égale à 1/10 du temps de transfert dans la ZS (pour la distance de la zone polluée au forage de contrôle), des éléments les plus mobiles				
2 <sup>ème</sup> Phase	<i>Ajustements selon les variations constatées au cours d'une observation d'une durée d'au moins deux ans</i>				
<b>Prélever et échantillonner les eaux souterraines (cf. 2.3)</b>					
y compris en amont hydraulique selon les recommandations du document AFNOR X-31-615 <b>(en cours de réécriture)</b>					

Tableau 4 – Etapes et paramètres à prendre en compte pour définir une fréquence d'échantillonnage

### 2.2.1. Prise en compte des spécificités (lithologie, épaisseur, perméabilité ...) de la ZNS

Deux cas principaux peuvent être envisagés selon que le site concerné se trouve sur une formation géologique argileuse ou non. Une question se pose en permanence, à savoir : « combien de temps faut-il, compte tenu des propriétés de la formation

géologique constituant la ZNS et des caractéristiques des polluants, pour que ceux-ci migrent depuis son sommet vers la surface de la nappe ? ».

**a) Cas des installations localisées sur une ZNS perméable (formations aquifères)**

Le transfert des polluants vers le milieu souterrain peut être plus ou moins rapide. Ce temps de transfert est estimé en tenant compte uniquement du mouvement de l'eau (flux convectif). La vitesse de l'eau est calculée à l'aide de la loi de Darcy<sup>9</sup> en considérant la perméabilité de la ZNS, sa porosité, et en supposant un gradient hydraulique entre ses deux extrémités verticales. Le temps de transfert est ensuite obtenu en divisant l'épaisseur de la ZNS par la vitesse de l'eau. On fait parfois intervenir un facteur retard, en fonction des caractéristiques physico-chimiques des polluants, mais aussi de certaines caractéristiques des milieux traversés (teneur en matière organique, argile...).

**b) Cas des installations situées sur une ZNS peu perméable, surmontant un aquifère**

Lorsque la ZNS est composée d'une formation peu perméable de type argileux, celle-ci peut jouer un rôle de retardateur de transfert de pollution, mais dans ce cas le temps de transfert ne doit pas être estimé en tenant compte, comme dans le cas précédent, uniquement du mouvement de l'eau (flux convectif). En effet, certaines données mesurées à la fois en laboratoire et sur site, démontrent que dans les milieux faiblement perméables, le principal moteur de migration des polluants n'est pas le mouvement de l'eau, mais la diffusion moléculaire (flux "diffusif") due au gradient de concentration de part et d'autre de la formation argileuse (cf. Shackelford, 1988 ; Johnson et al., 1989 ; Guyonnet, 1994).

Ce phénomène de diffusion peut paraître inquiétant du fait que, même dans le cas de formations géologiques argileuses très peu perméables, un transfert des polluants a néanmoins lieu. Il faut toutefois rappeler qu'un transfert par diffusion, bien plus que la convection/dispersion, est un phénomène qui laisse au milieu naturel, c'est-à-dire à la nappe sous-jacente, la possibilité de diluer le flux polluant dans la mesure où ce dernier est faible par rapport au débit de la nappe concernée. C'est cet objectif qui est

---

<sup>9</sup> Pour une même charge hydraulique (même énergie potentielle), Darcy définit un coefficient de perméabilité **K**, mesuré en m/s, dépendant de la nature lithologique du milieu poreux. Le débit **Q** (quantité) d'eau transitant dans ce milieu est proportionnel à la section totale traversée **A**, au coefficient de perméabilité **K** du milieu et à la charge hydraulique **h** et inversement proportionnel à la longueur **L** du milieu traversé :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \cdot A \text{ (m}^2\text{)} \cdot h/L$$

**h/L** est la perte de charge par unité de longueur, appelée encore gradient hydraulique **i** (m) :

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

La vitesse de filtration **V** (ou vitesse de Darcy) est égale au rapport de la quantité d'eau passant en une seconde par la section **A**. C'est également le produit du coefficient de perméabilité par le gradient hydraulique **i** :

$$V \text{ (m/s)} = Q/A = K \cdot h/L$$

La vitesse **U** (m/s) de transfert de l'eau dans ce milieu poreux est égale au rapport de la vitesse de filtration **V** (m/s) par la porosité efficace **me** (%) :

$$U \text{ (m/s)} = V/me \text{ (m/s)}$$

avant tout recherchée, par exemple dans les centres de stockage de déchets, par l'utilisation de barrières épaisses composées de matériaux très faiblement perméables. Le réseau de surveillance sert à mesurer l'influence de ce transfert (diffusion + convection/dispersion) des polluants dans les aquifères souterrains.

### *2.2.2. Prise en compte des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe souterraine*

Quand les vitesses dans la nappe sont faibles, quelques mètres par an, il n'est pas utile d'échantillonner souvent. Quand la vitesse est élevée, les polluants peuvent se déplacer rapidement, ce qui nécessite des contrôles plus fréquents.

Le temps de transfert des écoulements dans la zone saturée sont fonction de la vitesse des eaux de la nappe et de la distance entre la source potentiellement polluante et les forages de contrôle. Pour certains types de nappe à fort débit ou à chenaux préférentiels des écoulements souterrains (milieu alluvial, ou karstique, ou fissuré), il peut être nécessaire d'opter pour une fréquence serrée des prélèvements, notamment après certains épisodes pluvieux exceptionnels.

Par ailleurs, les temps de transfert peuvent être différents dans la zone de battement<sup>10</sup> de la nappe où les hautes eaux peuvent alternativement générer des relargages de polluants.

### *2.2.3. Influence des caractéristiques des polluants*

Certaines propriétés, telle que la capacité d'adsorption d'un polluant sur les particules fines de l'aquifère, peuvent engendrer un retard à sa migration. Dès lors que la nature du système aquifère (solide + liquide) et celle du polluant seront connues, on peut déterminer le comportement de ce polluant dans le milieu concerné et le représenter en termes de coefficient de partage ( $K_d$ ). Dans la problématique simplifiée qui nous occupe cette approche peut être considérée suffisante.

En règle générale, du fait que le transit de l'eau et de ses solutés<sup>11</sup> dans le sous-sol sont soumis à divers effets de dispersion, d'adsorption..., les concentrations en polluants diminuent de la source vers l'extrémité du panache. Mais cette diminution ne s'organise pas forcément selon des « tranches ou enveloppes » successives à concentration homogène.

Enfin, la toxicité d'un polluant peut justifier une fréquence plus grande des prélèvements.

---

<sup>10</sup> Zone de battement de la nappe : Tranche de sous sol dans laquelle la surface piézométrique de la nappe évolue entre les périodes de hautes et de basses eaux.

<sup>11</sup> Solutés : composés dissous

#### 2.2.4. Propositions pour établir une fréquence de prélèvement

**Dans un premier temps, une fréquence aléatoire peut être établie** en optant pour des prélèvements relativement serrés, hebdomadaires à trimestriels, sur la base de la connaissance, souvent approximative à ce stade, de la mobilité des polluants recherchés et de la vitesse des écoulements dans la zone non saturée (ZNS) et dans la nappe (ZS). La fréquence choisie doit être justifiée et ne peut être inférieure à une série d'analyse par trimestre.

Quel que soit le contexte, la fréquence des prélèvements sera élaborée à partir d'une estimation des temps de transfert dans la ZNS et dans la ZS en prenant en compte les polluants les plus mobiles, en hautes et basses eaux et pendant les périodes de sollicitation de la nappe si des forages proches sont en cours d'exploitation. Un exemple est proposé dans le tableau 3 précédent.

**Dans un deuxième temps, cette fréquence est ajustée** en fonction des variations constatées, par exemple, au cours d'une durée d'observation d'au moins deux ans. Il sera alors utile de retenir au moins les périodes d'étiage et de hautes eaux ainsi, qu'éventuellement, les phases intermédiaires de remontée et de décrue de la nappe souterraine. La fréquence d'échantillonnage sera d'autant plus grande que l'identification d'une éventuelle pollution est souhaitée dans un temps plus court et que la vitesse des écoulements souterrains et la mobilité des polluants est grande.

### 2.3. PRELEVEMENTS ET ECHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

L'objectif de toute campagne de prélèvement d'eau souterraine pour vérifier sa qualité est d'obtenir des échantillons d'eau aussi représentatifs que possible, à un instant donné, du milieu où ils ont été prélevés.

A cet effet les prélèvements et l'échantillonnage doivent être réalisés selon une procédure rigoureuse et reproductible afin de pouvoir apporter une appréciation sur l'évolution des résultats d'analyses, en considérant au moins les ordres de grandeurs, similaires ou non, entre divers forages d'un même site, ou d'échantillons successifs prélevés au fil du temps dans un même forage.

L'échantillon d'eau envoyé à l'analyse doit être prélevé par une personne compétente, conditionné et conservé de façon efficace dès le prélèvement jusqu'au laboratoire, de telle sorte que sa qualité s'altère le moins possible. Les procédures et les différents types de matériaux des flacons utilisés selon les éléments recherchés doivent être mentionnés sur les bordereaux des résultats fournis. Par ailleurs les fiches de prélèvement et les bordereaux de suivi des échantillons doivent être instruits et conservés par l'exploitant afin d'assurer la traçabilité de l'échantillonnage. Ces documents doivent être obligatoirement joints aux rapports transmis à l'administration, avec les résultats des analyses.

Les prélèvements et l'échantillonnage des eaux souterraines dans un forage devront être réalisés en suivant les recommandations du fascicule de documentations AFNOR X-31-615 (**en cours de réécriture**)

Cela concerne tous les forages du dispositif mis en place, y compris ceux en amont hydraulique.



### **3. Annexe technique : Dimensionnement d'un réseau de forages permettant d'évaluer la qualité de l'eau souterraine**

Il faut veiller à implanter les forages destinés à l'évaluation de la qualité de l'eau souterraine de telle sorte qu'un éventuel panache de polluants de la nappe sera bien intercepté.

Pour cela il faut mettre en place un certain nombre, non défini *a priori*, de forages, chacun d'eux devant :

- être positionné sur les axes d'écoulements préférentiels des eaux souterraines, car le sous-sol est rarement homogène ;
- avoir une profondeur et une hauteur de crépine adéquates pour le contexte (topographie, géologie, hydrogéologie, polluants potentiels...) où il est implanté.

L'objectif de ces forages est, d'une part, de suivre l'évolution piézométrique de la nappe souterraine aux abords du site et d'autre part de :

- permettre la prise adéquate d'échantillons d'eau souterraine pour analyses des éléments recherchés ;
- et pour les cas où un constat de pollution serait établi, permettre de suivre l'évolution de cette pollution.

La mise en place et l'utilisation de ce type de réseau de forages sur ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué, suppose donc en préalable :

- a) l'inventaire des substances et produits susceptibles d'être rencontrés et recherchés dans les sols et les eaux souterraines (cf. 2.1 précédent) ;
- b) une connaissance adéquate et suffisante des contextes géologiques et hydrogéologiques, ainsi que l'environnement anthropique du site (cf. 1 et 3.1) ;
- c) la mise en œuvre de plusieurs forages (cf. 3.2) ;
- d) la définition d'un programme de surveillance (fréquence des prélèvements, protocole...) (cf. § 2 précédent).

Les éléments apportés par les deux premiers points doivent permettre d'estimer au mieux le nombre et le lieu d'implantation des forages en fonction des voies préférentielles des écoulements souterrains, ainsi que la profondeur des forages à réaliser et les caractéristiques de leurs équipements.

La collecte des données (existantes ou acquises) et leur synthèse doivent permettre d'établir la liste des critères pertinents à instruire dans le contexte du site concerné et d'élaborer un cahier des charges argumenté à respecter (mode de foration, type de fluide, matériaux à utiliser pour les tubages, longueur et cotes des crépines, type de ciment, massif filtrant, ...etc. ... ), notamment pour :

- éviter l'accroissement d'une pollution suspectée ;

- éviter sa migration vers une autre partie du sous-sol encore saine, notamment par la mise en connexion d'aquifères superposés ;
- assurer l'efficacité et la pérennité de chacun des ouvrages.

### **3.1. RECHERCHE D'UNE CONNAISSANCE SUFFISANTE DES CONTEXTES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES**

Ces informations sont primordiales pour implanter de façon optimale les forages destinés à évaluer la qualité de l'eau souterraine.

En règle générale, ces informations ont été acquises dans le cadre d'études antérieures telles que les études d'impact ou d'incidence sur l'eau, mais si elles sont insuffisantes ou non disponibles il conviendra de les compléter ou de les acquérir. L'acquisition des données se fait de façon progressive par une phase documentaire, puis si besoin, par des travaux sur le terrain. Elle se fait selon les recommandations apportées par les guides dévolus aux diagnostics de la méthode nationale de gestions des sites (potentiellement) pollués (<http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr>).

Il est rappelé que le site INFOTERRE (<http://infoterre.brgm.fr>) du BRGM regroupe désormais un ensemble de données sur le sous-sol qui peuvent être utilisées dans cette phase d'acquisition des données :

- Banque de données du sous-sol (BSS) : Sondages enregistrés à la BSS et cartes géologiques ;
- Données « eaux » interfaçage avec ADES<sup>12</sup> ;
- Données Sites et sol pollués : accès direct aux bases BASIAS<sup>13</sup> (anciens sites industriels et activités de service) et BASOL<sup>14</sup> (Sites et Sols pollués appelant une action des pouvoirs publics) ;
- Risques naturels : sismiques, inondations...

#### *3.1.1. Compilation documentaire*

**L'étude documentaire consiste à rassembler les informations et documents existants disponibles auprès de divers organismes détenteurs de données. La liste des points à examiner est donnée dans le chapitre 1 précédent.**

Cette compilation documentaire peut ne pas être suffisante (absence d'information sur l'un des paramètres nécessaires à la connaissance du milieu). Des travaux complémentaires sur le terrain sont alors nécessaires.

#### *3.1.2. Les travaux complémentaires de terrain*

L'objectif des travaux complémentaires est de préciser l'information documentaire précédemment recueillie ou d'acquérir des données manquantes, notamment pour orienter la mise en place des forages sur les axes des écoulements souterrains de la

---

<sup>12</sup> ADES : Accès aux Données des Eaux Souterraines. [www.adeseaufrance.fr](http://www.adeseaufrance.fr)

<sup>13</sup> BASIAS : Inventaire des anciens sites industriels et activités de service. <http://basias.brgm.fr>

<sup>14</sup> BASOL : Base de données des sites faisant l'objet d'une action de la part des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. <http://basol.ecologie.gouv.fr>

nappe (failles, chenaux graveleux...). Divers moyens peuvent être utilisés, qui devront être adaptés en fonction du contexte local :

- a) l'exploitation des photos aériennes en vue d'un repérage d'éventuels accidents structuraux. Une première approche peut-être faite en consultant le site Géoportail (<http://www.geoportail.fr>) réalisé par l'IGN et le BRGM, mais l'étude des photos en stéréoscopie ne doit pas être négligée.
- b) l'utilisation de méthodes géophysiques (cf. AFNOR X 31-611-2 et ADEME (1997) « détection et caractérisation appliquées aux sites pollués »), pour le repérage d'axes préférentiels des écoulements souterrains (par exemple la résistivité électrique), l'estimation de l'épaisseur d'éventuels déchets enfouis, la connaissance des formations géologiques sous-jacentes (structures, hétérogénéités...). Les méthodes géophysiques peuvent aussi, parfois, permettre le repérage de certaines zones de terrains pollués ;
- c) le contrôle et la mesure des pendages des indices structuraux de la photo-géologie et des signaux géophysiques par des travaux sur le terrain (tranchées, puits, forages...).

Dans la pratique, il conviendra de tenir le plus grand compte du contexte géologique local, aussi bien pour le choix des méthodes que pour le dimensionnement latéral et vertical des reconnaissances.

Sans prétendre être exhaustif les cas particuliers suivants peuvent être cités :

- formations argileuses surmontant un aquifère (cf. 3.1.2.1),
- formations qualifiées d'hétérogènes dans la mesure où elles sont le lieu de contrastes de perméabilité très importants et discontinus, dans lesquelles on distingue généralement :
  - les formations périglaciaires et les contextes alluviaux (cf. 3.1.2.2) ;
  - les formations karstiques et les milieux fissurés (cf. 3.1.2.3).

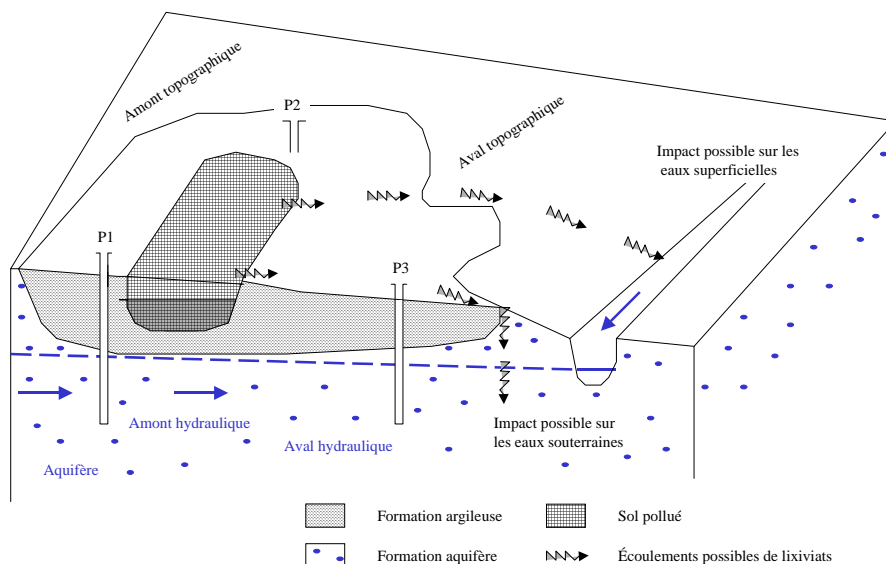


Figure 2 – Exemple des possibilités de pollution d'un aquifère ou d'un cours d'eau à partir d'un site qui serait pourtant implanté sur une formation argileuse. (tels qu'ils sont placés, les forages de contrôle P1 à P3 n'interceptent pas une éventuelle pollution)

### 3.1.2.1. Le site est implanté sur une formation argileuse, surmontant un aquifère

Dans ce cas, les résultats des investigations indirectes telles que les photographies aériennes ou certaines méthodes géophysiques sont difficiles à interpréter. D'autre part, pour définir la zone à contrôler, il conviendra de s'interroger sur les limites de la formation argileuse et de les définir.

### 3.1.2.2. Les formations hétérogènes.

Les formations périglaciaires et les contextes alluviaux, notamment en zone estuarienne, peuvent être caractérisés par des variations importantes de perméabilité. Les lithologies de perméabilités différentes, pouvant amener des contrastes de 1 à 100, alternent de façon pseudo aléatoire dans les trois dimensions ce qui se traduit par des circulations d'eau préférentielles dans les chenaux de plus grande perméabilité.

La taille des hétérogénéités est souvent décamétrique, ce qui rend une cartographie détaillée impossible à obtenir sur de grandes surfaces. Dans ce cas, les méthodes géophysiques peuvent être précieuses pour déceler les chenaux, et elles doivent être mise en œuvre et interprétées par des spécialistes. Il est parfois possible d'utiliser des propriétés des polluants eux-mêmes pour acquérir des informations sur les circulations (par exemple conductivité des chlorures décelable par prospection électrique).

### 3.1.2.3. Les formations karstiques et les milieux fissurés

Dans les milieux fissurés, l'eau ne circule pratiquement qu'à la faveur des failles, fissures et diaclases<sup>15</sup> du bâti géologique. Dans les formations sédimentaires l'eau circule aussi dans les plans de stratifications et dans les pores des roches.

Dans une formation karstique, donc carbonatée, la circulation des eaux se fait surtout dans des fissures ou des conduits plus ou moins ouverts, en tous cas très perméables. Dans ce cas, idéalement, il faut implanter les forages de façon à ce qu'ils recoupent les chenaux et les conduits où l'eau circule, car les épontes<sup>16</sup> sont peu perméables. Dans certains cas, la géophysique peut aider au repérage des cavités et chenaux ou des zones moins compactes ou moins denses traduisant une abondance de fissures ou de conduits ouverts.

Lorsque les données géologiques et hydrogéologiques sont acquises, une campagne de foration de piézomètres<sup>17</sup> peut alors être envisagée pour les vérifier, avant l'élaboration du cahier des charges relatif à la réalisation du réseau d'évaluation de la qualité des eaux souterraines du site à étudier.

Le réseau de forages destiné à mesurer la qualité de l'eau souterraine peut, à terme, être identique au réseau piézométrique qui vient d'être évoqué, mais pour cela des précautions préalables sont nécessaires ; c'est l'objet du chapitre suivant.

---

<sup>15</sup> Diaclase : fracture de la roche

<sup>16</sup> Epontes : limites d'un filon, ou dans le cadre de ce texte, les bords de la voie de transfert préférentiel d'un écoulement des eaux souterraines.

<sup>17</sup> Piézomètre : forage servant à mesurer la cote altimétrique (hauteur piézométrique) de la surface de la nappe en un point donné d'un aquifère.

Dans les cas où les formations aquifères sont très hétérogènes, il est quelquefois difficile d'acquérir une connaissance suffisante du sous-sol, nécessaire à l'implantation des forages destinés à mesurer la qualité de l'eau souterraine. Dans ces cas il peut être envisagé d'augmenter le nombre de forages en considérant que l'on obtiendra ainsi un « échantillonnage » des points d'observation des eaux souterraines dans les différentes conditions du sous-sol très hétérogène.

Un traçage peut, si besoin, être envisagé en utilisant les éventuels ouvrages préexistants, afin de s'assurer qu'un produit polluant s'infiltrant sur le site sera intercepté dans les forages en aval hydraulique. Une estimation des paramètres hydrodispersifs et du temps de transfert des écoulements souterrains pourra être établie et étayer une modélisation.

### 3.2. LES STRUCTURES A METTRE EN PLACE

Les questions qui se posent à ce stade de la réflexion pour mettre en place un réseau de forages destinés à évaluer la qualité de l'eau souterraine sont :

- dans quelles directions peuvent s'écouler la nappe souterraine et les éventuels polluants contenus, au droit ou à proximité du site ? (cf. 3.2.1),
- combien de forages faut-il prévoir ? où et comment les implanter ? (cf. 3.2.2),
- quelle profondeur faut-il envisager pour chacun des forages ? (cf. 3.2.3).

#### 3.2.1. *Recherche des sens et des axes d'écoulement souterrains d'une nappe et des éventuels polluants qu'elle contiendrait*

Le sens d'écoulement d'une nappe en un lieu peut dépendre d'un ou de plusieurs des paramètres ci-dessous :

- la topographie,
- la structuration (pendage des couches, plissement, érosion, fractures...) des formations de l'aquifère et de son plancher (cf. fig. 3 à 6),
- la piézométrie en hautes et basses eaux de la nappe (cf. fig. 7) :
  - pour toutes situations **de surveillance**, les courbes isopièzes<sup>18</sup> doivent être calées sur le Niveau Général de la France (NGF) ;
  - ces courbes doivent être présentées sur une carte où les cotes de la surface des plans d'eau superficiels doivent figurer,
- les conditions aux limites (zone d'alimentation, de résurgence, de drainage par une rivière),
- éventuellement, dans certains cas, la pluviométrie saisonnière,
- les pompes existants à proximité et leur évolution.

Il faut rappeler que la qualité d'une carte piézométrique doit s'apprécier en fonction :

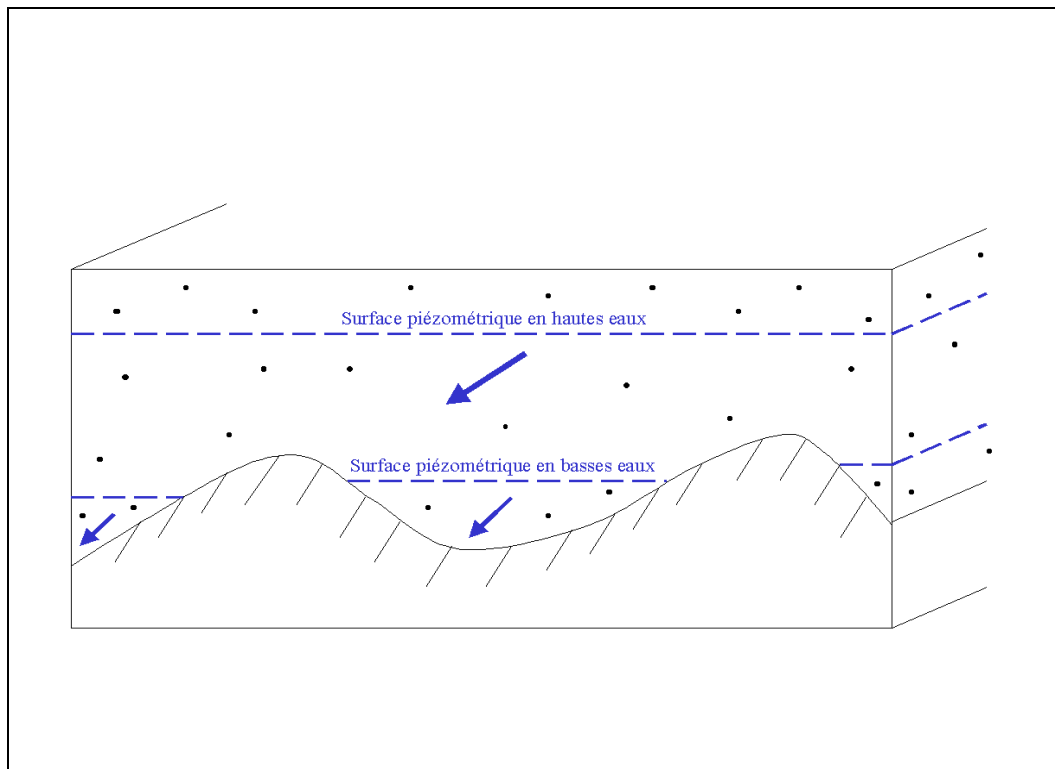
---

<sup>18</sup> Courbe isopièze : courbe joignant les points de la surface de la nappe se trouvant à la même altitude

- de levés piézométriques les plus synchrones possible,
- de leur précision (de l'ordre de quelques centimètres) et donc de la qualité du nivellement des têtes de forages ayant servi de repères aux levés piézométriques. La précision des nivellements et de la piézométrie devra être d'autant plus grande que la topographie est peu vallonnée ou que les gradients hydrauliques sont faibles,
- de la densité géographique des points d'observation.

Les lieux de recherche d'un éventuel panache de polluants dépendent:

- du sens et des axes des écoulements souterrains de la nappe, lesquels peuvent varier en fonction des hautes ou basses eaux (cycles saisonniers, pompages dans l'aquifère concerné) et de la structuration géologique, d'où la nécessité d'avoir un historique piézométrique détaillé sur au moins deux cycles annuels, couplé à la pluviométrie afin d'estimer l'influence des précipitations efficaces à diverses périodes sur la recharge de la nappe ;
- dans le cas où l'on recherche des polluants en phase séparée (LNAPL ou DNAPL), des caractéristiques (densité, solubilité, potentiel d'adsorption...) des polluants recherchés (cf. fig. 8).



*Figure 3 – Coupe hydrogéologique : exemple de plissement ou d'érosion du plancher d'une nappe pouvant générer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en période d'étiage qu'en période de hautes eaux.*

Dans le cas des formations alluviales hétérogènes où les différences de perméabilité créent des variations latérales importantes (sables, argiles, graviers) dans les écoulements souterrains on constate souvent que :

1. au début des pollutions, ce sont les zones perméables où les transferts de fluide sont les plus rapides qui sont contaminés ;
2. en phase de « maturité » de la pollution, le panache de polluant est réparti de façon grossièrement homogène ;
3. quand la source polluante est tarie, ce sont les zones perméables qui se « résorbent » le plus vite, les polluants restant confinés dans les poches argileuses.

La répartition des polluants, varie évidemment dans l'espace et dans le temps. Par exemple à l'instant (t), on peut avoir près d'une ancienne source polluante tarie, des zones perméables « propres » et des argiles contaminées, et l'inverse en zone distale.

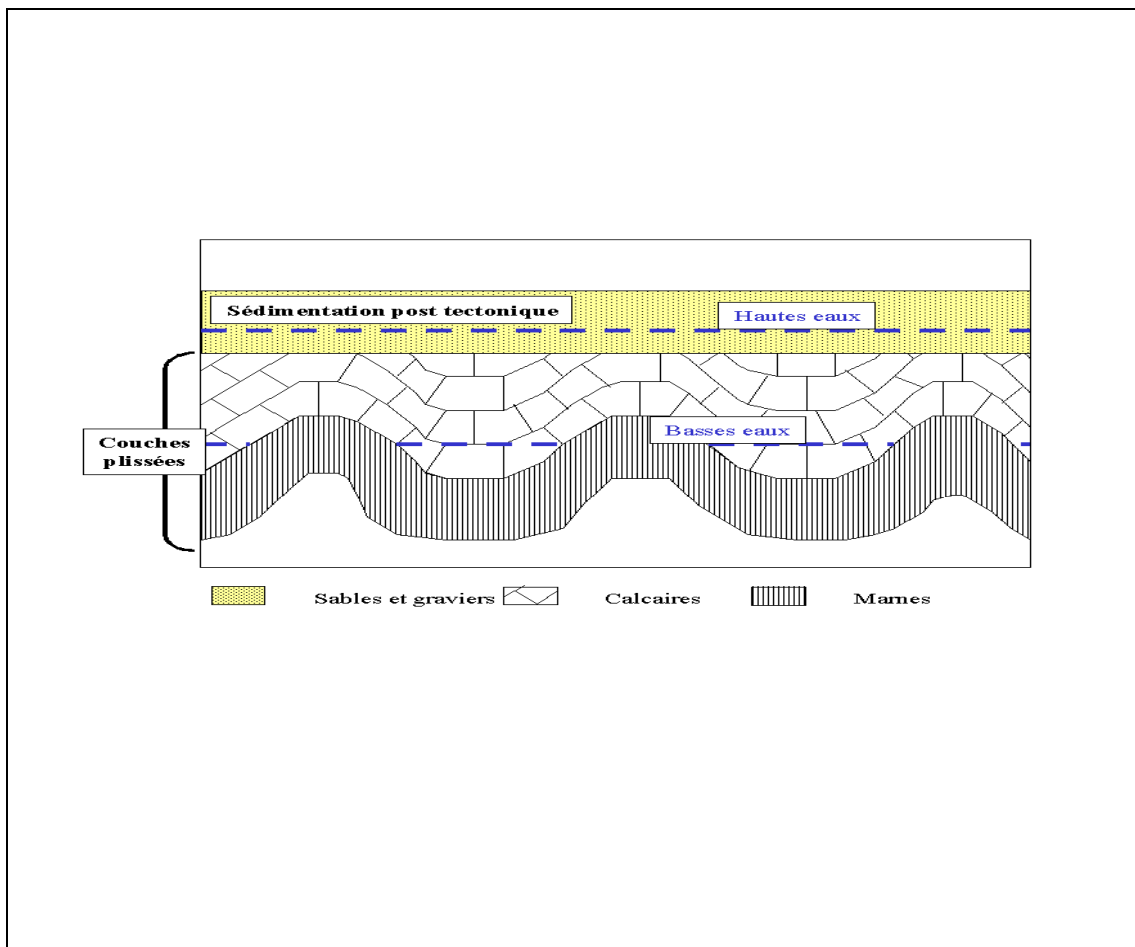


Figure 4 – Coupe hydrogéologique : exemple de plissement des couches géologiques pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en période d'étiage de la nappe qu'en période de hautes eaux.

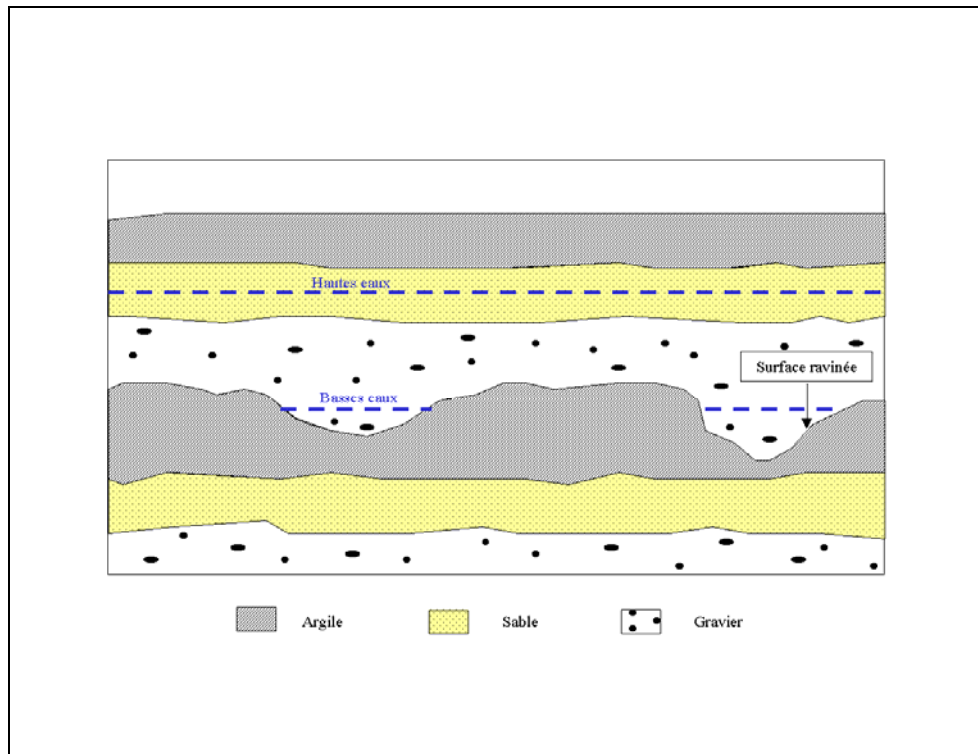


Figure 5 – Coupe hydrogéologique : exemple de couches géologiques érodées pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits en fonction de la piézométrie.

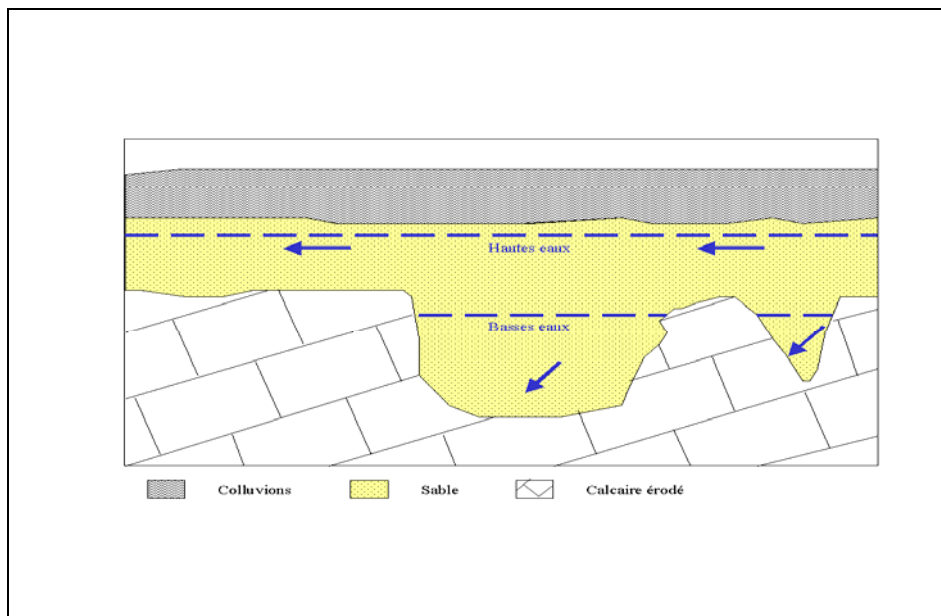


Figure 6 – Coupe hydrogéologique : exemple de couches géologiques érodées pouvant engendrer des chenaux d'écoulements souterrains plus étroits, ainsi que des sens d'écoulement différents, en fonction de la piézométrie.



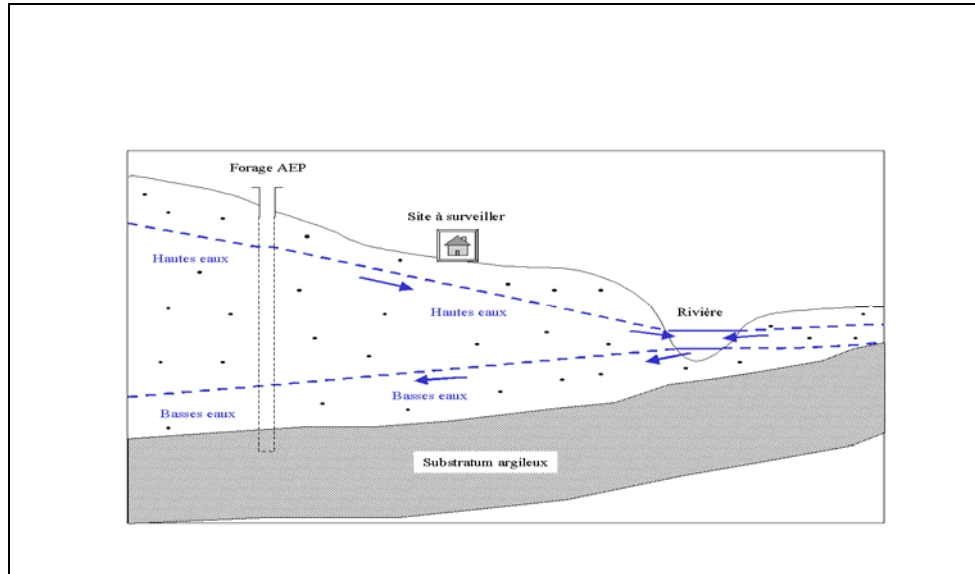


Figure 7 – Sens d'écoulement différents d'une nappe selon qu'elle est en haute ou en basse eaux, compte tenu du pendage du substratum de l'aquifère.

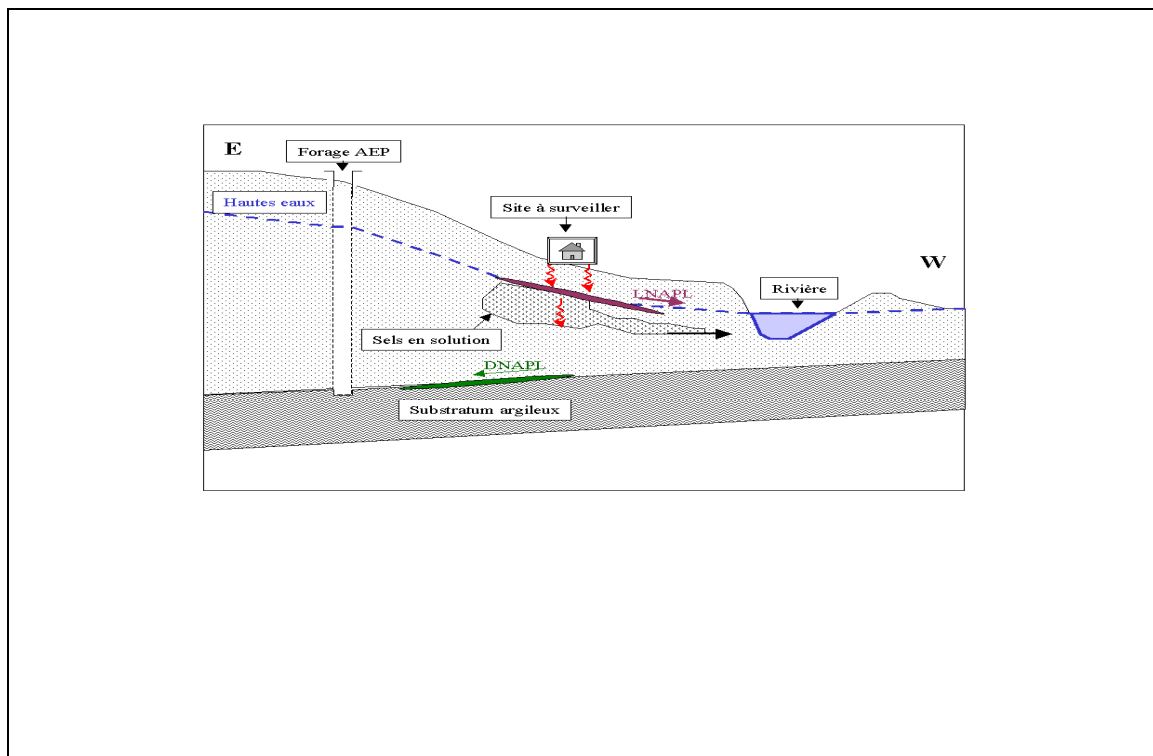


Figure 8 – Sens d'écoulement différents des pollutions pour un même état piézométrique de la nappe compte tenu du pendage du substratum de l'aquifère et des caractéristiques des polluants.

### 3.2.2. Combien faut-il de forages ? Où et comment les implanter ?

Deux cas sont à considérer :

- **dans un milieu poreux** supposé homogène et isotrope, et dans le cas d'un unique sens d'écoulement, donc hors dôme piézométrique, un minimum de trois piézomètres, non alignés, pourrait théoriquement être envisagé, mais la pratique montre qu'il est toujours difficile de déterminer l'homogénéité et l'isotropie<sup>19</sup> du milieu avec certitude ; l'option des trois forages s'avère donc souvent insuffisante ;
- **dans un milieu hétérogène, fissuré ou karstique**, l'homogénéité des écoulements n'existant pas, hormis dans les chenaux et conduits, il conviendra de s'assurer de pouvoir contrôler les différents axes de circulations préférentielles des eaux souterraines, ou tout au moins les principaux.

Par conséquent, quel que soit le milieu, il faudra envisager au moins autant de forages qu'il y a d'axes préférentiels d'écoulement souterrain de la nappe (cf. fig. 9 et 10), sans oublier le ou les forage(s) en amont hydraulique du site concerné.

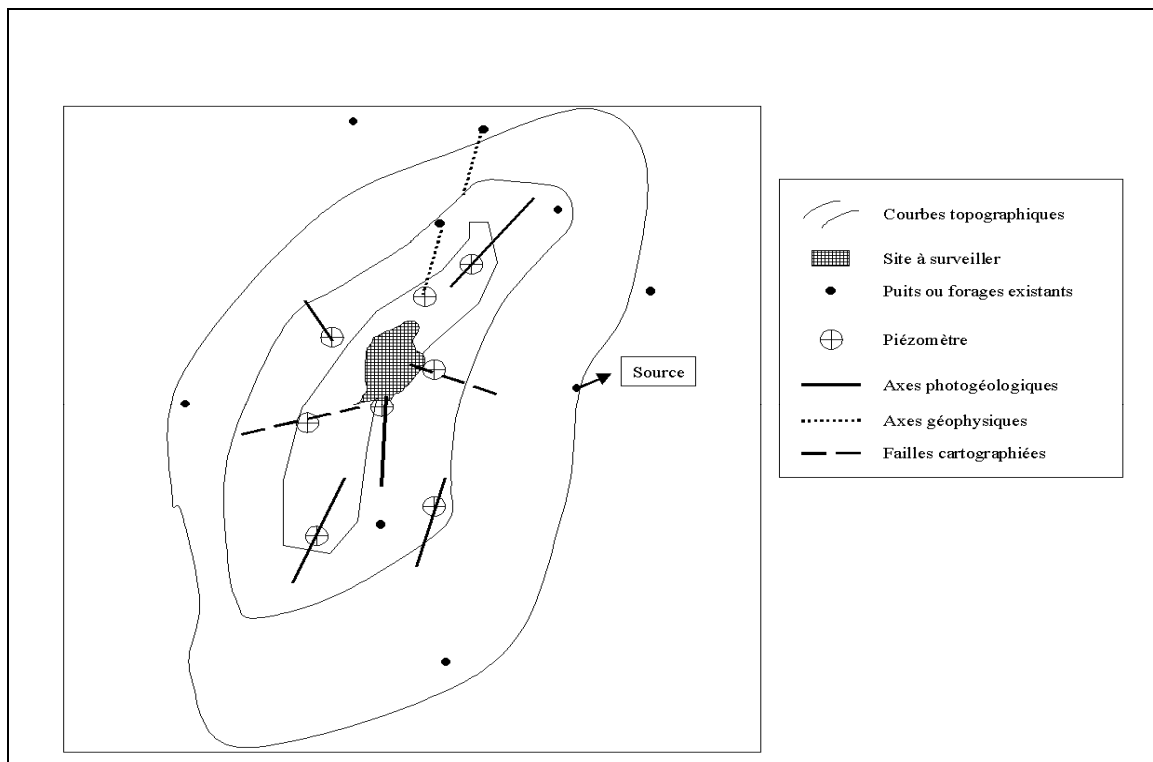


Figure 9 - Exemple d'implantation de piézomètres localisés sur des éléments structuraux, photo-géologiques et/ou géophysiques.

<sup>19</sup> Isotropie : caractère d'un milieu dont les caractéristiques physiques sont identiques dans toutes les directions

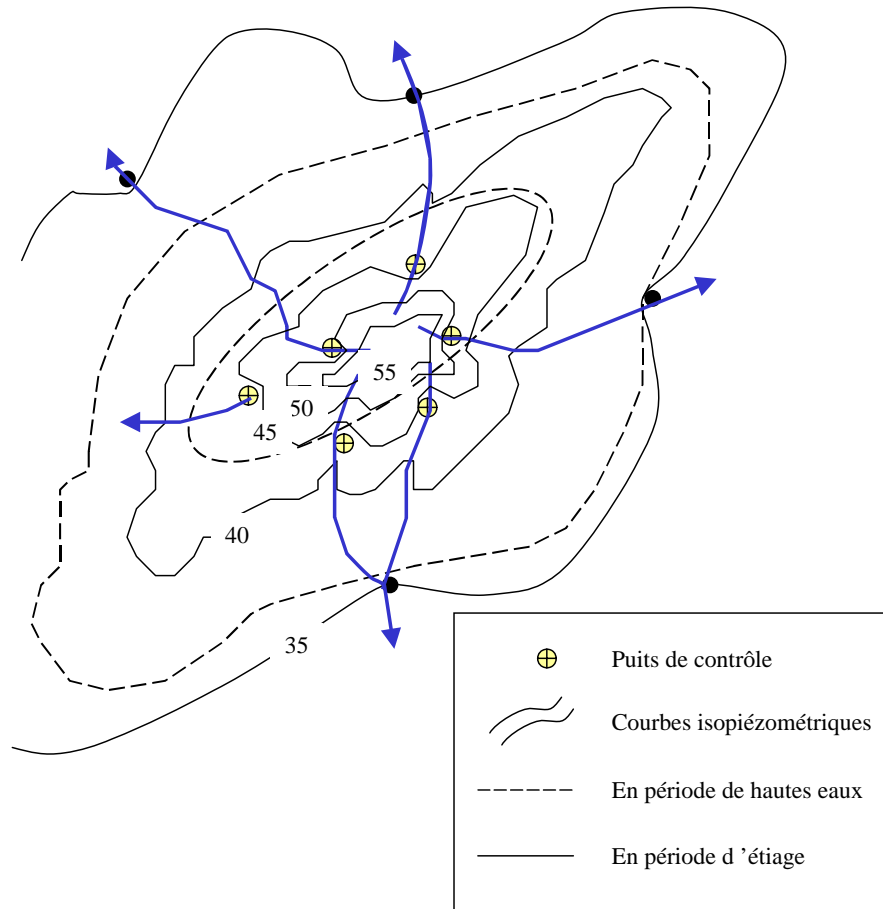


Figure 10 - Exemple de forages de contrôle implantés sur une carte piézométrique d'étéage.

**(La carte piézométrique de hautes eaux n'aurait pas donné la position précise des axes des écoulements souterrains)**

Les forages à mettre en place pour constituer le réseau d'évaluation de la qualité de l'eau souterraine devront répondre de façon adéquate, en termes de diamètre et d'équipement, à la mission d'échantillonnage des eaux souterraines qui leur est dévolue. Ils devront être réalisés en suivant les recommandations du fascicule de documentation AFNOR relatif à la « réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine » FD-X 31 614 d'octobre 1999 (cf. document guide N° 6).

Certains des ouvrages préexistants sur le site ou à l'extérieur du site (puits des particuliers, forage agricole...) bien implantés pourront aussi servir à mesurer la qualité de l'eau souterraine, dès lors qu'ils répondront aux exigences techniques de ce type d'ouvrage (cf. FD X31-614) dans le contexte (géologique, hydrogéologique et types de polluants) du site étudié. Il faut donc s'en assurer avant de les utiliser dans le cadre d'une campagne de prélèvement d'eau souterraine.

A défaut, et pour les ouvrages préexistants défectueux ou ne remplissant plus de mission particulière, le rebouchage par coulis de bentonite<sup>20</sup> ciment doit être envisagé lorsqu'ils peuvent constituer des voies de migration potentielle des polluants éventuellement contenus dans les terrains traversés ou venant de la surface. Pour être efficace, le rebouchage, avec accord des propriétaires, peut devoir préalablement nécessiter l'enlèvement de l'équipement défectueux et le massif filtrant s'il existait, afin d'éviter toute possibilité de migration verticale de polluants par cette voie.

En plus de considérations développées ci-dessus, la position des forages de contrôle dépend de l'objectif du réseau de forages mis en place.

#### *3.2.2.1. Réseau A : Détection, recherche et caractérisation d'une éventuelle pollution des eaux souterraines au droit ou à proximité d'un site (potentiellement) pollué*

Dans ce cas, il suffit théoriquement de prélever les eaux de la nappe, au droit des voies de migrations potentielles des polluants ; la profondeur du prélèvement devant être fonction de la densité des polluants recherchés et du contexte géologique. En pratique, il n'est pas toujours possible de se positionner strictement au droit de la source ou du point d'entrée potentiel des polluants dans la nappe, il faut alors prévoir des forages à l'aval hydraulique immédiat des écoulements potentiels des polluants.

#### *3.2.2.2. Réseau B : Suivi de l'évolution d'un panache de polluants dans les eaux souterraines*

Dans la surveillance d'un panache de polluant, il est important de suivre les limites du panache, afin d'apprécier ses déplacements, et sa composition en termes de concentrations et de nature des polluants, ceux-ci pouvant en effet se dégrader naturellement. Il faudra donc implanter quelques forages dans "le cœur" du panache (ceux-ci peuvent être les forages évoqués en 2.2.1), mais aussi avoir une ceinture d'ouvrages autour de celui-ci, implantés dans des zones non polluées. Ces ouvrages doivent être complétés par d'autres en aval hydraulique dès qu'ils sont touchés par la pollution.

#### *3.2.3. Quelle profondeur faut-il envisager pour chacun des forages destinés à l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe ?*

La profondeur d'un forage destiné à évaluer la qualité de l'eau souterraine peut dépendre de plusieurs facteurs. Le tableau 2 résume les paramètres à prendre en compte pour établir les profondeurs des forages à implanter, en fonction du contexte et du type de réseau envisagé.

---

<sup>20</sup> Bentonite : un type d'argile smectique

### 3.2.3.1. *Les facteurs à prendre en compte*

Il s'agit :

**A** - des contextes géologiques et hydrogéologiques, et plus particulièrement du type d'aquifère (homogène ou non, stratifié, karstique, fissuré ...), de la profondeur de la surface piézométrique d'étiage de la nappe et de celle du mur de l'aquifère. Rappelons à ce sujet qu'un aquifère est constitué par une formation géologique plus ou moins profonde et qu'il peut être composé d'une zone non saturée en eau (ZNS) et d'une zone saturée (ZS) constituant la nappe, chacune de ces deux composantes pouvant être plus ou moins épaisse.

**B** - de la distance séparant le forage de la source générant les polluants, et donc de l'objectif du réseau de forages mis en place. En effet un panache de polluants, dont l'importance est fonction, notamment, de la solubilité et de la quantité de polluant ayant atteint la nappe, peut se déplacer dans l'eau souterraine, en milieu poreux, selon une propagation longitudinale et latérale mais aussi en s'enfonçant selon la verticale. Une modélisation peut s'avérer utile. La profondeur d'un forage destiné à évaluer la qualité de l'eau souterraine sera donc d'autant plus grande qu'il est plus éloigné de la source potentiellement polluante (cf. fig. 11).

**C** - de la nature et des propriétés des polluants recherchés.

### 3.2.3.2 *Les contextes hydrogéologiques les plus courants*

Quatre grands types de cas peuvent approximativement être envisagés, selon que le substratum, appelé aussi « plancher » ou « mur », de l'aquifère est profond ou pas

#### **A. Les aquifères des formations alluviales, actuelles ou anciennes, dont la profondeur du plancher est le plus souvent inférieure à 30 m**

Dans la majorité des cas, les sites sont implantés sur des alluvions actuelles ou anciennes, constituant une formation aquifère hétérogène, laquelle peut être sub-affleurante en surface, ou parfois sous une couche de limons ou de remblais. Le substratum de la nappe est dans ces cas, relativement peu profond, quelques mètres à une trentaine de mètres. D'autres formations aquifères, non alluviales, peuvent aussi être dans ce cas.

#### **B. Les aquifères dont le plancher est profond, supérieur à 30 m**

De nombreux autres cas, à ne pas négliger, concernent des sites installés au droit d'aquifère dont le toit peut être profond et la nappe épaisse, dont le substratum peut se trouver à des profondeurs supérieures à 30m par rapport à la surface. Cela est souvent le cas de l'aquifère de la craie, lequel se trouve parfois sous des limons de couverture d'épaisseur variable.

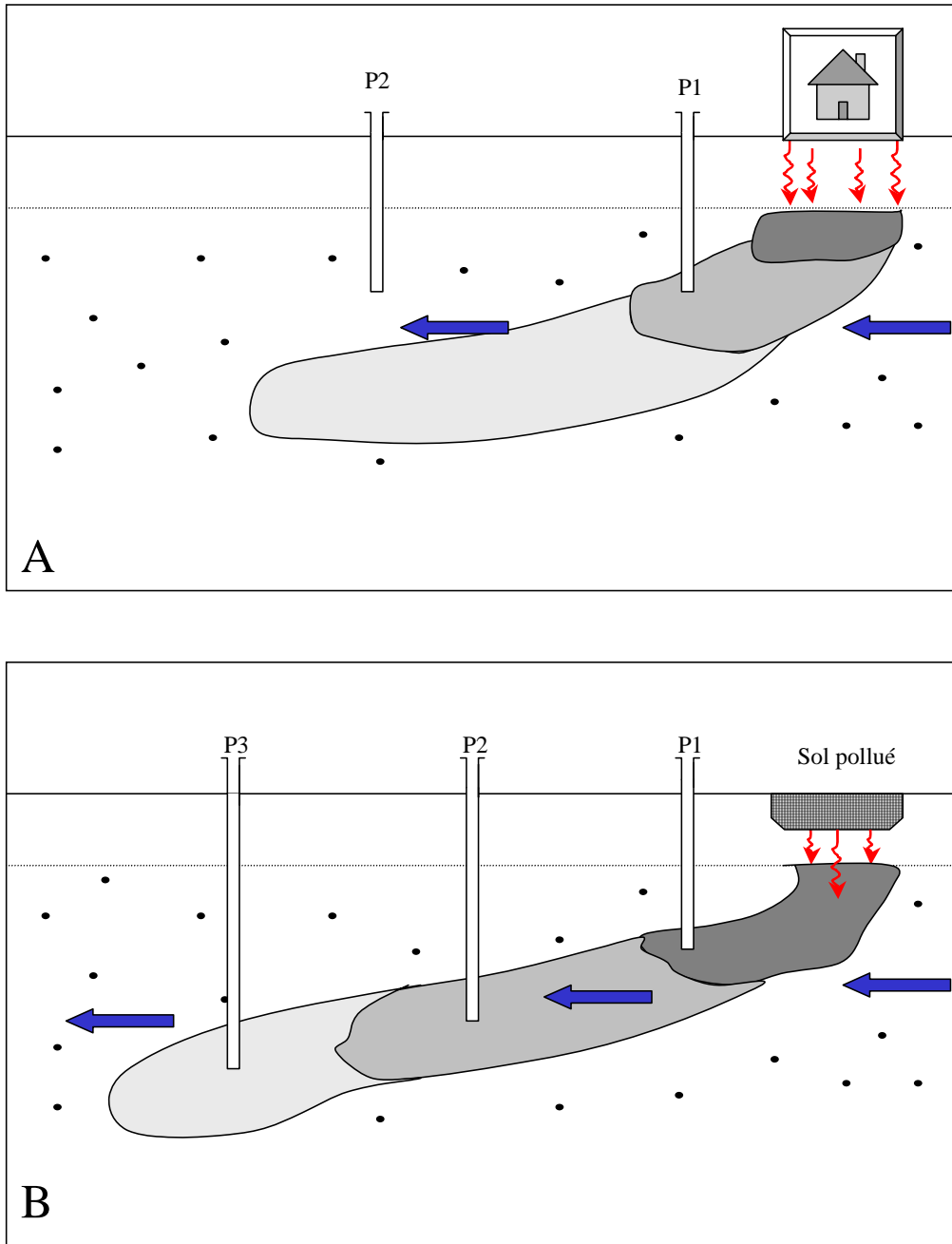


Figure 11 - Exemple d'une profondeur insuffisante (A) du forage P2, éloigné de la source de pollution et de forages de plus en plus profonds (B) en fonction de la distance les séparant de la source polluante.

### C. Les aquifères particuliers

Il existe aussi de nombreux sites sur des formations à perméabilité fissurale (cf. fig. 12) ou karstique.

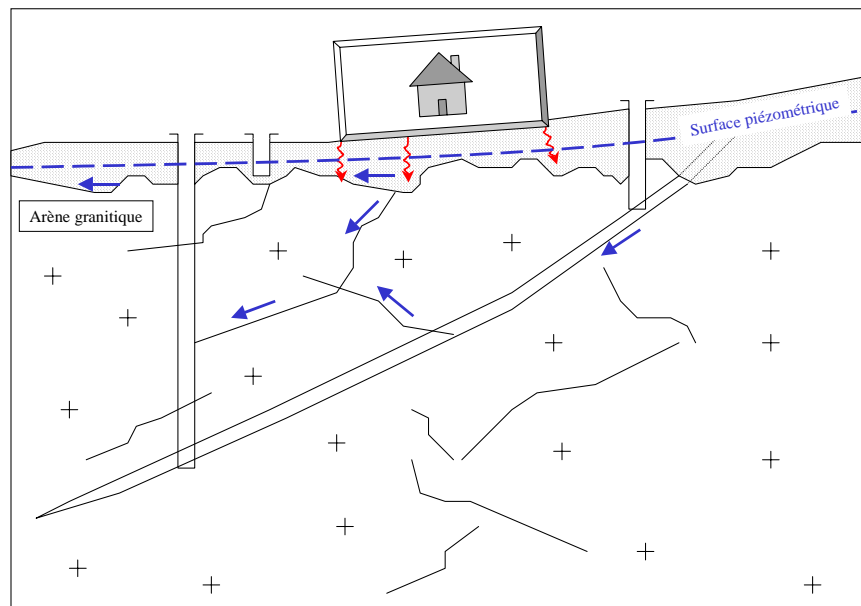


Figure 12 - Exemple d'un site localisé sur socle (milieu fissuré) illustrant la nécessité de forages de contrôle profonds de façon à capter aussi les structures faillées en profondeur.

#### D. Les aquifères superposés et les cas mixtes

Ce sont tous les cas des sites implantés sur :

- une formation alluviale dont la nappe est en relation avec un aquifère carbonaté sous-jacent, lequel peut aussi être karstifié,
- des aquifères stratifiés (cf. fig. 13), ou ceux superposés séparés par des formations argileuses relativement peu épaisses, pluri décimétriques à quelques mètres au plus (cf. fig. 14).

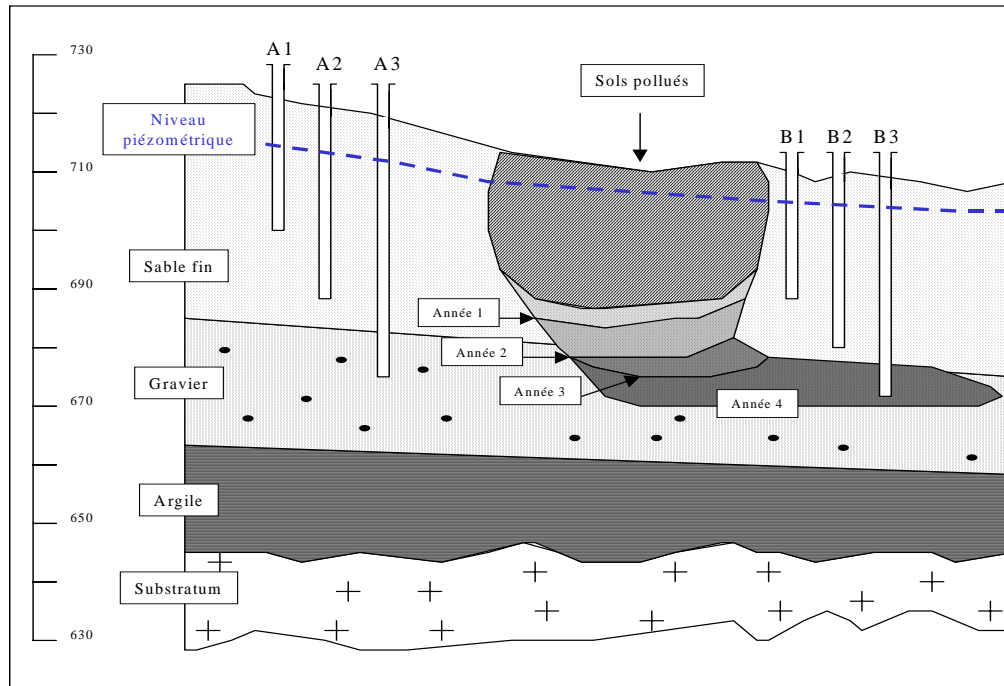


Figure 13 - Exemple de mouvement d'effluents dans un aquifère stratifié dont les horizons supérieurs sont peu perméables (Nielsen and Yeates 1991).

- NB :**
- a) Le type de polluant et la concentration de ces polluants peut varier au fil des saisons ou des années, engendrant une succession de tranches d'eau à composition sensiblement différentes.
  - b) La propagation la plus importante du panache de polluants a été constatée dans les horizons les plus perméables



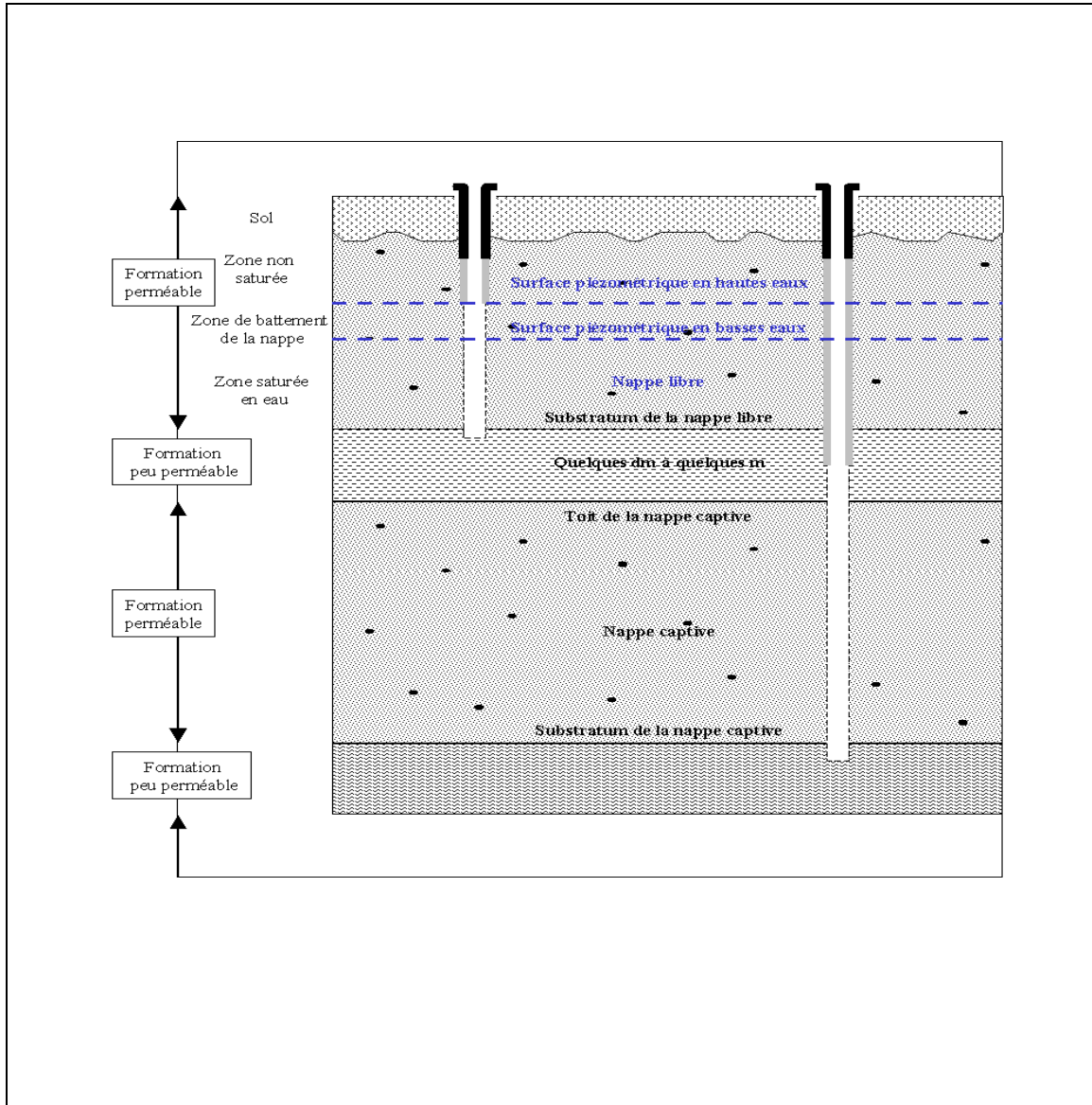


Figure 14 - Exemple de deux aquifères superposés séparés par une formation peu perméable, de type argileux par exemple.

## **VI - Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué**

**NB :** Le présent document reprend le **fascicule de documentation AFNOR existant FD X31 614 d'octobre 1999, spécifiquement ciblé sur la « Réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué »** lequel comporte trois annexes (non présentées dans ce propos), à consulter dans le document AFNOR originel.

Cette reprise vise :

- d'une part, à le compléter par des références à certain paragraphes de la **norme AFNOR NF X10-999 d'avril 2007, relative aux « Forages d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines »**, laquelle norme peut enrichir le FD X31-614 par certains aspects ;
- d'autre part, à le mettre en cohérence par rapport à l'ensemble du guide dont il fait partie (cf. références aux divers modules de ce guide) ;
- et enfin à y rajouter des réflexions qui tendent à combler certaines lacunes apparaissant dans chacun des deux documents normatifs précités.



# Sommaire

<b>Avertissements et sécurité</b>	<b>5</b>
<b>1. Domaine d'application</b>	<b>9</b>
<b>2. Généralités</b>	<b>9</b>
2.1. REFERENCES NORMATIVES	9
2.2. DEFINITIONS	10
2.3. ABREVIATIONS	11
<b>3. Réalisation du forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine</b>	<b>13</b>
3.1. OBJECTIFS DES FORAGES DE CONTRÔLE OU DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE	13
3.2. REFLEXIONS PREALABLES SUR LES OUTILS DE PRELEVEMENT	14
3.3. CHOIX DU DIAMETRE DE FORATION	14
3.4. TECHNIQUES DE FORATION ET RECOMMANDATIONS	15
3.4.1. Prévention des pollutions par l'atelier de foration	15
3.4.2. Prévention des pollutions par mélange de nappes	16
3.4.3. Evacuation des déblais de foration	16
3.5. FLUIDES UTILISES LORS DE LA FORATION	17
3.6. NATURE DES TUBAGES ET CREPINES, ET RISQUES DE COLMATAGE	18
3.6.1. Les tubes PVC et PEHD	18
3.6.2. Les tubes acier ou acier inox	19
3.6.3. Le colmatage des crépines	20
3.7. TYPE DES CREPINES ET LEUR POSITIONNEMENT DANS LE FORAGE	20
3.7.1. Repérage des niveaux perméables	21
3.7.2. Influence des formations aquifères à contrôler	21
3.7.2. Considérations sur la densité des substances recherchées	22
3.7.3. Inconvénient d'une crépine longue lors des prélèvements d'eau	22
3.8. MASSIFS FILTRANTS	23
3.9. CIMENTS ET PROCEDURE DE CIMENTATION	24
3.9.1. But de la cimentation	24
3.9.2. Choix du ciment	25
3.9.3. Procédure de cimentation	26
3.10. DEVELOPPEMENT DU FORAGE APRES EQUIPEMENT	26
3.11. PROTECTION, REPERAGE ET NIVELLEMENT DE LA TÊTE DU FORAGE.	27

3.11.1. Protection physique de l'ouvrage	28
3.11.2. Protection contre le vandalisme par capots et cadenas	29
3.11.3. Protection vis à vis des eaux superficielles	30
3.11.4. Repérage et nivellement des piézomètres	30
<b>3.12. COMPTE RENDU DES TRAVAUX</b>	<b>31</b>
<b>4. Bibliographie</b>	<b>35</b>

## Avertissements et sécurité

Sur de nombreux points, ce document ne peut qu'orienter le lecteur vers les questions à se poser et les réflexions à mener, afin que l'ouvrage réalisé pour le contrôle ou le suivi dans le temps de la qualité de l'eau souterraine puisse espérer atteindre les objectifs qui lui sont assignés (voir 3.1). Il a donc été convenu de présenter ce propos sous la forme d'un fascicule de documentation et non pas d'une norme homologuée.

### En préalable

Il est nécessaire de souligner qu'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine peut être inapte à sa mission s'il est mal implanté. Certaines réflexions, relatives au nombre de forage à mettre en place et à leur implantation, doivent donc nécessairement être abordées en préalable à la réalisation de ce type de forage.

Cet avertissement est destiné à rappeler, sous forme condensée, les grandes lignes des études préliminaires à mener avant la conception et la réalisation des forages de contrôle de la qualité de l'eau souterraine.

Pour espérer atteindre les objectifs évoqués dans le chapitre 3.1. de ce document normatif, un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine doit être implanté de telle sorte qu'il intercepte au mieux un éventuel panache de polluant imputable au site étudié (cf. document 5 du guide : Conception et mise en œuvre d'un dispositif de surveillance de la qualité des ESO ».

Sa mise en place sur, ou à proximité, d'un site potentiellement pollué suppose donc en préalable :

- a) une connaissance suffisante du contexte géologique et hydrogéologique ;
- b) l'inventaire des substances et produits susceptibles d'être rencontrés dans les sols et les eaux souterraines, ce qui implique une enquête historique sur les diverses activités qui ont pu être exercées sur ce site.

Les éléments apportés par les points a) et b) précédents permettent d'estimer au mieux le nombre et le lieu d'implantation des ouvrages en fonction des voies préférentielles des écoulements souterrains, ainsi que la profondeur des forages à réaliser et de leurs équipements. Celle-ci doit être établie en fonction du contexte hydrogéologique, des caractéristiques hydrodynamiques, connues ou présumées, de l'aquifère, de la nature des polluants à rechercher en tenant compte des activités anciennes et actuelles du site étudié, et de la distance qui sépare chacun des forages de la (ou des) source(s) potentiellement polluante(s).

Ces données permettent d'établir un cahier des charges techniques à respecter (mode de foration, type de fluide, matériaux à utiliser pour les tubages, longueurs et cotes des crépines, type de ciment, massif filtrant, ....etc. ... ), notamment pour :

- éviter l'accroissement d'une pollution suspectée ;
- éviter sa migration vers une autre partie du sous-sol encore saine, notamment par la mise en contact d'aquifères superposés ;
- assurer l'efficacité et la pérennité de l'ouvrage.

Une attention particulière doit être apportée à l'existence d'éventuels autres ouvrages de contrôle ou de prélèvement captant le même aquifère. Le rebouchage, par une procédure et des matériaux adéquats, des forages et piézomètres préexistants, défectueux ou ne remplissant plus de mission particulière doit être envisagé afin de ne pas maintenir des voies de migration potentielle des polluants éventuellement contenus dans les terrains traversés ou venant de la surface. Ce rebouchage, pour être efficace, peut devoir nécessiter l'enlèvement de l'équipement défectueux et de l'ancien massif filtrant s'il existait, afin d'éviter toute possibilité de migration verticale de polluants par cette voie.

L'étude préalable, d'importance capitale, se fait notamment par compilation documentaire de rapports, cartes topographiques, pédologiques et géologiques, banque de données du sol et du sous-sol, ... et par consultation de divers organismes pouvant détenir ces données. Cette compilation documentaire peut ne pas être suffisante du fait de l'absence possible d'informations sur l'un des paramètres indispensables à la connaissance du milieu.

Une visite détaillée du site et des travaux préliminaires sur le terrain sont alors nécessaires, dont l'objectif est de préciser l'information documentaire précédemment compilée ou d'acquérir des données manquantes, notamment pour orienter la mise en place de chaque forage de contrôle, ou pour s'assurer de leur bonne implantation. Ces travaux sur le terrain peuvent être non destructifs (photogéologie, étude structurale, géophysique, traçage, etc., ... ), et/ou destructifs (fouille, piézomètre de 1ère phase...).

### **Sur l'aspect administratif**

Il faut souligner qu'avant l'ouverture d'un chantier de foration en domaine public, le maître d'ouvrage et/ou le maître d'œuvre consulte le(s) concessionnaire(s) des réseaux enfouis, et l'entreprise de foration doit établir une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) à adresser au concessionnaire. En domaine privé, l'industriel doit procéder à une démarche identique, devant aboutir à une autorisation de travaux.

Il est aussi rappelé que la réalisation de certains forages est soumise à autorisation préalable de l'Administration en fonction de leur profondeur ou de leur débit d'exploitation, variable selon les régions.

Par ailleurs, tout forage de plus de 10 mètres de profondeur doit être déclaré par le maître d'ouvrage au Code Minier en remplissant le formulaire adéquat à envoyer à la Direction Régionale de l'Industrie de la recherche et de l'Environnement (DRIRE) afin qu'il soit enregistré en Banque de données du Sous-sol (BSS) du BRGM.

Enfin, un forage devenant un POINT D'EAU, c'est-à-dire soit un piézomètre, soit un qualitomètre, doit être renseigné selon les indications du SANDRE<sup>1</sup> qui a établi le langage commun pour toutes les données relatives aux EAUX. Dans le cadre d'une surveillance de la qualité des eaux souterraines les résultats analytiques et les données piézométriques associées seront bancarisés, à cours termes directement par les industriels, dans la banque de données ADES (Accès aux données des Eaux souterraines).

Les recommandations relatives aux aspects administratifs sont à compléter avec le chapitre 4 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

## **Sécurité**

Chaque fois qu'un maître d'ouvrage commande des prestations de forage il doit s'assurer du respect des règles de sécurité applicable pour ce type d'activité.

Il doit aussi être vigilant sur les dangers liés à la présence d'éventuels polluants, notamment aux émanations gazeuses, risques d'explosion, contacts avec des substances chimiques, ... .

Dans le cas de la réalisation de forages sur un site (industriel ou autre), qu'il soit ou non en activité, il se réfère à la réglementation en vigueur relative aux interventions d'entreprises extérieures (notamment au décret numéro 92-158 du 20 février 1992), et chaque fois qu'il y a co-activité, aux interventions simultanées de plusieurs entreprises (notamment à la loi numéro 93-1418 du 31 décembre 1993).

Les recommandations relatives à la sécurité sont à compléter avec le chapitre 5 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

---

<sup>1</sup> EDILABO et SANDRE : <http://www.sandre.eaufrance.fr>





# 1. Domaine d'application

Ce document s'applique à la conception et à la réalisation des forages de contrôle de la qualité de l'eau souterraine.

Il ne concerne pas les études, relatives au nombre et à la localisation des forages, à mener en préalable à leur réalisation (voir avertissement), ni celles relatives aux modalités d'échantillonnage des terrains traversés ou de l'eau souterraine.

Compte tenu de la diversité des contextes géologiques et hydrogéologiques susceptibles d'être rencontrés, et de la multitude des produits et substances susceptibles d'être présents ou recherchés dans les formations traversées et l'eau souterraine, il apparaît impossible d'imposer une technique ou un matériau particulier pour la réalisation de ce type de forage.

## 2. Généralités

### 2.1. REFERENCES NORMATIVES

A ce jour, il existe une autre référence normative sur le thème général des « Forages d'eau et de géothermie ». Il s'agit de la norme AFNOR **NF X10-999 d'avril 2007, relative à la « Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines »**. Il y sera fait référence chaque fois que nécessaire afin d'enrichir le présent document, repris du **FD X31 614 d'octobre 1999, spécifiquement dédié à la « Réalisation d'un forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine au droit d'un site potentiellement pollué »**.

Il sera, par ailleurs, utile de consulter les autres documents normatifs évoqués dans certains chapitres de ce fascicule de documentation et référencés ci après :

#### **Pour le chapitre 3.4. :**

- XP P 94-202 : - AFNOR (1995) - Sols : reconnaissance et essais - Prélèvements des sols et des roches ; Méthodologie et procédures (décembre 1995).

#### **Pour le chapitre 3.6.1. :**

- NFT 54-004 : - AFNOR, (1978) - Tubes et raccords en polychlorure de vinyle (PVC) non plastifié, (octobre 1978).
- NFT 54-070 : - AFNOR, (1978) - Tubes et raccords en polyéthylène haute densité (PEHD), (octobre 1978).

**Pour le chapitre 3.9. :**

- FD P 18-011 : - AFNOR, (1992) - Bétons - Classification des environnements agressifs ; Fascicule de documentation (juin 1992);
- FD P 15-010 : - AFNOR, (1997) - Liants hydrauliques - Guide d'utilisation des ciments ; Fascicule de documentation (octobre 1997).

## **2.2. DEFINITIONS**

Ces termes et définitions sont à compléter avec ceux du chapitre 3 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

**Colonne captante** : Ensemble des tubages équipant le forage, notamment ceux crépinés, recoupant la nappe et permettant le prélèvement de l'eau souterraine.

**Crépine** : Tubage dont la paroi est percée d'ouvertures de formes diverses disposées régulièrement, à travers lesquelles l'eau de l'aquifère pénètre dans le forage (réf. biblio. 14).

**Espace annulaire** : Espace compris entre la paroi du trou foré et le bord extérieur du tubage ou de la crépine équipant le forage.

**Emulseur double tube** : Dispositif de pompage introduit dans le piézomètre (forage équipé) pour le nettoyer et développer le massif filtrant. Il est constitué d'un « tube d'eau » dans lequel une circulation ascendante est provoquée par une insufflation d'air en partie basse, par un second tube dit « tube d'air ».

**Equipement** : Ensemble des tubages pleins ou crépinés, massifs filtrants, étanchéité, cimentation et protection en tête du forage.

**Forage** : désigne l'ouvrage réalisé, c'est-à-dire le trou et son équipement.

**Foration** : Action (stricte) de forer un trou avec un outil adapté, sans connotation avec l'ouvrage réalisé (forage).

**Piézomètre** : Dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un système aquifère, laquelle indique la pression d'eau en ce point, en permettant l'observation ou l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression (réf. biblio. 14).

**Ressuage** : Le ressuage est le phénomène qui fait apparaître une certaine quantité d'eau au dessus d'un volume de coulis de ciment au repos après décantation.

**Trépan** : Outil de foration (méthode destructive) placé à l'extrémité d'un train de tige qui perfore les terrains par compression et cisaillement.

**Tubage** : Colonne de tubes pleins ou crépinés équipant l'intérieur du forage.

### **2.3. ABREVIATIONS**

AEP : Alimentation en Eau Potable.

DCO : Demande chimique en oxygène.

DBO<sub>5</sub> : Demande biochimique en oxygène.

COV : Composés organo-volatils.

PVC : Polychlorure de vinyle.

PEHD : Polyéthylène haute densité.

COT : Carbone organique total.



### **3. Réalisation du forage de contrôle de la qualité de l'eau souterraine**

Un forage est envisagé pour répondre à certains objectifs, puis il est conçu à partir de l'encombrement de la pompe ou des outils de prélèvement devant y être installés à des fins d'échantillonnage de l'eau souterraine.

Les points ci-dessous doivent donc être successivement abordés dans l'ordre chronologique suivant :

- Définition des objectifs du forage,
- Réflexions préalables sur les outils de prélèvement,
- Choix du diamètre de foration en fonction de l'équipement envisagé,
- Techniques de foration et recommandations,
- Fluides et additifs éventuels utilisés lors de la foration,
- Nature des tubages et crépines, et risques de colmatage,
- Type de crépines et leur positionnement dans le forage,
- Massifs filtrants (épaisseur, nature),
- Ciments et procédure de cimentation,
- Développement du forage après son équipement,
- Protection, nivellement et repérage de la tête de forage,
- Compte rendu des travaux.

Par ailleurs, des contrôles sont nécessaires au cours de la réalisation de l'ouvrage. Ces aspects sont plus spécifiquement présentés au chapitre 9 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

#### **3.1. OBJECTIFS DES FORAGES DE CONTRÔLE OU DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE**

Les ouvrages doivent permettre :

- a) de réaliser des mesures piézométriques ;
- b) de procéder à des mesures *in situ* et à des prélèvements d'échantillons d'eau représentatifs de la nappe souterraine afin de caractériser la pollution éventuelle de l'aquifère ;
- c) de répondre aux problèmes spécifiques posés par le site étudié et notamment d'être adaptés aux substances recherchées ;
- d) éventuellement, ces ouvrages pourraient répondre à d'autres besoins, tels que :
  - échantillonner, lors de la foration, les terrains traversés, naturels ou rapportés ;
  - échantillonner les gaz présents dans le sous-sol, au cours de la foration ou après équipement ;

- mettre en œuvre des tests hydrauliques, pendant ou après la foration, afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ;
- permettre un éventuel système de traitement.

Il ne faut cependant pas retenir l'idée que tous les forages doivent être construits pour les objectifs particuliers présentés par les deux derniers alinéas. C'est lors de la phase de conception des ouvrages que doivent être précisés ces besoins par les intervenants, Maître d'ouvrage, bureau d'étude, etc., afin de pouvoir être pris en considération.

### **3.2. REFLEXIONS PREALABLES SUR LES OUTILS DE PRELEVEMENT**

Un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine est conçu, notamment, pour prélever des échantillons d'eau destinés à l'analyse, et ceux-ci doivent permettre de caractériser une éventuelle pollution de l'eau de la nappe étudiée. Pour s'affranchir de l'eau qui a pu stagner plusieurs mois dans le tubage, il peut être envisagé de purger le forage avant l'échantillonnage.

Il est donc nécessaire, à ce stade, et à partir des caractéristiques des substances à rechercher, aqueuses ou non, et des paramètres hydrodynamiques de la nappe étudiée (Transmissivité, productivité, ...), de mener une réflexion sur :

- les modalités de l'échantillonnage de l'eau souterraine ;
- l'opportunité d'envisager une purge préalable de ce forage avant l'échantillonnage ;
- le volume et le débit de cette purge, dès lors qu'elle est retenue.

Cette réflexion contribue à définir le type de pompe(s) et d'outil(s) devant être descendu(s) dans l'ouvrage captant la nappe afin de satisfaire les besoins de l'échantillonnage.

Le type et la taille des outils de purge et de prélèvement dépendent aussi de la profondeur à laquelle ils seront censés descendre, notamment celle du niveau à échantillonner, et du débit de purge envisagé en fonction du rabattement éventuellement souhaité pour purger le forage.

L'encombrement des outils constitue un des premiers éléments (voir 3.3.), à prendre en compte pour déterminer le diamètre de l'équipement et donc de la foration.

### **3.3. CHOIX DU DIAMETRE DE FORATION**

Le choix du diamètre est important car il influe directement sur les coûts du forage et par la suite sur celui de l'échantillonnage des eaux souterraines.

En tout état de cause, le diamètre intérieur du tubage et de la crépine est choisi de façon à privilégier la qualité et le volume de l'échantillon devant être prélevé pour l'analyse, ainsi que l'aisance lors des opérations de prélèvement.

Le diamètre de foration doit donc tenir compte :

- du diamètre nominal de la (ou des) pompe(s) choisie(s) et de l'encombrement de tout autre instrument dont la descente dans le forage serait envisagée (sonde piézométrique, échantillonneur, micro-moulinet) ;
- d'un espace suffisant entre le bord de la pompe et la paroi interne du tubage pour éviter de coincer la pompe et minimiser les pertes de charge lors des pompages ;
- de l'épaisseur du tubage qui doit être suffisante pour lui assurer une bonne résistance ;
- et enfin, du massif de gravier dit "massif filtrant" à placer dans l'espace annulaire.

### **3.4. TECHNIQUES DE FORATION ET RECOMMANDATIONS**

Diverses techniques peuvent être utilisées en fonction de la nature lithologique des formations géologiques à traverser et de la profondeur à atteindre : tarières pleines ou creuses, carottage, marteau fond de trou, ... . Chacune d'entre elles est adaptée pour certains milieux et présente des avantages, mais aussi des limites (voir annexe 1 du document AFNOR X31-614 d'octobre 1999). Une information complémentaire sur les techniques de forages est consultable au chapitre 6.1 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

Lorsque l'échantillonnage des terrains traversés est aussi retenu comme un des objectifs du forage réalisé, la Norme XP P 94-202 (1995), relative aux prélèvements des sols et des roches sera utilement consultée.

Quelle que soit la technique retenue pour réaliser le forage, certaines précautions sont nécessaires pour éviter que l'eau à prélever dans le forage ne soit polluée par les divers fluides et/ou les différents procédés de foration utilisés sur le chantier. En effet, il est possible que des substances telles que fioul, lubrifiants, fluides hydrauliques ..., nécessaires au fonctionnement des engins de chantiers, soient introduites dans la nappe à partir de la surface. Une contamination peut se produire aussi par les outils ou par les boues et additifs de foration.

#### ***3.4.1. Prévention des pollutions par l'atelier de foration***

Pour prévenir au mieux les risques de pollution par des hydrocarbures (au sens large) provenant de l'atelier de forage, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- lavage préalable au nettoyeur à haute pression et à l'eau chaude additionnée de détergents puis rinçage à l'eau froide; ceci est à faire à l'extérieur du site, ou à défaut, à l'intérieur, mais sur une aire de lavage adaptée, permettant la récupération des eaux et des boues ;
- vérification de l'état des tuyauteries hydrauliques, avant de s'installer sur le chantier ;



- protection du sol par un film étanche sous l'atelier de forage en station ;
- épuration de l'air comprimé par mise en place de filtres neufs et de déshuileurs ;
- utilisation de tiges non graissées, au risque de casser, ou de lubrifiants spéciaux d'origine végétale, voire alimentaire, ou éventuellement du savon. Les graisses minérales contenant souvent des métaux et toujours une base hydrocarbonée leur permettant de résister aux fortes pressions induites par les contraintes de foration (rotation, poids sur l'outil, couple) et par le poids du train de tige, sont à éviter car elles présentent un risque de contamination par des hydrocarbures.

Ces précautions sont à adapter en fonction :

- des substances et produits à rechercher, notamment lorsque les hydrocarbures sont à analyser dans l'eau souterraine et qu'une "fuite" imputable au chantier risque de fausser l'interprétation des résultats analytiques ;
- et de la sensibilité de l'aquifère recoupé, notamment en terme d'usage (AEP ou autres) et de débit de la nappe, lequel pourrait assurer une dilution des éventuelles "fuites" imputables au chantier lorsque le ratio (à estimer) "volume possible des fuites" / "débit de la nappe" est important.

#### *3.4.2. Prévention des pollutions par mélange de nappes*

Pour prévenir au mieux les risques de pollutions croisées en cas de superposition de plusieurs aquifères, ou entre plusieurs forages, les solutions suivantes sont envisageables :

- mise en place d'un tubage métallique plein, provisoire ou scellé définitivement (technique du "tubage perdu"), sur toute l'épaisseur des niveaux aquifères superficiels jusqu'au toit "imperméable" de celui à capter ;
- nettoyage des outils entre chaque passe définie lors des études préalables (voir avertissements) ;
- nettoyage des outils entre chaque forage à réaliser sur un même site ;
- changement éventuel de boue de forage.

#### *3.4.3. Evacuation des déblais de foration*

Il faut aussi envisager, si besoin, de récupérer, et d'évacuer par des filières adaptées, les boues, sédiments et déblais éventuellement pollués résultant du chantier de forage, en prévoyant :

- la mise en place, si nécessaire, d'une aire de lavage étanche démontable ;
- le stockage en fûts des sédiments et déblais (produits pelletables) ;
- le stockage en citernes des boues décantées et des eaux résultants du développement du forage (produits fluents ou liquides) ;
- l'évacuation de ces matériaux vers les centres de traitement agréés, conformément aux procédures administratives en vigueur (bordereau de suivi, ...).

Cette procédure, lourde, doit être adaptée au cas par cas, et appliquée lorsqu'elle est justifiée.

Les matériaux éventuellement pollués résultant du chantier de foration restent sous la responsabilité du maître d'ouvrage.

### **3.5. FLUIDES UTILISES LORS DE LA FORATION**

Ces fluides sont très variés : air, eau, mousse, boues minérales, boues biodégradables ... .

Une information complémentaire sur les fluides de forages est consultable au chapitre 6.2 de la norme NF X10-999 d'avril 2007

La foration à la boue peut être envisagée, si nécessaire, dès lors que le maître d'ouvrage et le bureau d'étude se seront assurés, avant l'ouverture du chantier, de l'absence d'interférence possible avec les substances recherchées dans les échantillons d'eau souterraine qui seront prélevés pour l'analyse, et de façon plus générale, de l'absence d'altération de la qualité de l'eau de la nappe ainsi traversée.

Cette vérification peut être faite

- par consultation de la fiche technique du fournisseur ;
- ou à défaut, par la réalisation de tests adéquats dont l'objectif sera de connaître le comportement du fluide envisagé dans le milieu où il est censé être utilisé.

La bentonite utilisée dans certains fluides de foration, ou comme joint d'étanchéité dans certaines parties du forage, peut avoir plusieurs effets :

- sur l'aquifère par colmatages. Il faut alors éviter les tests de perméabilité, et envisager un traitement, par exemple à l'hexamétaphosphate ;
- sur la chimie de l'eau, où elle peut en particulier masquer la présence de métaux dans l'eau souterraine, en raison de sa capacité importante d'échange cationique, et donc d'adsorption des métaux.

Compte tenu de ces propriétés, l'emploi des boues bentonitiques est à éviter lorsque des métaux lourds sont à rechercher, sauf si on a pu s'assurer en préalable que l'emploi de bentonite n'a pas d'influence significative sur les concentrations des substances recherchées. Le bouchon d'étanchéité situé au dessus de la crépine, dont l'objectif est de séparer la partie cimentée du massif filtrant, reste cependant nécessaire.

Les additifs organiques biodégradables peuvent fausser temporairement les résultats des analyses bactériologiques et du COT par un accroissement des valeurs mesurées.

Tous les fluides utilisés sur un chantier de forage, pouvant éventuellement influencer la composition de l'eau souterraine, doivent être listés avec leurs caractéristiques

physico-chimiques dans un procès verbal de chantier afin de permettre une meilleure interprétation des résultats d'analyses qui seront effectuées.

### **3.6. NATURE DES TUBAGES ET CREPINES, ET RISQUES DE COLMATAGE**

Les tubages et crépines équipant le forage peuvent être constitués d'acier simple, d'acier inox, de polychlorure de vinyle (PVC), ou de polyéthylène haute densité (PEHD).

Une information complémentaire sur les matériaux et équipements des forages est consultable aux chapitres 7.1 à 7.5 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

Leur choix doit être fait en fonction :

- du diamètre de l'équipement nécessaire,
- de la profondeur du forage,
- de leur résistance mécanique suffisante pour ne pas être déformés par la pression des terrains traversés et/ou par la cimentation,
- de leur résistance aux agressions des polluants suspectés dans les terrains traversés et les eaux souterraines,
- et de leur faible potentiel d'échange afin de ne pas altérer la qualité des eaux souterraines.

Les tubes et crépines pouvant se corroder et/ou se colmater (voir les trois sous-chapitres ci-après), les souhaits du maître d'ouvrage en terme de durabilité de l'ouvrage à réaliser doivent être clairement spécifiés dans le cahier des charges, afin de choisir le matériau le plus adéquat compte tenu du cas à étudier.

Quelle que soit la nature des matériaux choisis pour la colonne captante, les tubages vissés sont à privilégier. Les lubrifiants ne sont pas forcément nécessaires pour la mise en place de l'équipement interne du forage, mais si tel était le cas, l'emploi de lubrifiants de type alimentaires doit être envisagé.

#### **3.6.1. Les tubes PVC et PEHD**

Certains fournisseurs de tubes en PVC ou PEHD proposent des tables de résistance de ces matériaux en fonction des substances susceptibles d'être rencontrées, de leur concentration et de la température du fluide à "transporter". Ces tables peuvent être consultées, ainsi que les deux normes françaises relatives à la résistance chimique de ces matériaux en fonction des mêmes critères (voir 2.1.). En complément et/ou recoupement de ces normes, l'annexe 2 du document AFNOR X31-614 d'octobre 1999, donnée à titre informatif et sous certaines réserves, présente une liste de produits susceptibles d'attaquer, ou non, à une température de 20 à 25°C, le PEHD ou le PVC en fonction des concentrations trouvées dans les formations traversées ou les eaux souterraines. L'attention est cependant attirée sur le fait que, pour certaines

substances, même placées dans des conditions identiques, l'appréciation donnée en termes de résistance à l'attaque chimique est variable selon les documents consultés.

Lors de l'utilisation de PVC, les tubages collés sont déconseillés car, par rapport aux tubages vissés, ils apparaissent :

- moins résistants lorsque la position de la colonne de captage doit être rectifiée ;
- plus aptes à relarguer les solvants des colles, au moins temporairement, dans l'eau souterraine ;
- plus pénalisants dans les cas où des mesures de gaz sont envisagées dans les forages ;
- inaptes en cas de pollution par des hydrocarbures aromatiques et des solvants chlorés.

Dans les cas où ce type de substance est supposé présent, il faut :

- soit éviter l'emploi de tubage en PVC, collés ou non, afin de s'affranchir de toute suspicion sur la fiabilité de l'équipement mis en place, en terme de non échange avec les eaux souterraines à étudier ;
- soit s'assurer en préalable que les pollutions recoupées n'ont pas d'incidences sur la résistance des tubages PVC envisagés, ni que ceux-ci n'ont pas d'influence significative sur les concentrations de ce type de substances recherchées dans les eaux souterraines.

### 3.6.2. Les tubes acier ou acier inox

Chaque fabricant de tubage produit des tubes dont la nature et les caractéristiques sont adaptées à divers usages dans des conditions physico-chimiques déterminées, et donc des contextes d'agressivité différents. Leur consultation sera nécessaire afin de définir le matériau le mieux adapté au cas particulier devant être étudié (nature lithologique, substances susceptibles d'être rencontrées, ...).

Les aciers, qu'ils soient au carbone, inoxydables ou constitués d'alliages, sont des matériaux susceptibles d'être corrodés notamment par réaction chimique ou électrochimique avec le milieu environnant.

Les principaux facteurs, inhérents au milieu, pouvant être à l'origine d'une corrosion des aciers, sont :

- la minéralisation (salinité, conductivité, résistivité),
- l'acidité (pH faible) et le potentiel Redox,
- la teneur en oxygène et autres gaz dissous (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, ... ),
- la température,
- la pression,
- la qualité microbiologique (bactéries, champignons, ... ),
- et la vitesse d'écoulement des eaux.

Il est rappelé que ce ne sont pas forcément les composés les plus abondants qui présentent le plus de risques vis à vis de la corrosion, laquelle est généralement la résultante de la combinaison des divers paramètres précédemment évoqués. L'annexe

3 du document AFNOR X31-614 d'octobre 1999 présente, à titre informatif, quelques grands principes permettant d'appréhender les risques de corrosion.

### *3.6.3. Le colmatage des crépines*

Quel que soit le matériau des tubages, ceux-ci peuvent être l'objet de colmatage, notamment au niveau des crépines, ce qui rend inapte le forage à sa mission initiale.

Le colmatage des crépines peut être dû à quatre causes principales :

- la mise en place d'un massif filtrant inadéquat,
- le dépôt lié à la précipitation du carbonate de calcium,
- la présence et le développement des bactéries et champignons,
- la présence d'oxydes ou hydroxydes de fer, même en très faibles quantités ; le risque, initié dès que la teneur en fer n'est plus nulle, est proportionnel à la quantité de fer présente en solution.

Les dépôts résultent cependant de processus complexes contrôlés par un ensemble de paramètres dont les principaux sont : la température, le pH, le potentiel Redox, la teneur en oxygène dissous et la microbiologie. Il est par conséquent très rare qu'un paramètre exerce un contrôle univoque sur un processus de colmatage.

Devant ce type de problème des méthodes de décolmatage peuvent être mises en œuvre pour réhabiliter le forage.

## **3.7. TYPE DES CREPINES ET LEUR POSITIONNEMENT DANS LE FORAGE**

Une crépine a pour objectif :

- de maintenir le massif filtrant et les éléments des formations géologiques traversées,
- de laisser passer de manière optimale l'eau de la nappe à échantillonner,
- d'intercepter un éventuel panache de pollution.

Son positionnement dépend donc du repérage des niveaux perméables des terrains recoupés, du type de formations aquifères à étudier, ainsi que de la solubilité et de la densité des substances à rechercher; chacun de ces points est abordé dans les sous-chapitres ci-après.

Le type de crépine (tube perforé, à persiennes, à nervures repoussées, à fils enroulés), ainsi que la forme et la dimension des trous (oblongs, ronds) ou fentes, doivent être choisis en fonction de la nature lithologique (consolidée ou non, fissurée, meuble, déconsolidée du fait des travaux, ...) et de l'analyse granulométrique (présence de particules fines, ...) des terrains traversés.

L'efficacité hydraulique d'une crépine dépend principalement de l'importance de la surface des ouvertures par unité de surface de crépine. Le choix doit donc être porté vers celle qui, en fonction de la granulométrie de la formation aquifère, permet le meilleur rendement hydraulique, tout en empêchant la venue des particules fines qui pourraient colmater tout ou partie de la crépine, endommager la pompe ou altérer la fiabilité de l'échantillon d'eau prélevé, du fait d'une forte turbidité.

Dans tous les cas, la mise en place d'un bouchon de fond et d'un piège à sédiments est nécessaire, ce qui implique de forer au moins 0,5 mètre en dessous de la base de la crépine.

### *3.7.1. Repérage des niveaux perméables*

Le repérage des niveaux les plus perméables est justifié dès lors que l'étude hydrogéologique préalable (voir "avertissements") a établi l'existence, au droit des terrains à étudier, d'un aquifère de type fissuré ou hétérogène. Le repérage des niveaux de circulation préférentielle des eaux souterraines se fait principalement au cours de la foration, mais peut aussi se faire par des méthodes différées, après la foration.

a - Au cours de la foration le repérage se fait :

- en établissant une coupe lithologique des terrains traversés,
- en utilisant les paramètres des diagraphies instantanées (vitesse instantanée, poids sur l'outil, couple, pression d'injection),
- en notant la profondeur des venues d'eau les plus importantes, repérables notamment lors des forages dits à l'air (marteau fond de trou, ...).

b - Après foration le repérage se fait en utilisant :

- des sondes diagraphiques (résistivité électrique, gamma ray, sonique, ...) qui vont permettre de distinguer les niveaux les plus argileux de ceux les plus poreux ;
- un micro-moulinet, dont l'hélice permet de mesurer, dans le forage par exemple au cours d'un pompage à débit constant, la vitesse de déplacement vertical de l'eau pompée. En partant du fond du trou et en remontant vers la surface, chaque augmentation de vitesse (nombre de tours de l'hélice) traduit une venue d'eau au niveau correspondant, dans un forage de diamètre constant.

### *3.7.2. Influence des formations aquifères à contrôler*

**Dans le cas d'un aquifère homogène peu épais** (quelques mètres), une crépine implantée sur toute l'épaisseur de l'aquifère est recommandée.

**Dans le cas d'aquifères superposés indépendants**, liés à des alternances de bancs continus perméables et peu perméables bien distincts et réguliers, il y a lieu d'envisager d'implanter un forage de contrôle distinct pour chaque couche perméable à étudier. Lors de la foration, il faut alors prendre soin de ne pas percer le substratum peu perméable du niveau aquifère considéré (argile, marne...), car même peu épais (quelques décimètres à quelques mètres), il peut jouer un rôle de retardateur au

transfert vertical d'une éventuelle pollution. Ce point souligne l'importance de l'étude préalable (voir "avertissements") et d'un suivi géologique fin lors du chantier de foration.

**Dans le cas d'aquifères épais, homogènes ou hétérogènes**, les crépines courtes (0,6 à 3 m et plus rarement de 6 m) à répartir sur toute l'épaisseur de l'aquifère peuvent être envisagées, en fonction de la densité et de la solubilité des polluants suspectés dans la nappe.

Cela est possible, notamment en milieu fissuré où le réseau des fissures constitue un "aquifère" réservoir mais pour lequel les écoulements dans le forage se font à diverses profondeurs devant être bien repérées lors de la foration. Les crépines peuvent être limitées à l'intersection du forage et des fissures, ce qui peut permettre une économie sur les coûts d'équipement du puits de contrôle, les tubages pleins étant moins chers que les crépines.

### *3.7.3. Considérations sur la densité des substances recherchées*

Pour positionner la crépine, la nature des polluants recherchés doit être prise en compte. Il est rappelé que certaines substances polluantes peuvent se trouver à la fois sous forme dissoute et en phase séparée.

**Pour la recherche de substances en phase non aqueuse, plus légères que l'eau**, le haut de la crépine doit être placé au niveau de la frange capillaire en période de plus hautes eaux de la nappe jusqu'à plusieurs mètres (par principe de précaution) sous le niveau piézométrique supposé de la nappe en période d'étiage, afin d'être sûr d'intercepter ces substances quel que soit le niveau piézométrique.

**Pour la recherche de substances en phase non aqueuse, plus denses que l'eau**, le bas de la crépine doit être placé dans la partie inférieure du forage qui doit avoir atteint le fond de l'aquifère, encore appelé "mur" ou "substratum".

**Pour la recherche de substances dissoutes dans l'eau, ou pour les cas de pollutions par plusieurs substances de densités différentes**, une crépine longue positionnée sur toute l'épaisseur de l'aquifère, permettant ainsi d'intercepter au mieux le panache de pollution avec plus de sécurité, doit être envisagée.

### *3.7.4. Inconvénient d'une crépine longue lors des prélèvements d'eau*

Pour être sûr d'intercepter une éventuelle pollution, on peut retenir qu'une crépine positionnée sur toute l'épaisseur de l'aquifère est nécessaire dans les cas suivants :

- dans les cas d'aquifères peu épais ;
- pour rechercher des pollutions engendrées par diverses substances de solubilités et densités différentes ;
- chaque fois que l'étude hydrogéologique préalable ne permet pas de prévoir avec certitude le trajet souterrain que pourrait suivre un panache de pollution ;

- dans un aquifère de faible rendement, afin d'espérer obtenir une plus grande quantité d'eau et donc d'avoir les meilleures chances d'intercepter la pollution recherchée ;
- dans les cas où les forages de contrôle ont un rôle d'alerte, c'est-à-dire dont le but est de détecter le plus vite possible une pollution.

L'inconvénient d'une crépine implantée sur toute l'épaisseur d'un aquifère, s'il est épais, est qu'elle peut intercepter en partie le panache de pollution, mais aussi de l'eau non polluée, ce qui peut avoir pour effet, lors des prélèvements, une dilution possible des concentrations des substances recherchées.

Pour pallier le problème d'une seule crépine longue, la technique du double pompage peut être envisagée.

### 3.8. MASSIFS FILTRANTS

Une information complémentaire sur les massifs de graviers est disponible au chapitre 7.6 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

Dans les terrains qui ne peuvent satisfaire aux conditions de filtre après développement et qui risquent de produire des eaux turbides au cours des prélèvements, il faut prévoir la mise en place d'un dispositif annulaire filtrant autour de la crépine. Plusieurs types sont connus, notamment, graviers calcaires concassés, sables ou graviers roulés siliceux, crépines préenrobées, chaussettes synthétiques. Les plus couramment utilisés sont les sables roulés siliceux, lavés et calibrés.

Le massif filtrant a pour mission d'empêcher la venue des particules fines issues de la formation aquifère dans le forage, tout en facilitant le transfert de l'eau de la nappe vers la crépine. Il doit être placé sur toute la hauteur de la partie crépinée, augmentée de 50 centimètres au moins en prévision du tassement du massif au cours du développement. Son épaisseur annulaire doit être au moins de 35 millimètres pour les piézomètres de diamètre inférieur à cinq pouces (5"). Quelques exemples sont donnés ci-après :

<b>D. ext. piéz. (mm)</b>	<b>D. de foration (en mm ou en pouce )</b>	<b>Espace annulaire (mm)</b>
60 mm	130 mm ou 5"1/8	35 mm
80 mm	160 mm ou 6"1/4	35 mm
120 mm	194 mm ou 7"	35 mm
225 mm	311 mm ou 12"1/4	43 mm

En tout état de cause, l'épaisseur et les caractéristiques du massif filtrant doivent être adaptées à la granulométrie et à la nature lithologique de l'encaissant, ainsi qu'à la profondeur où il est placé. Il doit être conçu de telle sorte qu'il permette d'atteindre les objectifs précédemment évoqués, tout en étant compatible avec les outils actuellement disponibles pour sa mise en place.



Les techniques de mise en place du gravier doivent permettre de s'assurer de la continuité du massif, notamment par :

- l'utilisation de centreurs, lorsqu'ils sont jugés nécessaires,
- la mise en place gravitaire à l'abri de tubage provisoire ou de tube injecteur,
- un contrôle régulier de la profondeur du toit du gravier en fonction des volumes introduits.

L'attention est attirée sur le fait que les chaussettes synthétiques peuvent :

- se colmater rapidement, notamment dans les formations présentant une fraction argileuse ou une pollution organique (colmatage dû alors aux bactéries),
- empêcher la réalisation de mesures de perméabilité fiables,
- empêcher le transfert des substances non aqueuses, comme par exemple les hydrocarbures, du fait de tensions superficielles,
- influencer, par leur composition chimique souvent méconnue, les résultats analytiques des eaux échantillonnées.

L'utilisation de crépines préenrobées, dont on ne connaît pas la nature du liant, ni son influence possible sur la qualité de l'eau prélevée, peut être envisagée, à condition que le maître d'ouvrage et le bureau d'étude conseil se soient assurés, avant l'ouverture du chantier, de :

- l'absence d'interférence possible avec les substances recherchées dans les échantillons d'eau souterraine à prélever pour analyse,
- et de façon plus générale, de l'absence d'altération de la qualité de l'eau de la nappe ainsi recoupée.

Comme pour les fluides de foration, cette vérification peut être faite :

- par consultation de la fiche technique du fournisseur,
- à défaut, par la réalisation de tests adéquats pour déterminer le comportement du liant de la crépine envisagée dans le milieu où elle est censée être utilisée et son influence possible sur les concentrations des éléments à rechercher.

### **3.9. CIMENTS ET PROCEDURE DE CIMENTATION**

Une information complémentaire sur les ciments et la cimentation est consultable aux chapitres 7.7 et 8 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

#### *3.9.1. But de la cimentation*

Le but de la cimentation est de :

- stabiliser la colonne de captage dans le forage en l'ancrant au terrain,

- empêcher les éboulements des terrains de tête non consolidés, susceptibles d'écraser la colonne de captage,
- éviter toute circulation verticale, vers la crépine, d'eau d'une éventuelle nappe superficielle, temporaire ou pérenne, ou des eaux de ruissellement provenant de la surface, lesquelles peuvent être polluées.

L'espace annulaire situé au-dessus du massif filtrant doit donc être colmaté par un coulis de ciment. La hauteur à cimenter est définie par les conditions rencontrées pendant la foration, notamment par la nature et la stabilité des terrains traversés, ainsi que la position du toit de la nappe en période de hautes eaux.

### 3.9.2. *Choix du ciment*

Les ciments commercialisés sont de nature et d'aptitude très variables selon leur utilisation. Les ciments doivent être choisis en fonction de leur aptitude à résister aux éventuelles agressions des formations et des eaux souterraines traversées, tout en assurant la meilleure étanchéité annulaire du tubage proche de la surface. Deux documents normatifs relatifs à la classification des environnements agressifs et à l'utilisation des liants hydrauliques, seront utilement consultés (voir 2.1.).

Le choix du ciment doit tenir compte de plusieurs facteurs, notamment :

- la résistance au pH des formations traversées,
- la résistance aux éventuels polluants (solvants, chlorures, sulfates, acides, ...) contenus dans les terrains forés et la nappe,
- une température de prise basse pour éviter les phénomènes de retrait et de fissuration,
- une durée de prise compatible avec le temps nécessaire à la mise en œuvre,
- un ratio initial Ciment/Eau (C/E) compris entre 0,4 et 2, caractérisant la masse du ciment par rapport à celle de l'eau utilisée,
- l'adjonction de bentonite dans une proportion de 2 à 10 % de la masse de ciment, afin d'éviter le ressuage et supprimer le retrait; cela a pour effet de diminuer le ratio C/E.

Les ciments à base de laitier au clinker (CLK), de par leur résistance aux acides, aux chlorures et de part leurs temps de prise relativement longs, semblent répondre le mieux aux exigences souhaitées. Il est donc recommandé de les utiliser en les mélangeant à des argiles gonflantes de type bentonite afin de leur conférer une certaine plasticité et donc une meilleure étanchéité.

Exemple de composition de laitier, et ses principales caractéristiques, adapté à de nombreuses situations :

- 100 kg de ciment CLK,
- 75 litres d'eau,
- 3 kg de bentonite,

- C/E = 1,33,
- Densité = 1,7

Autre exemple de composition de laitier adapté aux terrains fissurés ou très perméables et destiné à limiter les pertes de coulis :

- 100 kg de ciment CLK,
- 170 litres d'eau,
- 7 kg de bentonite.

Le ratio C/E sera alors de 0,59.

### *3.9.3. Procédure de cimentation*

Il est aussi nécessaire de séparer la cimentation de tête par un bouchon d'argile gonflante de 0,5 m à 1 m de hauteur dans l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant. On peut alors procéder, avant la cimentation, par déversement de billes d'argile déshydratée en vérifiant bien l'absence de « pont » (vide pouvant rester sous un pont d'argile) par collage aux parois.

La mise en place du coulis de ciment se fait obligatoirement par pompage lent à travers un tube plongeur descendu à la base de l'espace annulaire à combler. La canne est munie d'un bouchon de pied, le ciment passe par des événements latéraux, de façon à ce qu'il ne puisse pas poinçonner et altérer le dispositif d'obturation (bouchon d'argile) préalablement mis en place. Le ciment doit monter progressivement dans l'annulaire en refoulant, sans mélange, l'eau qu'il peut contenir et en remplissant les éventuelles fissures et les cavités du terrain en parois du forage. La cimentation est terminée lorsque le laitier arrive au sol.

Un délai de 24 à 48 heures doit être respecté avant de reprendre les instrumentations dans le forage, afin de permettre au coulis de ciment de faire prise sans se fissurer et donc de garantir la meilleure étanchéité.

## **3.10. DEVELOPPEMENT DU FORAGE APRES EQUIPEMENT**

Lors de la foration, des particules fines sont introduites dans le forage et peuvent former un dépôt de boue sur les parois qui diminue la perméabilité des terrains au droit de la crépine. Il faut éliminer ces éléments fins pour permettre à l'eau d'entrer dans l'ouvrage de contrôle et pour éviter que les échantillons d'eau à prélever ne contiennent des particules solides.

Des informations complémentaires sur les aspects relatifs au développement sont consultables au chapitre 10 de la norme NF X10-999 d'avril 2007.

Le développement consiste à agiter la colonne d'eau en forçant et retirant l'eau à travers la crépine et le massif de gravier pour désagréger les éventuels colmatages,

puis à pomper les particules fines pour les évacuer, ainsi que les résidus des éventuelles boues de foration. Outre ce décolmatage, le développement a aussi pour objectif d'élargir les voies de circulation de l'eau souterraine proches du forage en les décolmatant.

Le développement se fait de préférence à l'émulseur à air comprimé à double tube. Le système est réglé afin d'éviter toute circulation d'air au contact direct de la crépine. Ce système fonctionne, théoriquement, à condition que la longueur totale du tube d'air soit au moins égale à 2,5 fois la hauteur totale d'élévation, rabatement compris. On peut être amené à ajouter de l'eau pour amorcer le pompage ; l'attention doit alors être portée sur la qualité de cette eau.

Lorsque le développement par émulseur n'est pas suffisamment efficace, il doit être prolongé ou remplacé par des pompages alternés avec une électropompe immergée ou d'un type équivalent.

Il faut enfin souligner que l'étape de prélèvement des échantillons d'eau à analyser ne peut être envisagée qu'après :

- un développement suffisant afin d'enlever toutes les influences du chantier de foration sur la qualité de l'eau souterraine et obtenir une eau sans particules en suspension pouvant altérer le fonctionnement de la pompe et la représentativité de l'échantillon prélevé ;
- une stabilisation de la remontée de la nappe, après la fin des travaux ;
- un temps suffisamment long pour permettre la dégradation des éventuelles boues et adjuvants biodégradables ;
- et une purge adéquate au moment des prélèvements.

Ces recommandations impliquent que les prélèvements des échantillons d'eau à analyser ne pourront pas forcément être faits dès la fin du chantier.

### **3.11. PROTECTION, REPERAGE ET NIVELLEMENT DE LA TÊTE DU FORAGE**

La tête de forage doit être adaptée à l'outil de prélèvement envisagé pour l'échantillonnage des eaux souterraines (pompes mobiles, préleveur automatique à poste fixe, ...).

La protection a trois objectifs principaux :

- protéger physiquement l'ouvrage et garantir, notamment, l'intégrité du tube intérieur,
- dissuader le vandalisme,
- empêcher les eaux de surface de s'infiltrer ou de pénétrer dans le tube piézométrique et d'entrer en contact avec la nappe,

- contenir les phénomènes d'artésianisme, le cas échéant, en équipant le tubage de tête d'un capot étanche sur brides comprenant un manomètre et une vanne de décharge, ainsi qu'un guide sonde.

La protection peut servir aussi à repérer le forage, aussi bien en campagne, dans les prairies ou les forêts, que sur les sites eux-mêmes.

### *3.11.1. Protection physique de l'ouvrage*

Le but est d'éviter que le tube ne soit sectionné lors d'un choc, le plus souvent par un véhicule. Ce risque dépend hautement de l'implantation du forage, et de la possibilité d'accès du site. En règle générale, on ne peut se satisfaire de laisser simplement le tube du forage dépasser du sol, car même un tube métallique robuste et solidement ancré dans le sol peut s'avérer insuffisant.

Par ordre de sécurité croissant, les solutions suivantes peuvent être retenues :

**a - Tube métallique scellé :** Il doit être d'un diamètre largement supérieur au tube du forage et doit être ancré profondément dans le sol sur une profondeur au moins égale à 50 % de sa hauteur hors sol.

**b - Barrières de protection :** Il est souhaitable d'entourer la tête de l'ouvrage d'une barrière de protection, surtout si elle dépasse de la surface du sol ; ce qui implique de prévoir suffisamment de place autour du forage pour ce faire. On plante alors solidement dans le sol, à une distance de 2 m de la tête de l'ouvrage, une barrière en tube métallique robuste, ou tout autre dispositif équivalent déformable, interdisant l'accès des véhicules ou engins aux abords immédiats du forage. Ce type de protection se rajoute à une protection décrite précédemment (point a), mais ne s'y substitue pas; tout au plus, autorise-t-elle une réalisation plus légère.

**c - Tête à ras du sol :** Elle doit être obligatoire dans les aires de circulation dense (chaussées, trottoirs...) car cette protection au ras du sol n'offre aucun risque au regard des chocs. Le tubage est alors arasé au-dessous de la surface du sol et recouvert par une protection métallique ou plastique, étudiée en fonction du type de circulation attendu, comme par exemple un couvercle de regard ou une bouche à clé de réseau de distribution d'eau.

En terrain nu, la plaque du regard est scellée dans un massif béton nivelé par rapport au terrain naturel. La pérennité du dispositif dépend fortement de la profondeur et du volume du massif de béton. Un diamètre de 75 cm et une profondeur minimale de 50 cm sont recommandés dans les zones agricoles et forestières. Ces dimensions peuvent être réduites dans des zones moins exposées, comme par exemple les zones piétonnières, parcs et jardins. Sur des sols revêtus, le regard sera scellé directement au revêtement (dalle en béton, asphalte,...), dans la mesure où il est reconnu comme étant assez robuste.

**d - Dispositions communes :** Dans les deux premiers cas, il est recommandé de peindre les parties hors sol de couleurs vives, aisément identifiables.

Dans tous les cas, les protections doivent être désolidarisées au maximum du forage, c'est à dire qu'elles doivent être scellées dans un massif en béton qui n'a pas de liaison rigide avec le tube, afin que celui-ci ne soit déformé en cas de choc contre les protections périphériques.

Pour cela, il est nécessaire :

- d'arrêter la cimentation du tube piézométrique dans le forage à un niveau légèrement au-dessous de la base du massif en béton,
- et de mettre en place, sur la hauteur du massif en béton de scellement, un tubage perdu (plastique, ou non, ou un autre dispositif de coffrage) de diamètre largement supérieur à celui du tube piézométrique.

### *3.11.2. Protection contre le vandalisme par capots et cadenas*

Il n'y a pas de protection fiable contre la volonté de détruire. Pour ce qui concerne les piézomètres, les actes de vandalisme ou de malveillance les plus courants, plus ou moins conscients, consistent à introduire dans le tube divers corps étrangers, tels que de petits cailloux, des bâtons, voire même des produits polluants.

Il est donc indispensable de verrouiller les protections de telle sorte qu'elles ne puissent être ouvertes sans l'aide d'une clé ou d'un outil spécial. Il faut noter que les protections à ras du sol offrent ici une protection passive, car, par leur discrétion, elles n'attirent pas l'attention. En particulier, les bouches à clé des réseaux de distribution d'eau sont particulièrement discrètes.

Si des cadenas sont utilisés pour la fermeture des capots métalliques, il faut retenir que les cadenas de type "artilleur" sont les plus fiables, mais il faut prévoir le même type de cadenas pour l'ensemble des piézomètres implantés sur un même site, afin d'éviter de trop nombreuses clés différentes, ce qui est peu pratique.

Les cadenas à molettes ou codes sont fragiles et peu fiables; ceux à serrure et clé simple sont sujets à corrosion et grippage.

### 3.11.3. Protection vis à vis des eaux superficielles

Il s'agit ici d'empêcher les eaux superficielles de rejoindre la nappe, soit par le tube piézométrique lui-même, soit par l'espace annulaire. Dans tous les cas, le tube piézométrique devra être correctement étanché et cimenté selon les recommandations du paragraphe 3.9. Il sera fermé à son sommet par un bouchon vissé étanche.

**a - Pour les protections dépassant du sol :** Le tube de protection doit être étanche, et scellé correctement au massif de ciment lequel doit être sans fissures apparentes. Sa hauteur est telle qu'il ne peut se trouver sous le niveau d'une nappe d'eau superficielle due à la pluie ou à une inondation. Si ce n'est pas possible, les dispositions du point b ci-dessous seront appliquées.

**b - Pour les protections au ras du sol :** La protection des eaux souterraines repose exclusivement sur la qualité de l'étanchéité du forage (bouchon d'argile, cimentation) qui doit être particulièrement soignée (voir 3.9), et sur l'étanchéité du bouchon du sommet du tube piézométrique.

En outre, il faut que la tête du forage ne constitue pas un point bas de la topographie où les eaux de ruissellement pourraient se rassembler. Ce point doit être pris en compte dès l'implantation de l'ouvrage, qui ne sera pas placé dans un creux topographique, sauf si sa protection de tête est prévue en fonction de cette implantation (tube dépassant). En terrain nu et plat, le massif de protection en béton (dalle de propreté) devra être légèrement bombé de sorte que le regard ne soit en aucun cas sur le trajet d'éventuels ruissellements, lesquels peuvent être déviés par des caniveaux de dérivation.

### 3.11.4. Repérage et nivellement des piézomètres

Chaque forage doit être :

- identifié par un numéro,
- localisé sur le plan de masse du site étudié,
- nivelé par rapport au nivellement général français (NGF) en utilisant un point de référence<sup>2</sup> précis fixe (bord du tubage du forage, margelle de puits, ponton sur une

---

<sup>2</sup> Les références altimétriques permettent de croiser les mesures obtenues sur plusieurs points d'eau afin de connaître l'état du niveau de la nappe sur toute sa surface. Trois localisations peuvent être utilisées comme référence altimétrique : le rebord supérieur du socle (margelle), le sol au pied du point d'eau (sol) ou le repère de mesure directement (rebord du tube). Dans tous les cas, il faut préciser le choix retenu.

L'altitude d'une référence altimétrique peut être déterminée par plusieurs moyens : carte, relevé de géomètre, GPS, ... et n'est valable que pour une période donnée. La précision de l'altitude de ce point de référence permet lorsque le point d'eau a été abîmé (section du tube, ...) ou modifié

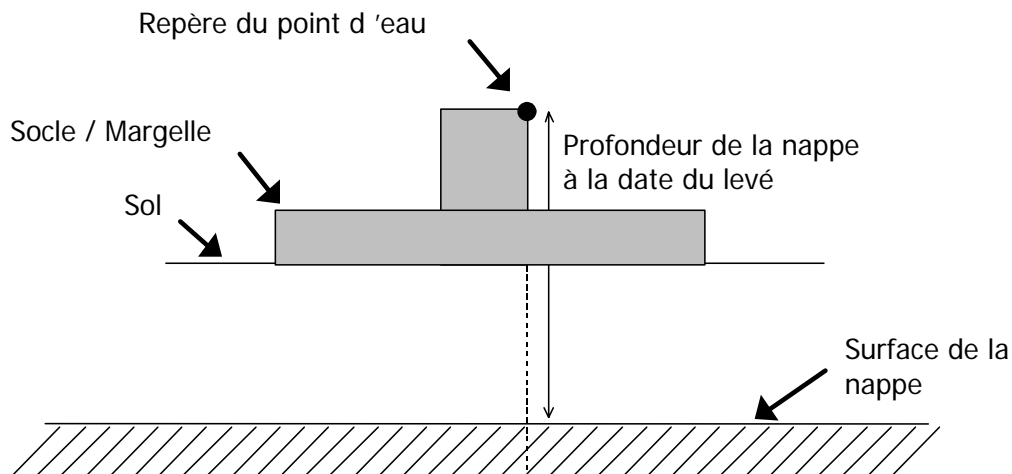
gravière, ...) qui servira de repère lors des mesures piézométriques (rebord de la tête du tubage, par exemple),

- positionné sur un fond topographique adéquat afin de permettre une coupe géologique et technique.

Pour les têtes de forage dépassant du sol, le numéro d'identification du piézomètre doit être peint sur le tube avec une peinture adaptée à la nature du support et apte à l'application à l'extérieur.

Pour les têtes au ras du sol et couvertes par une plaque, la peinture étant souvent enlevée par la circulation des véhicules, il faut donc la renouveler autant que de nécessaire et/ ou envisager de graver le numéro dans le béton. Il peut aussi être envisagé de noter le numéro du forage au verso du capot ou du regard.

Tout forage de plus de 10 mètres de profondeur doit faire l'objet d'une déclaration au code minier.



### Points remarquables du point d'eau

## 3.12. COMPTE RENDU DES TRAVAUX

Un descriptif de l'ouvrage réalisé, et un compte-rendu circonstancié des travaux effectués, apparaissent nécessaires afin de formaliser la démarche entreprise et la réception des ouvrages. Tous les éléments permettant de localiser le forage, de

---

(construction d'une nouvelle margelle, ...) d'assurer une bonne continuité dans les chroniques piézométriques.

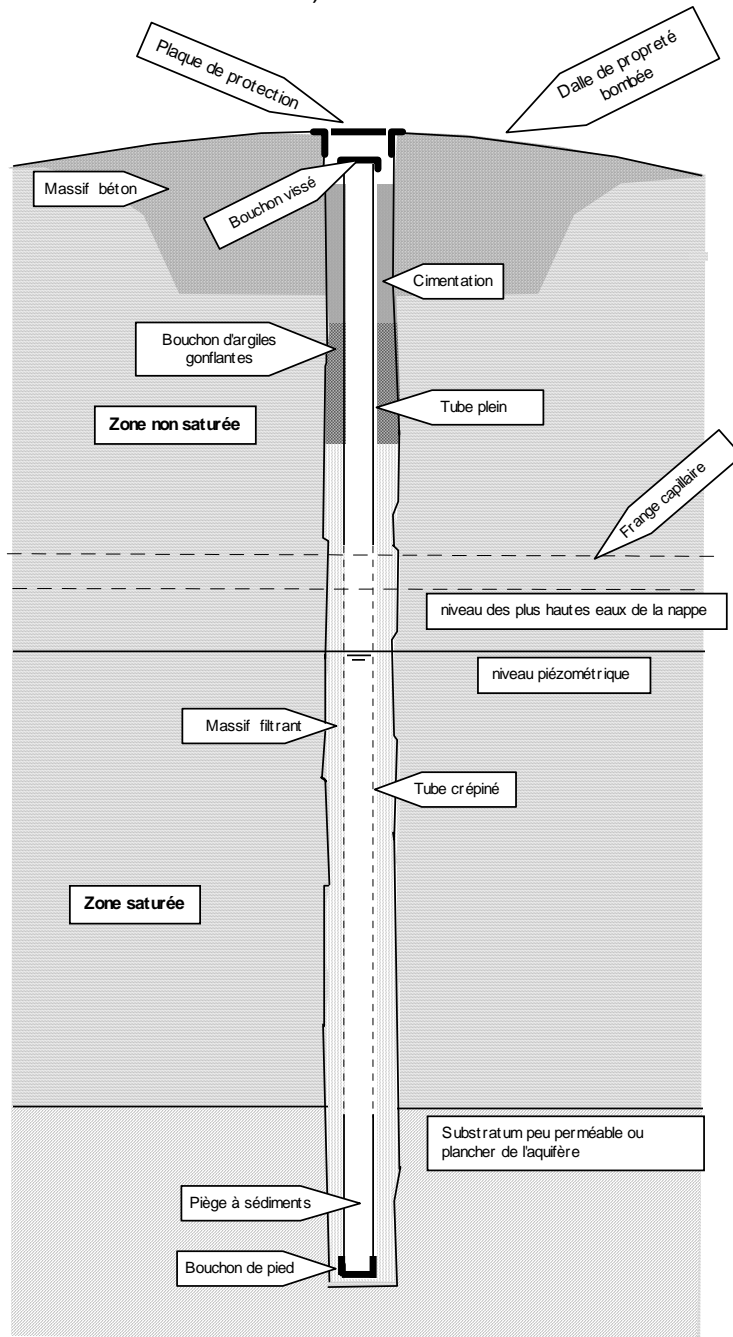


connaître ses caractéristiques techniques, ainsi qu'une meilleure interprétation des résultats des analyses à réaliser sur les eaux prélevées, doivent y figurer.

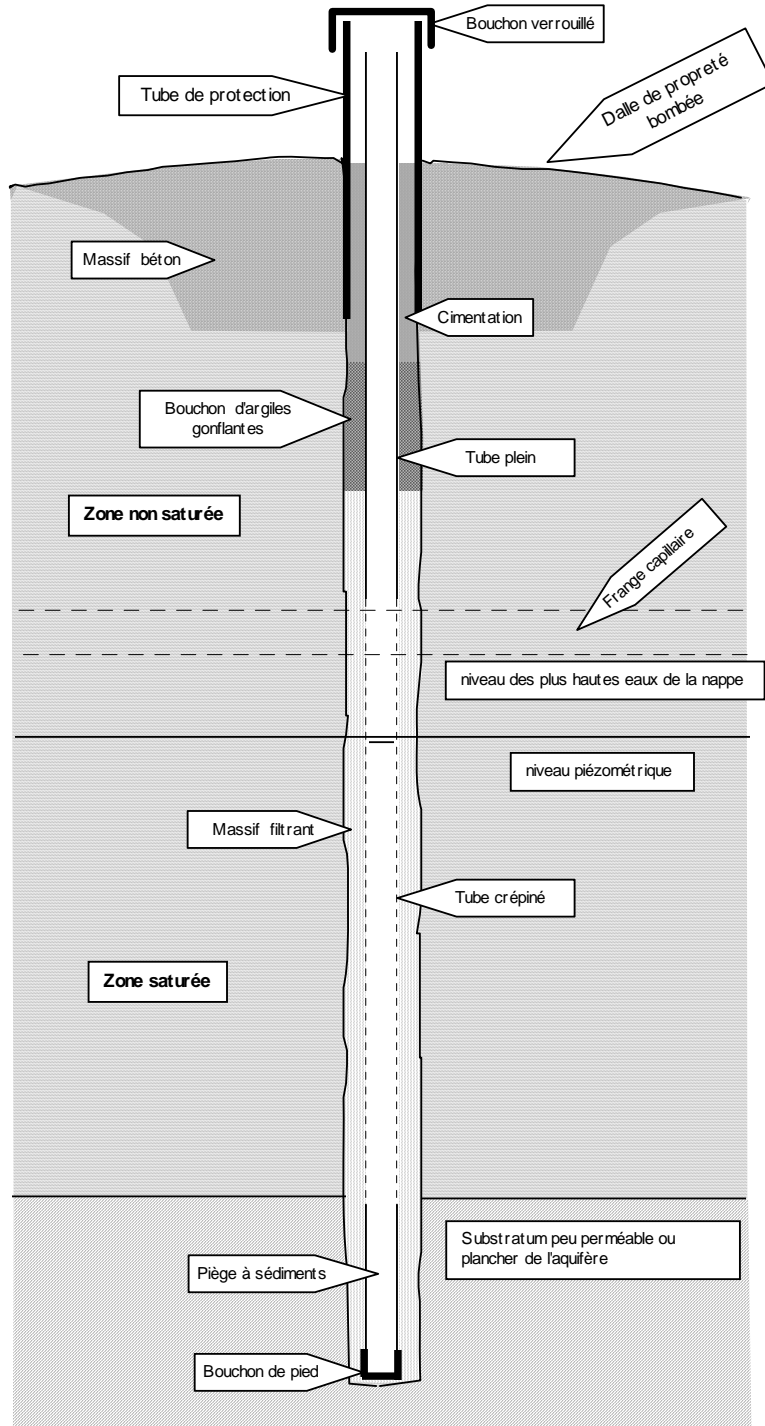
La liste des informations à produire doit être la suivante :

- a) les objectifs de l'ouvrage réalisé ;
- b) le cahier des charges défini par le bureau conseil et/ou le maître d'ouvrage, ainsi que l'argumentaire justifiant les choix retenus ;
- c) une fiche signalétique comportant : N° d'identification du forage, commune, lieu-dit, adresse précise, coordonnées X et Y dans la zone Lambert concernée, cote NGF du rebord du tube repère et du sol, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, conducteur d'opération, entreprise, profondeur atteinte, dates de début et fin des travaux, aquifère(s) traversé(s) ;
- d) un plan de localisation général sur carte topographique IGN à 1/25 000 ;
- e) un plan de localisation précis à grande échelle (type cadastre par exemple), prenant en compte les accès et tous les aspects d'occupation du sol et du sous-sol dans l'environnement proche de l'ouvrage ;
- f) un compte rendu du déroulement des opérations, comportant notamment :
  - un descriptif du matériel (foreuse, pompes, outils divers, compresseur, ... ),
  - l'organisation du chantier, ainsi que les précautions mises en œuvre pour éviter d'éventuelles pollutions,
  - les caractéristiques physico-chimiques des divers fluides utilisés sur le chantier (boues, carburants, huiles hydrauliques, lubrifiants, ...),
  - les diverses phases de réalisation de l'ouvrage, les méthodes utilisées, les problèmes éventuels et les solutions retenues pour y remédier (avant trou, tubage provisoire diamètres de foration, diagraphies, mise en place des tubages, gravillonnage, cimentation, contrôles réalisés à chaque étape, ... ),
  - les caractéristiques physico-chimiques des divers matériaux utilisés pour l'équipement de la colonne de captage (tubages, crépines, massif filtrant, ...), ainsi que les profondeurs et cotes NGF de leur position dans le forage,
  - le mode de développement du forage (mise à l'eau claire, type de pompage, éventuels traitements à l'acide ou à l'hexamétaphosphate, ... ) ;
- g) une coupe technique du forage réalisé, un profil lithologique des formations traversées ainsi qu'une coupe géologique, voire les profils de diagraphies, instantanées ou différées, si elles ont été réalisées ;
- h) les résultats des éventuels essais de pompage et profils de productivité au micro-moulinet ;
- i) les résultats d'une éventuelle inspection par vidéo caméra, si elle a été réalisée avant la remise de l'ouvrage.

La liste des substances et paramètres analysés et les résultats analytiques seront consignés dans le compte rendu relatif au prélèvement et à l'échantillonnage des eaux souterraines (voir le document X31-615).



**Schéma général illustrant un forage crépiné sur toute l'épaisseur de la nappe libre qu'il traverse, et présentant une protection de tête au ras du sol.**



**Schéma général illustrant un forage crépiné sur toute l'épaisseur de la nappe libre qu'il traverse, et présentant une protection de tête dépassant du sol.**

## 4. Bibliographie

### **MISE EN PLACE D'UN PIEZOMETRE, REALISATION ET EQUIPEMENTS D'UN FORAGE**

(1.) - **Norme Française - NF X31-509 - T2** : - AFNOR (1993) - Méthode de mise en place d'un piézomètre dans le sol à des fins agropédologiques.

#### **Documents :**

(2.) - LAUGA R. (1990) - Pratique du forage d'eau et utilisation des crépines en génie civil et forage profond; édité par SEPIA.

(3.) - PLOTE H. (1986) - Sondage de reconnaissance hydrogéologique - Méthode du marteau fond de trou; exécution et surveillance ; Manuels et Méthodes BRGM, N°12.

(18) - BOURGEOIS M. (1976) - Norme de l'AWWA pour les puits profonds - Guide de préparation des documents contractuels pour la réalisation de puits - BRGM R22206, 76, SGN, 163, AME; 87 pages.

(19) - BOURGEOIS M. (1976) - La corrosion et l'incrustation dans les forages d'eau - Choix de l'équipement adapté - BRGM R22020, 76, SGN, 379 AME; 26 pages.

(20) - FORKASIEWICZ J. (1976) - Calcul des ouvrages de captage (rapport 1) : Calcul des pertes de charge dans les puits ou forages - Application à la détermination de débit exploitable - BRGM R22122, 76, SGN, 380, AME; 38 pages.

(21) - SOLAGES S. (1979) - Calcul des ouvrages de captage : Choix et caractéristiques des colonnes de captage - BRGM R20954, 79 SGN, 727, HYD; 100 pages.

### **MESURES PIEZOMETRIQUES**

(4.) **Norme Française - NF P94-157-1** : - AFNOR (1996) - Sols - Reconnaissance et essais, mesures piézométriques, partie 1 : Tubes ouverts

### **RESISTANCE DES PEHD ET PVC**

(5.) **Norme Française - NFT 54-004** : - AFNOR (1978) - Tubes et raccords en PVC non plastifié - Résistance chimique vis-à-vis des fluides à véhiculer (octobre 1978).

(6.) **Norme Française - NFT 54-070** : - AFNOR (1978) - Tubes et raccords en polyéthylène haute densité (PEHD) - Résistance chimique vis-à-vis des fluides à véhiculer (octobre 1978).

**Documents :**

(7.)- FISHER George (1994) : Systèmes de tuyauteries en matières plastiques; résistance aux attaques chimiques - catalogue ISO/DIN.

**RESISTANCE DES ACIERS**

**Documents :**

(8.) - DECHEMA Werkstoff Tabellen (une fiche par produit chimique et indication de résistance pour tous les matériaux).

(9.) - "Corrosion Resistance Materials Handbook"; (Mellan 3rd edition).

**UTILISATION DES CIMENTS**

(10.) **Norme Française - FD P 18-011** : - AFNOR (1992) - Bétons - Classification des environnements agressifs ; Fascicule de documentation (juin 1992).

(11.) **Norme Française - FD P 15-010** : - AFNOR (1997) - Liants hydrauliques - Guide d'utilisation des ciments ; Fascicule de documentation (octobre 1997).

**PRELEVEMENT DES SOLS ET ROCHES**

(12.) **Norme Française - XP P 94-202** : - AFNOR (1995) - Sols : reconnaissance et essais - Prélèvements des sols et des roches ; Méthodologie et procédures (décembre 1995).

**VOCABULAIRE**

**Dictionnaires :**

(13.) - SANDRE (1997) - Dictionnaires de données de la piézométrie : Eaux souterraines 1997-1.

(14.) - BRGM (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie par CASTANY G. et MARGAT J.

(15.) **Norme Française - NF ISO 11074-1** : AFNOR (1997) - Qualité des sols, vocabulaire partie 1: Termes et définitions relatifs à la protection et à la pollution des sols.

(16.) **Norme Française - NF ISO 11074-2** : AFNOR (1997) - Qualité des sols, vocabulaire partie 2: Termes et définitions relatifs à l'échantillonnage.

(17.) **Norme Française - NF ISO 11074-4** : AFNOR (1996) - Qualité des sols, vocabulaire partie 4: Termes et définitions relatifs à la réhabilitation des sols et sites.

## **VII - Prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage**

***Document en préparation***

## **VIII - Interprétation des résultats de la surveillance de la qualité des eaux souterraines**





# Sommaire

<b>2. Une interprétation adaptée à chaque situation.....</b>	<b>5</b>
2.1. OBJECTIFS DE QUALITE DES ESO .....	6
2.2. CONTEXTE <i>A PRIORI</i> OU <i>A POSTERIORI</i> DE LA SURVEILLANCE DES ESO.....	6
2.2.1. Surveillance a priori : Détection ou recherche d'une éventuelle pollution	6
2.2.1. Surveillance a posteriori : Suivi de l'évolution d'un panache de pollution	6
2.3. RAPPEL DES OBJECTIFS DU DISPOSITIF MIS EN PLACE .....	6
<b>3. Précautions à prendre pour l'interprétation des données acquises .....</b>	<b>7</b>
3.1. GENERALITES .....	7
3.2. VARIATIONS TEMPORELLES NATURELLES DE LA QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE .....	8
3.3. INFLUENCE LIEE A L'ETAT DU FORAGE DANS LEQUEL EST FAIT LE PRELEVEMENT .....	8
3.4. INFLUENCE DU PRELEVEMENT ET DU TRANSPORT .....	9
3.5. INCERTITUDE LIEE A LA PREPARATION OU L'ANALYSE DE L'ECHANTILLON ETUDIE .....	9
3.6. CONCLUSIONS SUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES.....	10
<b>4. Modalités de restitution et présentation des données.....</b>	<b>11</b>
4.1. GENERALITES .....	11
4.2. BIAIS INDUITS PAR LES INTERPOLATIONS CARTOGRAPHIQUES .....	11
<b>5. Suivi, évolution ou arrêt d'un programme de surveillance de la qualité des ESO .....</b>	<b>12</b>
5.1. SUIVI ET EVOLUTION D'UN PROGRAMME DE SURVEILLANCE .....	12
5.2. ARRET D'UN PROGRAMME DE SURVEILLANCE .....	13
<b>6. Périodicité et contenu des rapports .....</b>	<b>14</b>
6.1. DISPOSITIONS COMMUNES .....	15
6.2. RAPPORT ANNUEL .....	15
6.3. BILAN QUADRIENNAL.....	15

6.3.1.	Rappel des objectifs de qualité des ESO, du contexte et des objectifs du dispositif de la surveillance.....	16
6.3.2.	Présentation des résultats.....	16
6.3.3.	Comparaison des résultats au modèle de fonctionnement .....	16
6.3.4.	Mise en perspective des résultats.....	16
6.3.5.	Réflexion sur l'adaptation du dispositif de surveillance.....	17
6.3.6.	Conclusions.....	17

# 1. Introduction

Les différents termes relatifs à la **mise en place d'une surveillance** de la qualité des eaux souterraines (ESO) sous-entendent des notions variables. S'il est utile de préciser les distinctions et nuances existantes (cf. document « Stratégie de surveillance de la qualité des ESO »), il faut rappeler qu'il s'agit avant tout de procéder à **une évaluation** de la qualité des eaux souterraines.

Il importe dès lors de souligner que la surveillance en contexte de pollution industrielle ne peut en aucune façon se réduire au seul rendu périodique d'une compilation brute de bordereaux d'analyses, au mieux complétée par quelques comparaisons indicatives à des critères de qualité dont le choix n'est pas explicité, le tout sans aucun rappel du contexte environnemental et sanitaire général.

Evidemment, selon les objectifs exprimés et les besoins identifiés, le dispositif de surveillance de la qualité des ESO à concevoir devra répondre à diverses attentes auxquelles sont associées différentes modalités d'analyse et d'interprétation des résultats. La valorisation et la présentation des données devront donc s'ajuster en fonction, et en tenant notamment compte du schéma conceptuel/modèle de fonctionnement.

## 2. Une interprétation adaptée à chaque situation

Chaque situation étant spécifique, elle fera l'objet d'une stratégie de surveillance de la qualité des ESO qui lui est propre. Dès lors, l'interprétation des données acquises sur la qualité des ESO doit être adaptée :

- aux objectifs et contraintes en matière de qualité des ESO,
- au contexte de la surveillance *a priori* ou *a posteriori*,
- aux objectifs du dispositif de surveillance mis en place.

Par ailleurs, quelle que soit la situation :

- les conditions d'acquisition des résultats fournis doivent être documentées (mode de prélèvement, échantillonnage, transport et analyse) ;
- les données doivent aussi être représentatives de ce qu'on souhaite caractériser, qu'il s'agisse de :
  - la pollution : on cherchera alors en général toute trace de polluant (non dilué), notamment si l'on souhaite prévenir un impact sur une nappe,
  - la nappe : on cherchera alors, pour le secteur concerné, à caractériser l'état général du milieu. Les conditions dépendront du contexte environnemental et donc des critères de comparaison (état initial, contraintes de qualité liées aux usages de l'eau, objectifs environnementaux de qualité des milieux : eaux de surface, zones protégées...).

## 2.1. OBJECTIFS DE QUALITE DES ESO

Les objectifs à atteindre ou à respecter en matière de qualité des eaux souterraines doivent être définis dans le schéma conceptuel puis dans le modèle de fonctionnement du site et rappelés dans le document d'interprétation des données.

L'interprétation des données, si elle intègre aussi les déclencheurs d'action (événements qui apparaissent en contradiction avec les prédictions du modèle de fonctionnement ou évolutions attendues de la pollution<sup>1</sup>), ne doit cependant pas se limiter à ce seul type de comparaison, tel qu'évoqué par la suite.

## 2.2. CONTEXTE *A PRIORI* OU *A POSTERIORI* DE LA SURVEILLANCE DES ESO

### 2.2.1. *Surveillance a priori : Détection ou recherche d'une éventuelle pollution*

La simple détection confirmée du polluant recherché dans l'échantillon prélevé, soit en solution, soit en phase séparée doit être considérée comme un déclencheur d'action, même pour une faible concentration. À partir de ce moment, le contexte de la surveillance change en s'orientant vers le suivi de l'évolution du panache de pollution nécessitant une évaluation du problème.

### 2.2.1. *Surveillance a posteriori : Suivi de l'évolution d'un panache de pollution*

La surveillance d'un panache de pollution existant nécessite trois approches :

- au besoin, et si cela apparaît pertinent, la comparaison des concentrations mesurées à des valeurs de référence, pour connaître l'intensité de la pollution par rapport à un état initial, à un bruit de fond (naturel ou anthropique) ou à des seuils fixés.
- l'évolution dans le temps des concentrations mesurées en chaque point pour apprécier l'extension et l'évolution globale du panache de polluant dans le temps et dans l'espace, la comparaison spatiale des concentrations à un instant donné, relatives aux eaux d'un même aquifère, notamment entre l'amont et l'aval hydraulique, sous forme de graphiques ou de cartes brutes (non interpolées, car les courbes d'iso-concentrations sont variables selon les méthodes d'interpolation utilisées).
- la comparaison des concentrations mesurées avec les prévisions du modèle de fonctionnement.

## 2.3. RAPPEL DES OBJECTIFS DU DISPOSITIF MIS EN PLACE

Selon les objectifs du dispositif de la surveillance, l'interprétation des résultats prendra des formes différentes, plus ou moins détaillées, avec une **mise en perspective** variable des résultats.

---

<sup>1</sup> cf. document « Modèle de fonctionnement »

En rappel des définitions plus complètes données dans le document « **Stratégie de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines** », on peut résumer l'organisation de ces divers objectifs de la façon suivante :

- **contrôler** est une action ponctuelle non suivie dans le temps,
- **suivre, connaître ou vérifier** (après gestion au besoin) relève du domaine des diagnostics pour l'acquisition de données factuelles validées,
- **comprendre** concerne l'étude d'évaluation, d'interprétation et de mise en perspective (liens entre « effets/causes » et « conséquences ») des données validées,
- **orienter** est l'aboutissement de la compréhension et de l'interprétation précédente, lesquelles doivent déboucher sur des actions de gestion,
- **communiquer** sur données factuelles validées, ou sur données interprétées, en précisant clairement dans chacun des cas, le contexte et les limites de la communication.

Ainsi, toute démarche de surveillance (évaluation) de la qualité de l'eau doit être **conçue et gérée sur la base du couple « Acquisition de données » et « Interprétation et Utilisation des résultats »**.

L'acquisition de résultats sans objectif précis et selon des modalités de valorisation mal définies ne permet généralement pas de résoudre les problèmes ou questions qui se posent. D'un autre côté, l'utilisation de données sans garantie que les modalités d'acquisition de celles-ci sont pertinentes au regard des objectifs de qualité des ESO limite ou fausse considérablement leur interprétation. Ce n'est donc pas uniquement l'un ou l'autre.

En d'autres termes, et de manière plus synthétique, selon la situation, **l'interprétation ne se limite pas à la seule confrontation entre les résultats de la surveillance et les prévisions annoncées dans le modèle de fonctionnement**. Il faut donc dépasser l'éventuel simple **constat** confirmé d'un écart entre les observations et les évolutions attendues des concentrations pour aborder les questions de **compréhension des phénomènes** et des éventuelles **mesures de gestion** nécessaires.

## **3. Précautions à prendre pour l'interprétation des données acquises**

### **3.1. GENERALITES**

Quelle que soit la situation pour laquelle l'évaluation de la qualité de l'eau souterraine est souhaitée, les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés dans un forage peuvent être le reflet d'un certain nombre d'influences.

Certaines influences peuvent être liées à une pollution imputable aux activités, actuelles ou passées, du site concerné, mais certaines autres peuvent être liées à d'autres causes. Dans tous les cas, ces influences doivent avoir été évaluées et sont censées, *a priori*, avoir été résolues en préalable. A titre d'exemples indicatifs, voici quelques influences classiquement rencontrées :

- un panache de pollution véhiculé par la nappe, venant de l'amont hydraulique et non imputable aux activités du site,
- des variations temporelles naturelles (cf. § 3.2 ci-après),
- l'état, éventuellement défectueux, d'un forage ancien dans lequel serait fait le prélèvement (cf. § 3.3),
- des modifications de la qualité des échantillons au cours du prélèvement ou de leur transport (cf. § 3.4 ci-après),
- la préparation et/ou l'analyse de l'échantillon étudié (cf. § 3.5 ci-après).

Au-delà des influences réelles évoquées ci-dessus, une mise en forme inadéquate des données peut fausser voire biaiser l'interprétation qui en est faite. Ainsi, les modalités de restitution des résultats, et notamment le report cartographique des résultats peut générer des biais dans l'appréciation que l'on pourrait se faire par exemple de la géométrie du panache de polluant (cf. § 4).

### **3.2. VARIATIONS TEMPORELLES NATURELLES DE LA QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE**

A une échelle de temps variable, quelques heures ou quelques jours pour les nappes peu profondes, quelques semaines à quelques mois pour les nappes profondes, des variations peuvent être observées consécutivement à des épisodes pluvieux ou à des activités anthropiques saisonnières. L'eau de la nappe est mélangée avec les eaux de pluie qui ont pu interagir avec le sol et le sous-sol au cours de leur infiltration.

Pour de nombreux éléments, un événement pluvieux se traduit souvent par une dilution des concentrations dans la nappe, mais pour certains éléments, une augmentation des concentrations, due au lessivage des sols traversés ou au relarguage de polluants fixés dans la zone de battement de la nappe, peut aussi être envisagée.

### **3.3. INFLUENCE LIE A L'ETAT DU FORAGE DANS LEQUEL EST FAIT LE PRELEVEMENT**

Dans le cas d'un ancien forage traversant plusieurs niveaux aquifères, il est possible qu'une contamination de l'aquifère étudié par un aquifère sous-jacent ou sus-jacent se produise si le forage concerné n'a pas été conçu pour ne capter que l'horizon aquifère à analyser (cf. recommandations du document AFNOR X 31-614).

Par ailleurs, la qualité de l'eau d'un forage peut varier en fonction de l'état de son équipement s'il est défectueux, notamment du fait d'une dégradation de sa structure (cimentation de l'espace annulaire externe, corrosion ou colmatage des tubages...).

Dans ce cas, il faut réfléchir à la façon la plus pertinente de colmater ce forage afin d'éviter la mise en communication des divers niveaux aquifères et de refaire, si besoin, un autre forage dans les règles de l'art.

Pour différentes raisons on peut aussi être amené à faire des mesures ou des prélèvements dans des puits privés des particuliers ou dans des forages pouvant exister à proximité du site, mais :

- ne répondant pas aux préconisations techniques du fascicule de documentation AFNOR FD X 31-614 (cf. document 6) relative à la réalisation des forages de contrôle de la qualité des eaux souterraines,
- ou ne recoupant que la surface de la nappe,
- ou dans lesquels il peut être difficile de réaliser un échantillonnage selon les règles de l'Art ou de tout autre protocole spécifiquement adapté au contexte étudié.

Sauf à être certain de la représentativité des résultats acquis dans l'ouvrage concerné, l'interprétation doit pouvoir être modulée en prenant en compte :

- la conformité de la donnée au regard d'une procédure, au sens de l'Assurance Qualité, c'est-à-dire le respect des exigences, le cahier des charges relatif au processus d'acquisition de la donnée, la norme appliquée...
- la vraisemblance de la donnée c'est-à-dire le niveau de « réalisme » de cette donnée vis-à-vis de l'état des connaissances du milieu auquel l'analyse se rapporte.

### **3.4. INFLUENCE DU PRELEVEMENT ET DU TRANSPORT**

Le prélèvement peut être une source d'incertitude importante et difficile à maîtriser. Ces variations peuvent être dues au mode de prélèvement (mode de purge, outil de prélèvement, ...) ou au type de conditionnement lorsqu'ils sont inadéquats pour l'élément recherché.

Certains paramètres ne sont pas conservatifs, c'est-à-dire qu'ils fluctuent lorsque le fluide n'est plus dans son milieu originel, en fonction des variations de la température ou de la pression. Par exemple, pour les eaux qui sont sous une pression significative (cas des nappes profondes ou des aquifères captifs), le dégazage entraîne une modification de la composition en gaz, mais également une modification du pH. Si le milieu est pauvre en oxygène, le contact (lors du prélèvement) avec l'oxygène entraîne des réactions chimiques qui modifient la composition du fluide, notamment le pH, le potentiel d'oxydo-réduction et donc les teneurs en éléments à plusieurs degrés d'oxydation (sulfures, métaux sous forme réduite...).

Il est donc important de suivre des précautions strictes, tant pour le prélèvement que pour le flaconnage et le conditionnement des eaux souterraines pour leur transport et leur conservation jusqu'au laboratoire d'analyse.

### **3.5. INCERTITUDE LIEE A LA PREPARATION OU L'ANALYSE DE L'ECHANTILLON ETUDIE**

Le résultat remis par le laboratoire d'analyse comporte une incertitude, trop souvent non définie, qui peut être liée à la procédure de préparation de l'échantillon et/ou à la méthode analytique employée. Par exemple, au voisinage des faibles teneurs, l'incertitude sur l'analyse peut être importante par rapport à la mesure elle-même.

Certains laboratoires accompagnent leurs résultats d'une appréciation de cette incertitude, pratique qu'il serait utile de généraliser.

Le calcul *a priori* de l'incertitude sur une mesure étant difficile, il faut disposer d'un nombre important de mesures, car une évaluation de l'incertitude par des méthodes statistiques est alors possible.

Dans le cas de la surveillance de l'évolution d'un panache de pollution, opération longue destinée à durer dans le temps, ces méthodes offrent l'avantage de pouvoir déceler les tendances plus rapidement que par le simple examen des courbes, et surtout de bien distinguer ce qui constitue une évolution et ce qui provient du bruit de fond de la mesure.

Il faut sur ce point souligner que pour bénéficier de l'agrément « Environnement » les laboratoires ainsi qualifiés sont tenus de pouvoir restituer les résultats analytiques selon un format numérique EDILABO<sup>2</sup>, établi au niveau national. Ce format, respectant les codifications du SANDRE<sup>2</sup> et facilitant l'échange de données numériques selon un modèle homogène pour tous, est donc vivement conseillé.

### **3.6. CONCLUSIONS SUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES**

L'interprétation des résultats nécessitent donc des précautions et une attention particulière en raison des incertitudes et des influences variables relatives à la qualité des ESO.

L'ensemble des considérations précédentes souligne la précarité des conclusions qui seraient établies sur des analyses ponctuelles, ou au terme d'une période de suivi de courte durée.

En particulier, il faudra s'attacher plus aux tendances et aux ordres de grandeurs, observées sur le plus grand nombre possible de mesures faites au cours du temps, qu'aux valeurs ponctuelles et absolues.

De façon empirique, et de manière variable selon les contextes hydrogéologiques, l'établissement d'un état des lieux avec évaluation d'une tendance « fiable » d'évolution de la qualité des ESO nécessite à la fois, au moins deux ans et 8 mesures intégrant les périodes de hautes et basses eaux de la nappe pour pouvoir affirmer la validité d'une tendance.

---

<sup>2</sup> EDILABO et SANDRE : <http://www.sandre.eaufrance.fr>



## 4. Modalités de restitution et présentation des données

### 4.1. GENERALITES

Concernant la restitution des données, aucune recommandation technique détaillée ne peut être émise tant les contextes industriels, de pollutions, environnementaux et hydrogéologiques sont variables. On peut néanmoins apporter quelques principes :

- le mode de restitution des données doit être en accord avec les objectifs de qualité, le contexte et les finalités du dispositif mis en place. Il doit être défini dans le modèle de fonctionnement et intégrer son évolution. Il se fait en analysant les résultats sur une **période donnée** et pour une **échelle géographique** précise ;
- l'analyse des données se fait sur la base de résultats dont la représentativité est évaluée. On devra donc s'attacher à toujours rappeler ou analyser les **modalités d'acquisition de données**, qui se doivent d'être les mieux documentées (conditions et protocoles de prélèvement de d'analyse) et la **représentativité des données** ;
- les résultats doivent être étudiés en regard des prévisions du modèle de fonctionnement : il est insuffisant et inutile dans la majorité des cas de se contenter d'une approche comparative sommaire des analyses individuelles à des valeurs guide, sans **interprétation** ni **mise en perspective** des données dans le **contexte du modèle de fonctionnement** concerné ;
- l'analyse devra **conclure de façon claire** (eu égard à la responsabilité de celui qui exerce la surveillance) sur la question du respect ou non des objectifs environnementaux définis dans le modèle de fonctionnement, et si nécessaire indiquer avec précisions les **actions complémentaires à mettre en œuvre pour pallier les manques** ;
- sur le plan technique, **il est nécessaire de distinguer clairement le résultat factuel** (une concentration, une observation) **et l'interprétation** (interpolation, tendance...) ;
- compte tenu qu'il s'agit de transport de polluants dans les eaux souterraines, les cartes piézométriques seront toujours présentées et mises à jour. S'agissant d'une problématique de pollution d'un milieu naturel, les points d'usage des eaux et les connections entre les milieux seront toujours rappelés ;
- dans certains cas, et dès lors que cela apparaîtra pertinent, les chroniques de qualité des eaux seront couplées, pour une meilleure lisibilité, avec la pluviométrie et la piézométrie, avant de définir une fréquence de prélèvement la mieux adaptée au contexte surveillé.

### 4.2. BIAIS INDUITS PAR LES INTERPOLATIONS CARTOGRAPHIQUES

En raison des incertitudes sur les mesures analytiques, les cartes iso-concentrations ne fournissent pas une représentation fidèle de la réalité, mais constituent une image destinée à servir de support à la réflexion. Ces cartes sont souvent tracées à partir de

logiciels spécialisés, aussi faut-il être attentif au choix de la méthode d'interpolation retenue. La surface modélisée devrait :

- passer strictement par les points de mesure, ou, si on les connaît, par les intervalles de confiance ;
- rester dans l'intervalle de définition de la variable représentée (par exemple, ne pas descendre au-dessous de zéro pour des concentrations) ;
- pour des représentations de courbes iso-concentrations, approcher en tangente la valeur zéro, car la pratique qui consiste à tronquer la surface en ramenant à zéro toutes les valeurs négatives n'est pas pleinement satisfaisante ;
- ne pas introduire d'artefacts dans les zones de moindre densité de points de mesures ou sur les bords de la carte ;

Malheureusement, la plupart des logiciels standards ne permettent pas de respecter toutes ces contraintes. En raison de ces imperfections, il faudra rester prudent dans l'interprétation des documents graphiques.

Si les cartes en courbes iso concentration peuvent être utiles, elles ne sauraient remplacer des cartes en « points » : la concentration est reportée à chaque point de mesure et symbolisée par un point dont la taille ou la couleur sont liées à la valeur mesurée à la date du prélèvement.

## **5. Suivi, évolution ou arrêt d'un programme de surveillance de la qualité des ESO**

L'évolution ou l'arrêt d'un programme de surveillance de la qualité des eaux souterraines vont dépendre des objectifs à atteindre et des hypothèses de départ pris en compte dans le modèle de fonctionnement.

### **5.1. SUIVI ET EVOLUTION D'UN PROGRAMME DE SURVEILLANCE**

Un programme de surveillance est évolutif et se nourrit de l'historique des mesures réalisées selon une même procédure de prélèvement et de méthode analytique.

Lorsque les mesures confortent de façon fiable les prévisions du modèle de fonctionnement, alors on peut envisager d'alléger le dispositif en jouant alternativement sur :

- le nombre de points à prélever,
- la fréquence des prélèvements,
- la nature des composés à analyser.

En revanche, si les mesures ne sont pas cohérentes avec l'évolution attendue définie par le modèle de fonctionnement, il faut :

1. s'assurer que la mesure est valide et refaire la mesure pour la conforter,
2. intégrer ce résultat dans le modèle de fonctionnement.

Il est possible qu'une évolution inattendue ne trouve pas une explication immédiate pouvant conduire à la modification du modèle de fonctionnement. Il pourra alors être utile d'intensifier la surveillance de façon appropriée.

Dans les cas d'écoulement accidentel à partir d'une installation ou d'un véhicule, lors d'un constat de pollution, d'une tendance à l'augmentation des concentrations ou de tout nouveau problème à solutionner, il sera utile de revenir au modèle de fonctionnement en s'interrogeant sur l'éventuelle nécessité d'augmenter la fréquence d'échantillonnage.

Par ailleurs, lorsqu'on se trouve dans un contexte hydrogéologique complexe avec des niveaux aquifères superposés distincts, c'est-à-dire clairement séparés par une couche de type argileux, il faudra vérifier :

- d'abord la qualité de l'eau de l'aquifère le plus proche de la surface,
- puis, si celui-ci est l'objet d'un constat d'impact, et en fonction des enjeux, il faudra aussi vérifier par des forages bien distincts, la qualité de la nappe sous jacente. Des méthodes adéquates devront être utilisées pour ne pas mettre en relation les eaux des différents niveaux aquifères concernés.

## 5.2. ARRET D'UN PROGRAMME DE SURVEILLANCE

La mise en place d'une surveillance de la qualité des eaux souterraines au droit d'un site peut être la conséquence d'un texte réglementaire (par ex. art. 65 de l'arrêté ministériel du 2 février 1998).

En dehors de ce cas où la question de l'arrêt de la surveillance se posera lorsque les conditions d'application de la réglementation n'auront plus cours, **la décision d'arrêter la surveillance sera prise quand les résultats de la surveillance seront pleinement en accord avec les objectifs du modèle de fonctionnement, en termes de concentrations, délais, stabilité et fiabilité des données acquises ...**

Il ne peut être donné de règles absolues pour justifier l'arrêt d'un programme de surveillance, car elles sont fonction des enjeux, du contexte environnemental, des objectifs de la surveillance, des contraintes liées à ces opérations, bref du modèle de fonctionnement lui-même et des déclencheurs d'action qui auront été définis. Quelques indications sont cependant apportées, ci-dessous.

1. La durée d'une surveillance doit être établie sur la base des temps de transfert dans la ZNS<sup>3</sup> et la ZS<sup>4</sup> pour la distance séparant le forage de la source polluante, des éléments les moins mobiles et les plus persistants (et non plus des éléments les plus mobiles pris en compte pour définir la fréquence des prélèvements). La durée de la surveillance devrait être, *a minima*, égale à deux fois ces temps de transfert.
2. La durée d'acquisition des données sur la qualité des eaux doit être suffisante pour être en mesure de prononcer un jugement sur les concentrations en polluants et leur évolution. Une telle durée ne saurait être inférieure à deux ans, afin d'intégrer plusieurs épisodes de basses et hautes eaux.

---

<sup>3</sup> Zone non saturée (ZNS) : zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface d'une nappe.

<sup>4</sup> Zone saturée (ZS) : zone du sous-sol dans laquelle l'eau occupe complètement les interstices des roches, formant une nappe d'eau souterraine.

3. Lorsqu'une surveillance est menée au titre de la vérification du bon fonctionnement de l'installation et des dispositifs de prévention (contexte *a priori*), elle est maintenue tant que les causes de son origine perdurent.
4. Lorsque la surveillance est menée à la suite d'actions curatives (contexte *a posteriori*), elle sera au minimum poursuivie de telle manière que sa durée intègre les temps mentionnés aux points 1 et 2 ci-avant et prolongée tant que la qualité des eaux n'aura pas rejoint l'objectif fixé dans le modèle de fonctionnement.

Le tableau 1 ci-après donne, à titre indicatif, quelques exemples de situation de surveillance pour illustrer ces propos.

<b>Objectif de la surveillance</b>	<b>Durée de la surveillance</b>
a. Vérifier l'absence de fuite d'une installation, d'une cuve, d'une canalisation enfouie, ...	<b><i>Tant que l'installation concernée est en place et utilisée</i></b>
b. Vérifier le bon fonctionnement d'un centre d'enfouissement technique (CET)	<b><i>Pendant l'exploitation et après la cessation d'activité du CET, tant qu'existent des lixiviats, puis pendant la période potentielle de transfert (flux convectif + flux diffusif) définie selon les indications du point 1 (cf. texte ci-avant)</i></b>
c. S'assurer que des polluants préalablement constatés dans les sols, mais sans traitement envisagé, n'ont pas migré vers la (les) nappes sous-jacentes ou proches	<b><i>Tant que les polluants présents dans les sols existent et que la démonstration de l'absence de migration n'a pas été faite</i></b>
d. Suivre l'évolution d'une pollution des eaux, notamment sur les sites considérés en « atténuation naturelle »,	<b><i>Tant que ces eaux n'ont pas retrouvé la qualité nécessaire à l'usage qu'on envisage d'en faire et atteint l'objectif préétabli sur la base de l'évolution attendue ; et seulement après la levée des restrictions d'usage qui auraient été prises</i></b>
e. Suivre l'impact sur les eaux souterraines d'un traitement en cours d'application sur la nappe et/ou vérifier son efficacité	<b><i>Pendant toute la durée du traitement, puis après traitement, tant que les concentrations ne s'organisent jusqu'à atteindre les objectifs du modèle de fonctionnement.</i></b>
f. Suivre l'impact potentiel sur les eaux souterraines d'un traitement appliqué à des sols pollués	<b><i>Pendant toute la durée du traitement, puis jusqu'à ce que les concentrations confirment les résultats attendus à l'issue du traitement</i></b>
g. Suivre la qualité de l'eau lorsque le traitement d'une pollution est différé (délai à préciser !)	<b><i>Tant que le traitement n'aura pas été fait</i></b>

**Tableau 1 - Durée d'une surveillance en fonction de son objectif.**

## **6. Périodicité et contenu des rapports**

L'interprétation des résultats doit être faite à l'issue de chaque campagne de prélèvements et d'analyses pour vérifier leur adéquation avec le modèle de fonctionnement. Cependant, en raison de la durée nécessaire à l'obtention de données interprétables (au moins deux cycles annuels), on distinguera les rapports périodiques dont le rythme est fixé par Arrêté Préfectoral (AP) et les bilans quadriennaux.

À l'issue de chaque période (celle fixée par l'AP ou période quadriennale prévue réglementairement), un rapport doit être rédigé donnant et interprétant les résultats des mesures de surveillance.

Par ailleurs les fiches de prélèvement et les bordereaux de suivi des échantillons doivent être instruits et conservés par l'exploitant afin d'assurer la traçabilité de l'échantillonnage. Ces documents doivent être obligatoirement joints aux rapports transmis à l'administration, avec les résultats des analyses.

## **6.1. DISPOSITIONS COMMUNES**

Dans les deux cas, le rapport devra présenter :

- le modèle de fonctionnement du site en soulignant les points clés qui doivent être vérifiés par la surveillance ;
- le dispositif de surveillance en place (réseau de forages et protocoles de prélèvement et d'analyse), ainsi que les anomalies et problèmes rencontrés ;
- les résultats sous forme de chroniques : graphiques concentration/temps de préférence, reprenant la totalité de l'historique (quand celui-ci n'est pas trop long) ou au moins les 10 dernières années,
- une interprétation des résultats.

## **6.2. RAPPORT ANNUEL**

Le rapport annuel est avant tout un compte rendu des travaux faits pendant l'année. Il comportera les fiches de prélèvements, et les bordereaux d'analyse. Une synthèse sera faite des problèmes, difficultés et anomalies rencontrées.

À ce stade on ne pourra pas systématiquement entreprendre une analyse approfondie de la confrontation entre les mesures et le modèle de fonctionnement, toutefois, cet aspect devra être abordé et les incohérences éventuelles devront être mentionnées avec l'action entreprise pour la résoudre.

## **6.3. BILAN QUADRIENNAL**

Après quatre années d'observations, il sera nécessaire de faire une analyse approfondie des résultats de la surveillance, au regard notamment des prévisions du modèle de fonctionnement.

Le rapport quadriennal comprendra les parties suivantes (cf. § 6.3.1 à 6.3.6.) :

1. Rappel des objectifs de qualité des ESO, du contexte et des objectifs du dispositif de la surveillance des ESO (modèle de fonctionnement),
2. Présentation des résultats de la surveillance,
3. Comparaison des résultats aux prévisions du modèle de fonctionnement,
4. Mise en perspective des résultats,
5. Réflexion sur l'adaptation du dispositif de surveillance,
6. Conclusions.

### *6.3.1. Rappel des objectifs de qualité des ESO, du contexte et des objectifs du dispositif de la surveillance*

Concrètement, il convient de faire un rappel du modèle de fonctionnement (objectifs de qualité des eaux souterraines et contexte) en présentant précisément :

- la description des sources de pollution : extension, nature des polluants, concentrations,
- les transferts possibles vers les milieux eaux, superficielles et souterraines, air,
- les enjeux : usages du sol, usages des eaux, etc,
- les problèmes potentiels doivent être clairement exposés, ainsi que les évolutions attendues ; il doit être précisé en quoi ces évolutions attendues permettent de maîtriser le risque potentiel ou d'empêcher qu'il se manifeste,
- les déclencheurs d'action devront être clairement énoncés.

Il ne s'agit pas de réécrire le rapport du modèle de fonctionnement, mais de permettre au lecteur du rapport de comprendre pleinement les enjeux et problèmes liés au site et qui ont motivés la surveillance.

### *6.3.2. Présentation des résultats*

La présentation des résultats sera faite comme pour les rapports annuels. Toutefois une plus grande place peut être faite à des documents interprétatifs (cartes en courbes, blocs diagramme, calculs statistiques...).

Les évolutions seront analysées, ainsi que la confiance que l'on peut faire aux résultats : en particulier appréciation des évolutions clairement significatives et de celles qui sont plus douteuses. Ces appréciations devront être motivées.

### *6.3.3. Comparaison des résultats au modèle de fonctionnement*

Il faut indiquer en quoi les résultats sont conformes ou non aux prévisions du modèle de fonctionnement. En particulier, ils seront confrontés aux déclencheurs d'action préétablis. La liste des déclencheurs d'action doit être rappelée, avec analyse des résultats en face de chaque déclencheur d'action. Tout écart avec le modèle de fonctionnement et en particulier tout évènement identifié comme un déclencheur d'action devra être analysé.

Plusieurs cas sont à considérer :

- **Il y a des écarts, mais les déclencheurs d'action ne sont pas atteints** : il convient cependant d'analyser ces différences et de modifier le modèle de fonctionnement pour prendre en compte ces différences ; les déclencheurs d'action seront actualisés pour prendre en compte ces modifications ;
- **Il y a des écarts et les déclencheurs d'action sont atteints** : il faut alors enclencher les procédures prévues pour de telles éventualités dans le modèle de fonctionnement.

### *6.3.4. Mise en perspective des résultats*

La mise en perspective des résultats est la réflexion poussée permettant de poser les bases pour :

- comprendre les phénomènes constatés,
- interpréter les résultats et tendances au regard des enjeux relatifs à la qualité des ESO,
- orienter les actions nécessaires en matière de gestion des sources ou impacts éventuels.

#### *6.3.5. Réflexion sur l'adaptation du dispositif de surveillance*

A l'issue d'une part, du constat des écarts entre les mesures et le modèle de fonctionnement et, d'autre part de la mise en perspective des résultats, une réflexion sur l'adéquation du dispositif de surveillance est nécessaire afin de poser les bases de son éventuelle adaptation (cf. §5 précédent).

#### *6.3.6. Conclusions*

Les conclusions énoncent les résultats de la comparaison avec le modèle de fonctionnement et définissent si des déclencheurs d'action sont atteints.

Dans le cas où des écarts sont constatés, il convient de :

- tirer les conclusions en particulier en termes d'enjeux ;
- vérifier s'il est pertinent, ou non, de modifier le modèle de fonctionnement ;
- s'assurer que le dispositif de surveillance est adéquat, et à défaut, de le compléter.

Si les résultats de la surveillance confirment le modèle de fonctionnement la surveillance se poursuit, éventuellement allégée, pour continuer à le conforter.

Toutes décisions d'allègement du dispositif, voire d'arrêt de la surveillance, si celle-ci s'avérait justifiée, doivent être argumentées (cf. § 5 précédent) et prises en accord avec les services compétents qui décideront, au cas par cas selon le contexte, du contenu et de la fréquence des informations à leur transmettre.