

**Direction
Générale de la
Prévention des
Risques**

**Bureau du sol et
du sous-sol**

Mai 2018

Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	mai 2018	

Ce guide a été rédigé par l'INERIS (Fabrice Quiot) et le BRGM (Valérie Guérin) pour le compte du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

SOMMAIRE

1 -	CONTEXTE ET OBJECTIFS	6
2 -	RAPPELS CONCERNANT LA MISE EN PLACE ET LA REALISATION D'UNE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES	9
2.1 -	DEFINITIONS.....	9
2.2 -	ILLUSTRATIONS.....	12
2.3 -	COMMENT UNE POLLUTION DE SURFACE PEUT-ELLE IMPACTER LES EAUX SOUTERRAINES ET MIGRER AU SEIN DE CE MILIEU ?.....	14
2.4 -	QUELLE PEUT ETRE LA DUREE D'UNE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES ?.....	16
2.5 -	QUELS SONT LES ELEMENTS A CONSIDERER EN PREMIER LIEU POUR DEFINIR UNE SURVEILLANCE ?	17
2.6 -	COMMENT ORIENTER LE CHOIX DU NOMBRE ET DU LIEU D'IMPLANTATION DES POINTS D'ACCES A L'EAU SOUTERRAINE ?	19
2.7 -	COMMENT ORIENTER LE CHOIX DES CARACTERISTIQUES DES POINTS DE SURVEILLANCE ?	24
2.8 -	COMMENT CHOISIR LES SUBSTANCES ET PARAMETRES A SUIVRE ?	28
2.9 -	COMMENT CHOISIR LA FREQUENCE ?	29
2.10 -	COMMENT S'ASSURER DE LA REPRESENTATIVITE DE L'ECHANTILLONNAGE ?	31
2.11 -	COMMENT QUALIFIER UN IMPACT ?	32
3 -	DU RAPPORT DE SUIVI AU RAPPORT DE BILAN	33
3.1 -	SITUATION 1 : SITUATION « NORMALE »	33
3.2 -	SITUATION 2 : SITUATION « ANORMALE » EXPLIQUEE SUITE A VERIFICATION	34
3.3 -	SITUATION 3 : SITUATION « ANORMALE » EXPLIQUEE SUITE A UNE ETUDE COMPLEMENTAIRE.....	35
3.4 -	SITUATION 4 : SITUATION « ANORMALE » EXPLIQUEE SUITE A DES DIAGNOSTICS.....	36
4 -	PROPOSITION DE TRAME DE RAPPORT POUR UNE CAMPAGNE DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES	37
5 -	FICHE PRATIQUE 1 - RAPPORT DE SUIVI	39
5.1 -	CONTEXTE DE GESTION	39
5.2 -	REFERENCES DOCUMENTAIRES ET REFERENTIELS METHODOLOGIQUES.....	43
5.3 -	PRESENTATION DE LA CAMPAGNE MENEES.....	44
5.4 -	INTERPRETATION DES RESULTATS	48
5.5 -	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	52
6 -	PROPOSITION DE TRAME POUR UN RAPPORT DE BILAN DE SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES.....	53
7 -	FICHE PRATIQUE 2 - RAPPORT DE BILAN	55
7.1 -	REFERENCES DOCUMENTAIRES ET REFERENTIELS METHODOLOGIQUES.....	55
7.2 -	SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES (MISES A JOUR).....	55
7.2.1 -	<i>Rappels sur le contexte naturel et les source(s) de pollution</i>	<i>56</i>
7.2.2 -	<i>Mise en place de la surveillance (et précédentes évolutions)</i>	<i>56</i>
7.2.3 -	<i>Mise à jour du contexte du site</i>	<i>56</i>
7.2.4 -	<i>Synthèse chronologique des événements survenus depuis la mise en place de la surveillance.....</i>	<i>57</i>
7.2.5 -	<i>Situation actuelle</i>	<i>58</i>
7.2.6 -	<i>Schéma conceptuel</i>	<i>61</i>
7.3 -	BILAN DE LA SURVEILLANCE DES EAUX SOUTERRAINES	61
7.3.1 -	<i>Évaluation qualitative du suivi</i>	<i>64</i>
7.3.2 -	<i>Évaluation quantitative.....</i>	<i>66</i>
7.4 -	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	66
8 -	ANNEXE	67

Tableaux

Tableau 1 : Contextes de gestion d'une ICPE et durée d'une surveillance du milieu eau souterraine.	16
Tableau 2 : Nombre minimal de forages à considérer pour différents contextes (sur site et hors site, afin de définir l'extension du panache en cas de pollution ; vert en amont hydraulique, rouge en aval et boussole donnant sens d'écoulement).	19
Tableau 3 : Check list pour les rapports de suivi.	38
Tableau 4 : Description des ouvrages du réseau de surveillance d'une nappe alluviale surmontant une nappe dans des calcaires.	42
Tableau 5 : Description du protocole d'échantillonnage sur les différents forages du réseau.	45
Tableau 6 : Résultats des analyses chimiques et mesures sur site avec critères de gestion associés (quelques substances et pH ici en exemple).	47
Tableau 7 : Check list pour les rapports de bilan.	54
Tableau 8 : Tableau reprenant les évolutions de la surveillance (les modifications survenues).	57
Tableau 9 : Questions à se poser pour faire évoluer le nombre d'ouvrages de surveillance.	64
Tableau 10 : Questions à se poser pour faire évoluer la fréquence du suivi.	65
Tableau 11 : Questions à se poser pour faire évoluer le nombre de paramètres/substances suivis.	65

Figures

Figure 1 : Contextes de gestion d'une ICPE et surveillance du milieu eau souterraine.	6
Figure 2 : Aquifère et nappe.	12
Figure 3 : Aquifère à nappe libre.	13
Figure 4 : Aquifère à nappe captive (seconde nappe depuis la surface du sol, indiquée par la flèche).	13
Figure 5 : Aquifère à nappe perchée (première nappe depuis la surface du sol, indiquée par la flèche).	13
Figure 6 : Piézomètre.	13
Figure 7 : Milieu poreux.	14
Figure 8 : Milieu fissuré.	14
Figure 9 : Milieu karstique.	14
Figure 10 : Pollution d'une nappe – cas d'une pollution liée à une ou plusieurs substances solubles (panache violet présent sur les 2/3 de la nappe).	15
Figure 11 : Effet du gradient hydraulique et des hétérogénéités sur la propagation d'une pollution dans un aquifère alluvial (cas d'un milieu poreux).	20
Figure 12 : Évolution d'un panache au cours du temps et du réseau de surveillance associé suite à l'appauvrissement de la source (évolution du réseau entre phases 2 et 3 - après sa mise en place à l'issue de la phase 1).	21
Figure 13 : Abandon et comblement de forage.	23
Figure 14 : Profondeurs de forage à envisager selon les polluants en présence – cas d'un aquifère homogène.	25
Figure 15 : Technique de forage (double cimentation) destinée à éviter la contamination croisée d'une nappe « profonde ».	26
Figure 16 : Différents types de forages pouvant être mis en place pour une surveillance des eaux souterraines (ici forage complet à gauche et 3 forages « en flûte de pan » à droite).	27
Figure 17 : Démarche pour établir la fréquence de surveillance dans un forage situé en amont d'un enjeu.	30
Figure 18 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation normale.	33
Figure 19 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à vérification (cas des années 1 à 3).	34
Figure 20 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à vérification (cas de l'année 4, dernière année d'un bilan quadriennal).	35
Figure 21 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à une étude à une étude complémentaire.	35
Figure 22 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à des diagnostics.	36
Figure 18 : Plan d'implantation du réseau de surveillance.	40
Figure 19 : Schéma conceptuel hydrodynamique et réseau de surveillance (cas d'un suivi préventif, en l'absence de pollution du milieu eau souterraine, la flèche indique le sens d'écoulement).	41
Figure 20 : Point de mesure de la piézométrie pour les différents forages du réseau de surveillance (repère altimétrique, recommandé en m NGF).	43
Figure 21 : Résultats des analyses chimiques et mesures sur site avec critères de gestion associés (quelques substances et pH ici en exemple).	47
Figure 22 : Évolution de la concentration et évolution conjointe de la piézométrie sur l'un des ouvrages représentatif (en Pz2).	48
Figure 23 : Carte piézométrique actualisée - campagne N (avec isopièzes et sens d'écoulement de la nappe).	49
Figure 24 : Réseau de surveillance et localisation d'un ouvrage dit sentinelle (entre la source de pollution et un enjeu).	52
Figure 25 : Surveillance actuelle des eaux souterraines (sens d'écoulement donné par la flèche).	58
Figure 26 : Illustration reprenant les caractéristiques des forages intégrés au réseau de surveillance.	60
Figure 27 : Évolution des concentrations observées sur l'aquifère XX entre 2004 et 2008 pour la substance X biodégradable.	62
Figure 28 : Évolution conjointe de la concentration observée en différents forages dans l'aquifère XX entre 2004 et 2008 pour la substance X et de la piézométrie moyenne sur le site.	63
Figure 29 : Contextes de gestion d'une ICPE et surveillance du milieu eau souterraine.	67

Abréviations

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AEP : Alimentation en Eau Potable
AFNOR : Association Française de NORmalisation
AM : Arrêté Ministériel
AN : Atténuation Naturelle
AP : Arrêté Préfectoral
APC : Arrêté Préfectoral Complémentaire
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS : Banque du Sous-Sol
BTEX : Benzène ; Toluène ; Éthylbenzène ; Xylènes (ortho, méta et para)
BQ : Bilan Quadriennal
COHV : Composés Organiques Halogénés Volatils
CPIS : Conception de Programme d'Investigations ou de Surveillance
CV : Chlorure de Vinyle
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DNAPL : Dense, Non-Aqueous Phase Liquid
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIEE : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie
EQRS : Évaluation Quantitative du Risque Sanitaire
ETM : Éléments Traces Métalliques
GIDAF : Gestion Informatisée des Données d'Autosurveillance Fréquente
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IOTA : Installations, Ouvrages, Travaux et Activités
IEM : Interprétation de l'État des Milieux
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
ISDnD : Installation de Stockage de Déchets non Dangereux
LNAPL : Light, Non-Aqueous Phase Liquid
LQ : Limite de Quantification
MTES : Ministère de la Transition Écologique et Solidaire
NQE : Norme de Qualité Environnementale
PCE : Perchloroéthylène (ou tétrachloroéthylène)
PG : Plan de Gestion
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIGES : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines
SUIVI : Prestation élémentaire correspondant à la surveillance environnementale
VS : Valeur Seuil

1 - Contexte et objectifs

L'autorisation environnementale, applicable à compter du 1^{er} mars 2017, regroupe désormais les différentes procédures et décisions environnementales requises, notamment pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) soumises au régime de l'autorisation. Ce dispositif s'inscrit dans le processus de simplification administrative et de modernisation du droit de l'environnement. Il confirme la volonté de traiter de façon cohérente tous les aspects de la protection de l'environnement.

Les installations soumises à cette procédure doivent, en ce qui concerne le milieu « eau », respecter les principes de **la directive cadre sur l'eau (DCE)** du 23 octobre 2000, qui reflète la politique communautaire globale dans ce domaine. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable. Ainsi, comme précisé dans son 1^{er} considérant, « *L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel* ».

L'un des éléments importants de cette politique est le maintien de la qualité des eaux souterraines, d'où la nécessité de les surveiller. Outre son intérêt en tant que ressource, ce milieu s'avère aussi être un vecteur de pollution « invisible » depuis la surface du sol.

Le présent guide présente les mesures à prendre pour assurer cette surveillance tout au long de la vie d'une ICPE : de l'état initial à la cessation d'activité et ses suites, considérant l'autosurveillance et le suivi post-accidentel, ou encore la gestion d'une pollution historique. Les trames et démarches proposées peuvent cependant être reprises dans le cadre d'une surveillance des eaux souterraines menée hors de ces contextes.

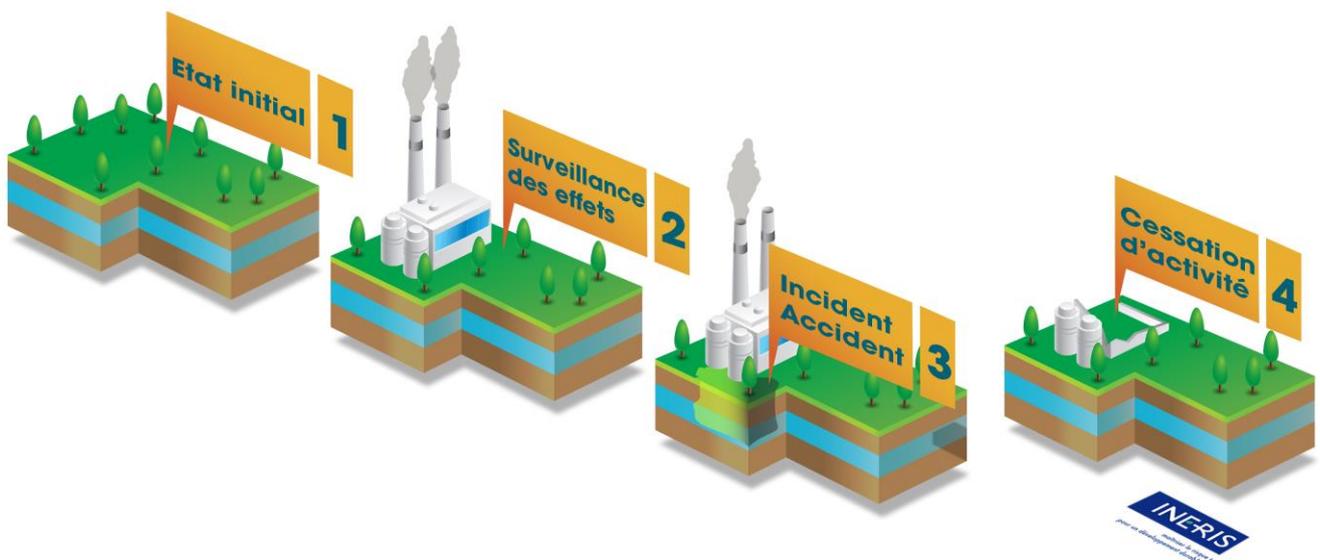


Figure 1 : Contextes de gestion d'une ICPE et surveillance du milieu eau souterraine.

Dans le cas des ICPE, une surveillance du milieu eau souterraine peut être prescrite. Les objectifs de la caractérisation et du contrôle de ce milieu peuvent être, selon le contexte de gestion :

- de définir un état initial ;
- de surveiller l'absence d'impact ;
- de mettre en évidence un éventuel impact et de suivre son évolution ;
- de dimensionner une ou plusieurs mesures de gestion adaptées et proportionnées ;
- d'évaluer l'efficacité et la pérennité de ces mesures.

Quel que soit le contexte, le réseau de surveillance mis en place apporte deux types d'informations :

- des informations sur la vitesse, la direction et le sens d'écoulement (via la mesure des niveaux d'eau souterraine ou niveaux piézométriques) ;
- des informations sur la qualité du milieu (via la détermination de concentrations suite à l'échantillonnage).

À noter que les substances analysées doivent tenir compte des activités passées et présentes du site, et être recherchées suivant un protocole stable, afin d'assurer la représentativité des mesures, et permettre la comparaison des résultats.

Lorsque des mesures de gestion ont été mises en œuvre, l'état des lieux « statique » délivré par le « schéma conceptuel », complété le cas échéant par les résultats de la surveillance en place, permet de construire un modèle de fonctionnement du site. Ce dernier donne une vision dynamique de l'efficacité de la gestion mise en place.

Les mesures de surveillance, les prélèvements et les analyses sont placés sous la responsabilité, selon le cas, du pétitionnaire, de l'exploitant ou encore du maître d'ouvrage. Il veille à la bonne application des modalités de surveillance, réglementairement prévues, et atteste auprès des autorités compétentes de la régularité des résultats obtenus. Le cas échéant, le dépassement des valeurs admissibles et, de manière plus générale, toute évolution anormale des paramètres suivis de la qualité des eaux souterraines doivent être soulignés dans les rapports de suivi destinés à interpréter les résultats de la surveillance. Des propositions d'actions doivent accompagner ces constats.

S'il est fait appel à un prestataire pour établir les rapports, ce dernier doit se conformer aux exigences de la surveillance, conseiller et alerter en tant que de besoin le donneur d'ordre, mais il n'endosse pas une quelconque responsabilité pour le compte de son client sur les suites qui pourraient être données.

Lorsqu'une surveillance environnementale est en place, il est recommandé de réaliser un bilan de cette surveillance, par exemple, tous les quatre ans. Il ne s'agit en aucune manière de modifier les modalités de la surveillance déjà en place pour les ramener à une fréquence quadriennale, mais bien d'analyser et d'exploiter régulièrement les résultats de la surveillance environnementale lorsqu'elle est requise et en place, pour l'adapter aux évolutions constatées.

Par ailleurs, ce bilan ne dispense en aucun cas d'un examen des résultats obtenus lors de chaque campagne de surveillance, ni de prendre les mesures appropriées en cas de constats d'anomalies.

Les modalités d'allègement ou d'arrêt de la surveillance s'effectuent sur la base d'un examen critique du bilan quadriennal en faisant le lien avec les éventuelles mesures de gestion qui ont été mises en œuvre. À l'occasion de ce bilan, de nouvelles actions peuvent être envisagées au regard de l'évolution de la situation et de l'évolution des connaissances :

- arrêt ou poursuite de la surveillance ;
- renforcement ou allègement de la surveillance (réseau, paramètres analytiques, etc.) ;
- mesures de gestion complémentaires.

Dans le cas des ICPE, ces nouvelles prescriptions sont prises en compte par la révision ou l'abrogation de l'arrêté préfectoral de surveillance.

Le présent guide est le résultat des réflexions menées en groupe de travail (MTES, DREAL, BRGM et INERIS) puis d'une consultation des DREAL/DRIEE et de quelques industriels et bureaux d'étude du domaine de la gestion des sites et sols pollués. Il fait suite au constat que la qualité des rapports de suivi et de bilan reçus par l'inspection des installations classées (DREAL ou DRIEE) s'avère aujourd'hui inégale. La volonté du Ministère en charge de l'environnement est donc de mettre à disposition des modèles de rapport définissant les éléments pouvant être considérés. Ce guide a été établi avec l'état des connaissances actuelles, il pourra être amené à évoluer en fonction de connaissances nouvelles ou de retours d'expériences sur son utilisation.

Un rappel des éléments structurants de la réglementation, que ce guide explicite, se trouve en annexe.

Les recommandations du présent guide sont globalement valables pour toutes les ICPE avec néanmoins quelques particularités pour les ISDND qui seront détaillées dans un guide spécifique venant compléter celui-ci.

2 - Rappels concernant la mise en place et la réalisation d'une surveillance des eaux souterraines

Plus le constat d'une dégradation du milieu eau souterraine est tardif, plus il est difficile et coûteux d'étudier et de gérer une éventuelle pollution. Or, la surveillance préventive et l'exploitation régulière des données acquises permettent de constater précocement une dégradation, d'optimiser le suivi et de le rationaliser. Pour mener à bien cette mission de prévention et de gestion d'une pollution, le suivi doit être correctement dimensionné, réalisé et doit pouvoir évoluer au cours du temps.

Les éléments repris dans ce chapitre ont ainsi vocation à donner des définitions, à illustrer les grandes questions à se poser lorsque la surveillance des eaux souterraines doit être menée. Ce chapitre n'a pas vocation à être exhaustif, des liens vers des normes ou guides techniques existants sont d'ailleurs proposés pour approfondissement. Le parti pris a été d'illustrer les points de faiblesses actuellement rencontrés.



Pour aller plus loin :

« Maîtrise et Gestion des Impacts des polluants sur la qualité des Eaux Souterraines (ESO) » septembre 2009

<http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

2.1 - Définitions

Sont reprises ci-après quelques définitions issues de normes existantes, à savoir : la norme internationale sur les termes employés dans certains domaines de la caractérisation de la qualité de l'eau, FD ISO 6107-2 (2006) ainsi que les normes françaises en lien avec la surveillance du milieu eau souterraine, en particulier dans le domaine des ICPE et des sites pollués, NF X 31-614 et NF X 31-615 (2017).

Aquifère (voir figure 2)

Corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée - ensemble du milieu solide et de l'eau contenue - suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre son écoulement et son captage en quantité appréciable. Un aquifère comporte une zone saturée en eau et peut comporter une zone non saturée en eau (zone du sous-sol comprise entre le toit de la formation et la surface de la zone saturée pour une nappe libre).

Note : sa limite supérieure est appelée « toit de l'aquifère » et sa base est appelée « mur de l'aquifère ».

Coupe de forage (technique & lithologique)

Ensemble des informations sur le forage (méthode de foration, équipement, observations dont les terrains traversés). Le terme de Log de sondage est également employé pour ce qui concerne la coupe lithologique (terrains traversés).

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.

Échantillon

Volume global d'eau idéalement représentatif de la masse d'eau à échantillonner, prélevé en un endroit défini selon des modalités précises et destiné à la réalisation d'analyses. L'échantillon prélevé peut correspondre en pratique, selon les analyses à réaliser, à un ou à plusieurs flacons conditionnés selon des modalités spécifiques définies.

Échantillonnage

Processus de prélèvement ou de constitution d'un échantillon.

Note : pour les besoins de l'étude des eaux souterraines, le terme « échantillonnage » consiste à isoler et à conditionner, à partir du volume d'eau prélevée dans le forage, la quantité d'eau nécessaire à l'analyse envisagée.

Équipement

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

Forage

Ouvrage réalisé, c'est-à-dire le trou et son équipement. Le trou ne peut également être défini comme un sondage.

Limite de quantification

Valeur ou signal de sortie calculé à partir de la limite de détection, par exemple deux ou trois fois la limite de détection à une concentration de l'élément à déterminer qui puisse raisonnablement être établie avec un niveau acceptable de justesse et de fidélité.

Note : la limite de quantification peut être obtenue à l'aide d'un échantillon ou d'un étalon approprié comme étant le plus petit point d'étalonnage sur la courbe d'étalonnage (à l'exclusion du blanc).

Nappe (voir figure 2)

Ensemble de l'eau présente dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Nappe captive (voir figure 4)

Nappe ou partie d'une nappe soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique, et dont la surface piézométrique est supérieure à la cote du toit de l'aquifère, à couverture moins perméable, qui la contient. Selon les conditions morphologiques et géologiques, une nappe peut être libre (système aquifère « libre »), captive (système aquifère « captif »), être libre puis devenir captive ou inversement être captive puis devenir localement libre par dénoyage de l'aquifère (cf. pompages intenses).

Nappe d'eau perchée (voir figure 5)

Masse isolée d'eau souterraine limitée latéralement et verticalement, localisée dans la zone non saturée recouvrant une masse d'eau souterraine beaucoup plus importante.

Nappe libre (voir figure 3)

Nappe dont la surface piézométrique est à la pression atmosphérique (surface libre). Le niveau de cette nappe peut fluctuer dans la zone de battement qui, suivant la période, peut être saturée ou non saturée.

Nappe superficielle ou nappe phréatique

Première nappe rencontrée lors de la réalisation d'un puits ou d'un piézomètre. Il s'agit d'une nappe généralement libre dont la surface est proche du sol et dont l'alimentation et la qualité de l'eau sont dépendantes des activités de surface.

Ouvrage

Nom générique regroupant les puits, forages ou piézomètres.

Perméabilité (coefficient de Darcy)

Propriété d'un corps, d'un milieu solide – notamment un sol, une roche – à se laisser pénétrer et traverser par un fluide, notamment l'eau, sous l'effet d'un gradient de potentiel. Paramètre exprimant quantitativement cette propriété, relativement aux caractéristiques du fluide, notamment l'eau : flux pouvant passer à travers une section unitaire du milieu considéré, sous l'effet d'une unité de gradient de charge hydraulique, dans des conditions déterminées de pression et de température (grandeur homogène assimilée à une vitesse, notée K).

Prélèvement

Extraction d'un volume d'eau représentatif.

Piézomètre (voir figure 6)

Forage servant à mesurer la hauteur piézométrique (cote altimétrique de la surface de l'eau) et éventuellement la qualité des eaux en un point donné d'un système aquifère.

Solvants légers de la phase organique LNAPL

Composés organiques ayant une faible solubilité dans l'eau et une masse volumique inférieure à celle de l'eau, les produits pétroliers par exemple.

Solvants denses de la phase organique DNAPL

Composés organiques ayant une faible solubilité dans l'eau et une masse volumique supérieure à celle de l'eau, par exemple les hydrocarbures chlorés tels que le trichloroéthane.

Zone saturée

Partie d'une zone aquifère dans laquelle l'espace poral est entièrement rempli de liquide au moment considéré.

Zone non saturée en eau – zone vadose

Partie d'une zone aquifère dans laquelle les espaces poreux de la formation ne sont pas totalement remplis d'eau ; reliée à l'atmosphère et ventilée de façon continue ou régulière.

2.2 - Illustrations

Les figures qui suivent illustrent certains termes définis ci-avant.

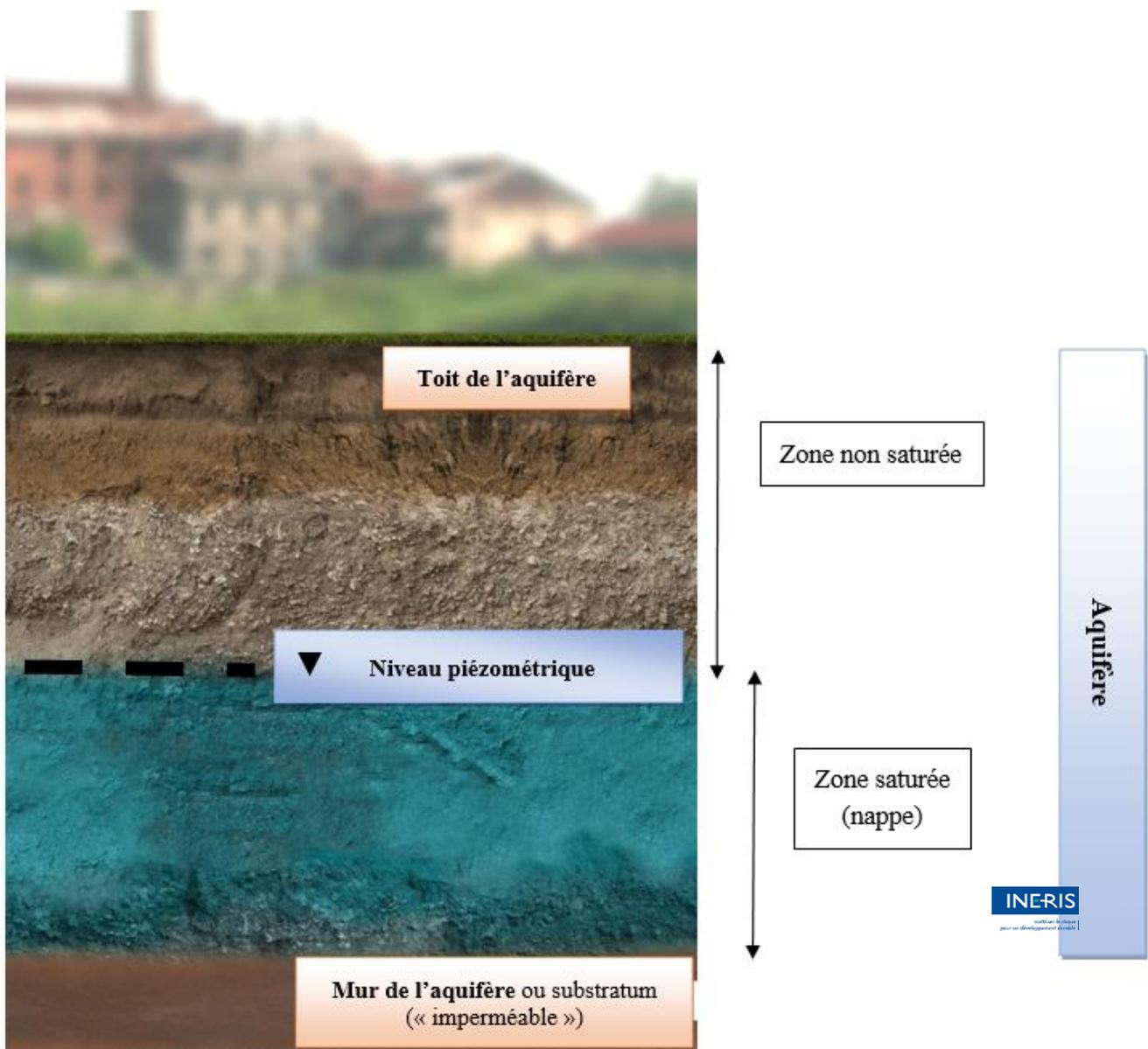


Figure 2 : Aquifère et nappe.

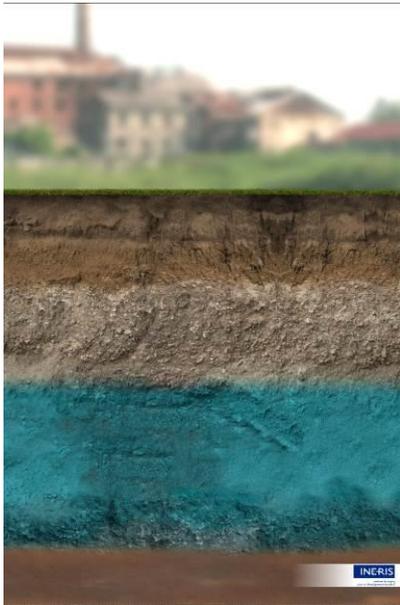


Figure 3 : Aquifère à nappe libre.

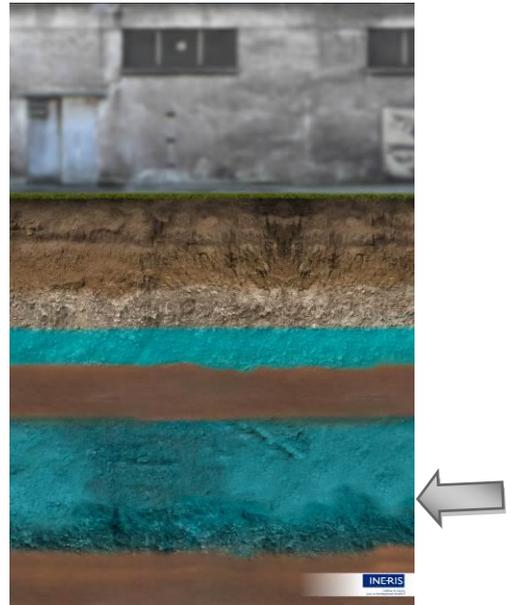


Figure 4 : Aquifère à nappe captive (seconde nappe depuis la surface du sol, indiquée par la flèche).

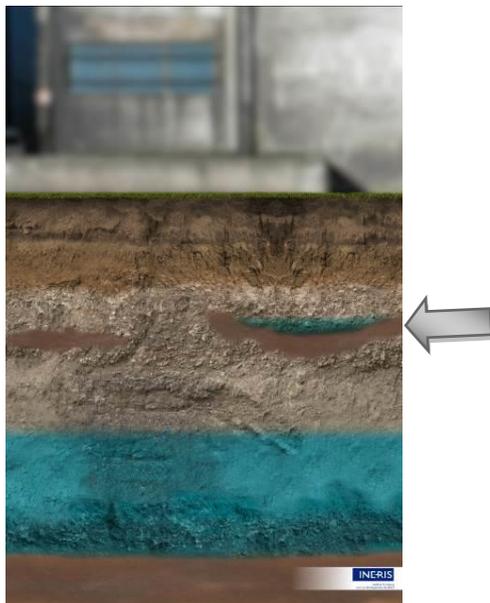


Figure 5 : Aquifère à nappe perchée (première nappe depuis la surface du sol, indiquée par la flèche).



Figure 6 : Piézomètre.

Les cas illustrés ici sont des cas simples. Dans la nature, des cas plus complexes existent :

- un aquifère peut être multicouche (cas des bassins sédimentaires) ;
- une ou plusieurs couches semi-perméables peuvent favoriser le transfert entre deux niveaux au sein d'un aquifère multicouche ;
- l'eau peut circuler dans des fissures, des fractures comme indiqué à la question suivante.

2.3 - Comment une pollution de surface peut-elle impacter les eaux souterraines et migrer au sein de ce milieu ?

Selon le contexte naturel, l'eau souterraine migre à travers des pores, des fissures ou des fractures du sol. Sont illustrés ci-dessous ces trois types de milieux : le milieu poreux, le milieu fissuré et le milieu karstique.

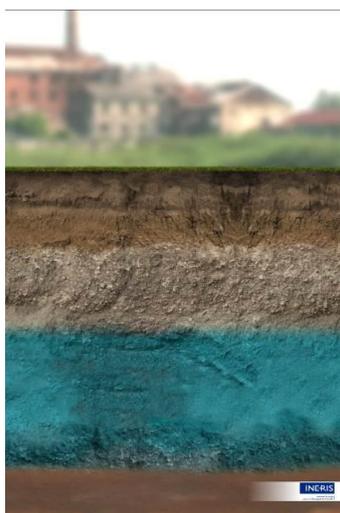


Figure 7 : Milieu poreux.



Figure 8 : Milieu fissuré.



Figure 9 : Milieu karstique.

L'eau s'infiltre depuis la surface du sol et une partie finit par atteindre la zone saturée de l'aquifère (nappe superficielle) ; c'est le mécanisme de recharge de la nappe. En fonction du contexte, cette eau pourra par la suite migrer horizontalement ou verticalement (en présence de fractures, de conduits et cavités karstiques, le temps de transfert est très rapide).

De la même manière, une pollution provenant de la surface du sol, d'une canalisation ou d'une cuve enterrée, parvient jusqu'à la nappe superficielle sous forme pure (huileuse par exemple), sous forme dissoute voire sous forme particulaire (certains polluants pouvant être retenus sur les particules du fait du mécanisme de sorption pour les HAP ou d'échange cationique pour les ETM).



Figure 10 : Pollution d'une nappe – cas d'une pollution liée à une ou plusieurs substances solubles (panache violet présent sur les 2/3 de la nappe).

2.4 - Quelle peut être la durée d'une surveillance des eaux souterraines ?

La durée d'une surveillance peut aller d'une à quatre campagnes dans le cadre de la définition d'un fond hydrogéochimique ou environnement local témoin (état initial ou rapport de base) à plusieurs campagnes annuelles, selon une fréquence plus ou moins élevée (voir tableau ci-dessous).

Contexte de gestion		Objectif	Durée	
État initial / rapport de base (IED)	Demande concernant une nouvelle activité ICPE (autorisation environnementale)	Réaliser un état des lieux de la qualité des eaux souterraines, des caractéristiques de l'aquifère	Surveillance sur une durée permettant de définir l'amont et l'aval hydraulique, et l'état du milieu en conditions de hautes et basses eaux	Au moins 2 campagnes par an (hautes et basses eaux) sur 2 ans (les campagnes doivent idéalement être poursuivies après une première mesure pendant toute la durée d'instruction de la demande)
Surveillance préventive	Activité ICPE en cours (autosurveillance)	Suivre les effets de l'activité sur les eaux souterraines	Tant que l'ICPE est en activité	
Incident/Accident	Découverte d'une pollution récente	Suivre l'impact sur les eaux souterraines, évaluer l'efficacité d'un traitement en cours	Tant que le critère de gestion n'est pas atteint	De quelques mois à plusieurs années
Cessation d'activité	Arrêt de l'activité ICPE	S'assurer de l'absence d'impact de l'activité sur le milieu eau souterraine	Surveillance sur une durée permettant de constater l'état du milieu en conditions de hautes et basses eaux	De quelques mois à plusieurs années selon les éventuelles données déjà disponibles (liées en particulier à l'autosurveillance) ou le type d'activité

Tableau 1 : Contextes de gestion d'une ICPE et durée d'une surveillance du milieu eau souterraine.

De nombreux sites peuvent avoir une surveillance prescrite à la fin de leur activité, sur une période plus ou moins longue et quel que soit le régime ICPE. À titre d'exemple, les Installations de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDnD) doivent être suivies pendant *a minima* 25 ans après leur cessation d'activité.

En lien avec la durée d'un suivi, il convient de rappeler qu'au fil du temps un piézomètre se dégrade. En effet, différents phénomènes peuvent altérer le tubage, la crépine ou encore la protection de surface (capot ou margelle). À titre d'exemple, la crépine peut être en partie colmatée par des fines ou l'activité bactérienne, un tubage peut être déformé par des mouvements de terrain. Pour garantir la bonne représentativité d'un point d'accès à l'eau souterraine, il est recommandé d'effectuer des vérifications, plus ou moins régulières comme : la profondeur, le rabattement au cours de la purge (ceci nécessite de disposer d'un état initial du piézomètre comportant un essai de débit ou au moins d'avoir archivé le rabattement initial lors de la première purge de l'ouvrage), qui sont des indices de dégradation. Il existe également des caméras permettant de vérifier de visu l'état de l'ouvrage, une inspection caméra est ainsi recommandée tous les 8 ans (2 bilans quadriennaux) notamment en cas d'hydrogéochimie « agressive » (faible ou fort pH, biodégradation en cours, fortes teneurs en Fe, Mn par exemple).



Évolution des pratiques : une « fiche de vie » par ouvrages permet d'assurer la traçabilité des informations relatives au nivellement et au repère associé, aux modalités d'accès ou d'entretien, ou encore au suivi de la profondeur, et s'il y a lieu, au nom du propriétaire/gestionnaire, etc.

2.5 - Quels sont les éléments à considérer en premier lieu pour définir une surveillance ?

Pour rappel, la mise en place de la surveillance des eaux souterraines s'appuie sur une étude hydrogéologique préalable. Cette étude considère généralement différents éléments repris ci-après.

Éléments concourant à la connaissance du contexte naturel :

- la géologie (lithologie, présence de failles, karstification, etc.) ;
- l'hydrogéologie (nombre et typologie du ou des aquifères, type de nappe : libre captive, semi-captive ; épaisseur de la zone non saturée ; perméabilité ou conductivité hydraulique ; variation périodique du niveau piézométrique, de la direction, sens et vitesse d'écoulement des eaux souterraines, etc.) ;
- l'hydrologie (pluviométrie et infiltration efficace, présence d'eau de surface, niveau limnimétrique, relation avec l'eau souterraine, etc.) ;
- l'hydrogéochimie (notamment pH, redox ou Eh, déterminants pour appréhender la mobilité des polluants, en particulier dans le cas des ETM - métaux et métalloïdes).

Ces éléments sont indispensables pour définir le réseau (position, nombre et profondeur) et évaluer la vulnérabilité intrinsèque de la (des) nappe(s) au droit du site.



Pour aller plus loin :

Infoterre (ADES, BSS : le code BSS correspond au code national du dossier de l'ouvrage souterrain au sein de la Banque du Sous-Sol (BSS). Il permet de désigner tout objet ayant trait à la géologie notamment tout point d'eau d'origine souterraine qu'il s'agisse d'un puits, d'une source ou d'un forage).

<http://infoterre.brgm.fr/>

SIGES (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines).

Ex. Région Centre-Val de Loire : <http://sigescen.brgm.fr/>

Identification des substances à rechercher

Il est important de connaître la nature, le volume et la localisation des produits présents par le passé ou actuellement. Il ne faut pas oublier de considérer les substances éventuellement apparues au fil du temps (métabolites de biodégradation par exemple). Ces données sont nécessaires pour définir les substances et paramètres à considérer. La nature des substances va conditionner leur comportement au sein de l'aquifère (dans le sol et l'eau souterraine). Le comportement est à prendre en compte dans le dimensionnement des forages comme indiqué par la suite (en particulier pour le choix de la profondeur et de la position de la crépine).

L'identification des substances doit pouvoir s'appuyer dans le cadre de la gestion d'un site pollué sur l'étude historique, documentaire et mémorielle (par exemple : prestation A110 de la norme NF X 31620-2).



Pour aller plus loin :

La matrice « activités – polluants » actualisée en 2015 par le BRGM est disponible sur le site du ministère en charge de l'environnement : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

Les informations relatives aux effets toxicologiques sont consultables sur le portail Substances chimiques de l'INERIS : <https://substances.ineris.fr/fr/>

Identification des enjeux et des usages

L'identification des usages liés à l'eau passe par la recherche de captages d'alimentation en eau potable, de captages industriels, agricoles et de puits de particuliers. Ces informations sont actualisées lors d'un bilan. À titre d'exemple, l'installation ou l'arrêt d'un pompage peut à la fois induire une modification du sens de migration des polluants et une évolution concernant l'exposition à la pollution.

Selon le cas, la présence d'habitations collectives ou isolées est également à identifier. En effet, des composés gazeux présents dans les sols et les eaux souterraines sont susceptibles de se volatiliser et de transiter via les gaz du sol jusqu'à des habitations (air intérieur).



Pour aller plus loin :

Le « guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines », élaboré en novembre 2016 par le BRGM et l'INERIS pour le compte du ministère en charge de l'environnement, présente les stratégies d'échantillonnage, les protocoles de prélèvements des gaz du sol et des mesures d'air ainsi que les modalités d'interprétation des résultats : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

Cette recherche est menée autour du site dans un périmètre défini au regard des connaissances disponibles, comme l'amont et l'aval hydraulique, ou encore la vitesse d'écoulement et les possibilités de transfert gazeux en zone non saturée.

Le périmètre à considérer peut-être plus ou moins important car, d'une part, l'amont et l'aval peuvent varier au cours d'un même cycle hydrologique en fonction des relations entre eau de surface et eau souterraine, d'autre part, en contexte fissuré ou karstique, il peut s'avérer nécessaire de considérer un usage implanté à plusieurs kilomètres du site étudié compte tenu d'un écoulement rapide au sein de ces milieux.

Ces éléments sont essentiels pour définir le réseau ; un ou plusieurs points de suivi sont généralement nécessaires pour un suivi de qualité entre l'ICPE, le site pollué et les usages existants.



Évolution des pratiques : ces éléments (contexte, substances, enjeux) peuvent évoluer dans le temps, une actualisation est obligatoire dans le cadre de la réalisation d'un bilan (quadriennal). Selon les modifications constatées, il convient d'envisager une évolution du suivi (points, substances et paramètres, fréquence).

À noter que les enseignements de l'étude hydrogéologique préalable à la mise en place d'un suivi sont repris, voire complétés et actualisés selon le cas, dans le cadre d'études ultérieures telles que :

- une étude de vulnérabilité des milieux (par exemple : prestation A120 de la norme NF X 31-620-2) ;
- une étude portant sur l'analyse des enjeux sur la ressource en eau (par exemple : prestation A300 de la norme NF X 31-620-2).

2.6 - Comment orienter le choix du nombre et du lieu d'implantation des points d'accès à l'eau souterraine ?

Le nombre et la localisation des piézomètres sont des choix reposant principalement sur les informations disponibles sur le contexte naturel et les enjeux. Selon le cas, le tableau qui suit indique le nombre de piézomètres à considérer.

Le nombre indiqué dans ce tableau correspond bien au nombre de piézomètres requis pour mener à bien la surveillance. Il ne correspond pas forcément à celui des investigations menées au préalable pour connaître l'hydrogéologie locale. Le nombre va également être fonction d'autres facteurs comme la taille du site, l'existence d'une ou plusieurs sources de pollution, etc.

Il est important de signaler que l'implantation de piézomètres en amont du site étudié (non impacté, hors zone d'influence) est indispensable afin d'être en mesure de discerner la part de pollution potentiellement imputable aux activités du site. Ainsi, lorsque direction et sens d'écoulement varient au cours d'un cycle hydrologique, il est nécessaire de disposer de plusieurs piézomètres destinés à surveiller l'amont hydraulique.

L'existence d'une pollution en provenance d'un autre site, en amont hydraulique par exemple, peut également conduire à intégrer au suivi des ouvrages complémentaires.

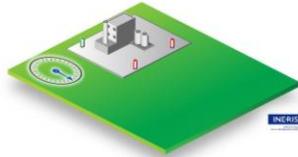
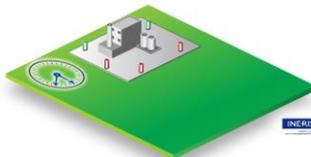
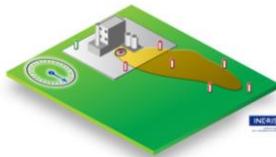
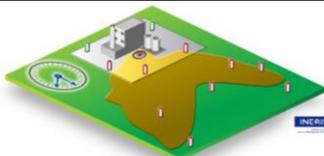
Contexte	Nombre minimal de piézomètres	Illustration
Pollution non détectée Une seule direction, sens d'écoulement	3	
Pollution non détectée Variation direction, sens d'écoulement	5	
Pollution détectée Une seule direction, sens d'écoulement	6-8	
Pollution détectée Variation direction, sens d'écoulement	10-12	
Autres cas : milieu fracturé, phase plongeante (DNAPL), nappes superposées, etc.	> 12	

Tableau 2 : Nombre minimal de forages à considérer pour différents contextes (sur site et hors site, afin de définir l'extension du panache en cas de pollution ; vert en amont hydraulique, rouge en aval et boussole donnant sens d'écoulement).

Lorsque des ouvrages hors site préexistent, ils peuvent être intégrés au réseau de surveillance à condition d'avoir accès à certaines informations. Ces informations portent notamment sur l'état de l'ouvrage en surface et en profondeur (accumulation de sédiments, détérioration de la crépine), le nivellement (altitude Z en mètres NGF, intervention d'un géomètre professionnel), l'accessibilité. La coupe de forage est également un élément important afin de juger de la pertinence de ce point au regard de la zone crépinée ou encore des terrains traversés.

Selon les caractéristiques hydrogéologiques locales (gradient hydraulique, dispersivité, perméabilité ou conductivité hydraulique), la géométrie des panaches sera variable (cf. figure ci-dessous). Il pourra donc être nécessaire d'implanter un réseau resserré et/ou densifié, pour être à même d'intercepter un éventuel panache avec un degré d'incertitude acceptable.

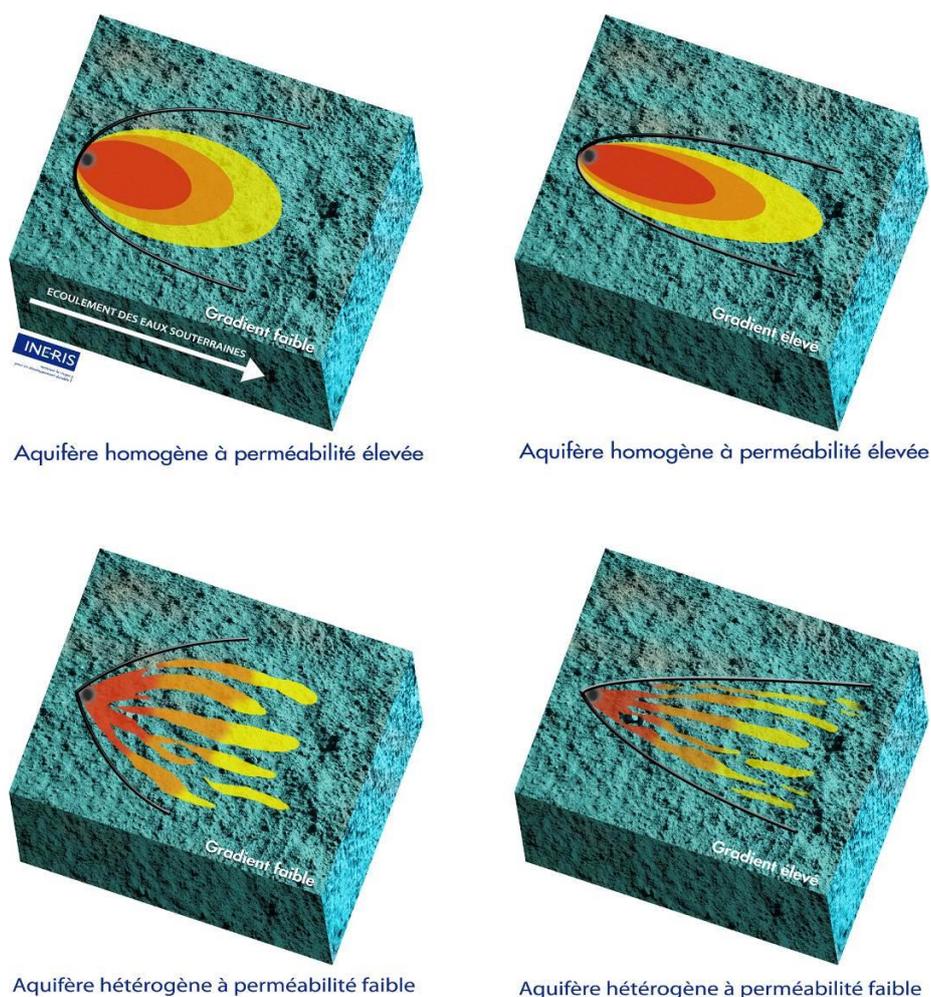


Figure 11 : Effet du gradient hydraulique et des hétérogénéités sur la propagation d'une pollution dans un aquifère alluvial (cas d'un milieu poreux).

Ces illustrations montrent que l'hétérogénéité des terrains traversés ajoute une difficulté au choix de l'implantation des piézomètres.

Dans le cas d'aquifères de types fissurés ou karstiques, les écoulements sont généralement méconnus. La réalisation de forages s'appuie sur l'étude du champ de fracturation ou des informations acquises auprès de spéléologues (comme c'est le cas pour une recherche de ressource en eau). En pratique, le choix de l'implantation des forages dans de tels milieux est soumis à de fortes incertitudes. Il s'agira en tout état de cause de se concentrer sur la prévention et d'identifier les exutoires de l'eau souterraine transitant sous le site. Dans la

mesure du possible et selon les enjeux, les résurgences (sources) seront donc préalablement identifiées et intégrées au suivi pour être échantillonnées en cas de pollution présumée ou avérée.



Pour aller plus loin :
 « Surveillance des eaux souterraines au droit des installations classées en milieu karstique », BRGM décembre 2005.
<http://infoterre.brgm.fr/>

Les évolutions constatées quant à la géométrie du panache (extension, régression) doivent conduire au final à faire évoluer et, à optimiser le nombre et l'implantation des forages.

Les schémas qui suivent illustrent l'évolution d'un panache de pollution, notamment suite à la maîtrise de la source et en présence de phénomènes concourant à l'atténuation naturelle du panache.



Pour aller plus loin :
 L'optimisation de la densité et de la position des ouvrages peut s'appuyer sur un outil d'aide à la décision comme MAROS (Monitoring and Remediation Optimization System).
<https://www.epa.gov/>

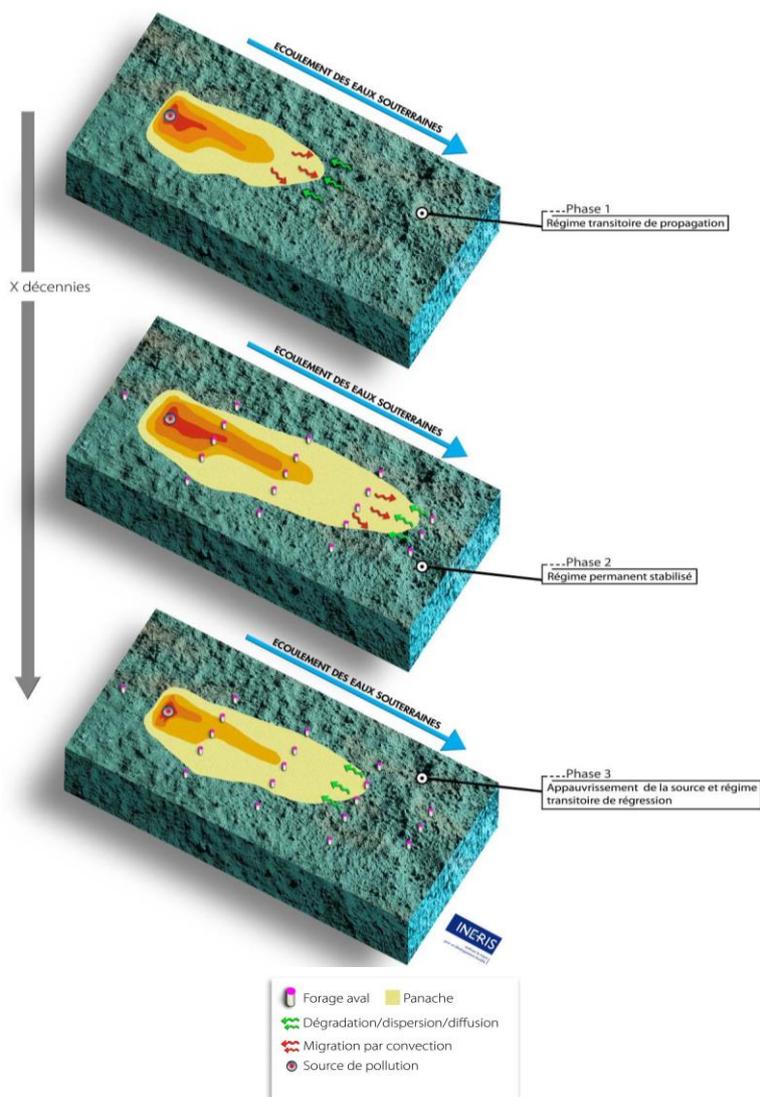


Figure 12 : Évolution d'un panache au cours du temps et du réseau de surveillance associé suite à l'appauvrissement de la source (évolution du réseau entre phases 2 et 3 - après sa mise en place à l'issue de la phase 1).

La suppression d'un forage qui n'est plus jugé pertinent doit être réalisée dans des conditions garantissant la protection de l'environnement. La norme NF X 31-614 (qui cite également la norme NF X 10-999 sur ce point) donne un exemple de façon de faire recommandé. Un bouchon de cimentation et le comblement du tubage sont recommandés (voir figure 13). En effet les ouvrages non ou mal condamnés peuvent être des voies de transfert de pollution de la surface du sol vers les eaux souterraines.

Le comblement s'effectue généralement sur toute la hauteur de l'aquifère avec des sables et graviers siliceux, eux-mêmes surmontés d'un bouchon d'argile gonflante puis d'une cimentation jusqu'à la surface du sol (à noter que la hauteur du bouchon de cimentation ne doit pas être inférieure à 5 m ou à la hauteur du tube plein s'il fait moins de 5 m).



Évolution des pratiques :

Au sujet du nombre de forages, il convient de citer la possibilité de mutualiser les efforts. Une démarche unique en France, de mutualisation de la surveillance des eaux souterraines à l'échelle d'un bassin industriel, a fait l'objet d'une analyse par l'INERIS au cours de l'année 2013, afin d'en réaliser un retour d'expérience pour favoriser la mutualisation sur d'autres zones industrielles denses. En effet, le contexte naturel, et qui plus est un panache de pollution, ne connaissent pas de frontière foncière ou administrative.

Le territoire concerné, d'une surface d'environ 1000 km², est situé en Picardie Maritime, dans le département de la Somme. C'est sur ce territoire que plus de 50 industriels sont actuellement regroupés au sein de l'association AQUA Picardie Maritime (AQUA PM). L'association compte également parmi ses membres des collectivités territoriales et d'autres structures associées comme la CCI Littoral Hauts de France et la DREAL Hauts de France qui apportent un soutien en moyens humains et financiers.

Une analyse de la pertinence et de la cohérence de la stratégie mise en œuvre a notamment été menée. Une enquête auprès des membres de l'association a permis de connaître le point de vue des différentes parties prenantes.

L'analyse conduite indique que les exploitants d'ICPE ont pu réaliser des économies du fait de la mutualisation du suivi et que la gestion administrative de la surveillance prescrite par le Préfet s'en est trouvée facilitée.

Toutefois, pour qu'elle puisse être menée à bien, cette démarche doit pouvoir s'appuyer sur des éléments techniques pertinents, suffisants et sur un porteur de la démarche collective, ici la CCI Littoral Hauts de France. « AQUA Picardie Maritime - Retour d'expérience de la surveillance des eaux souterraines mutualisée, menée à l'échelle d'un territoire industrialisé depuis plus de 10 ans », INERIS 2013. <https://www.ineris.fr/fr/>

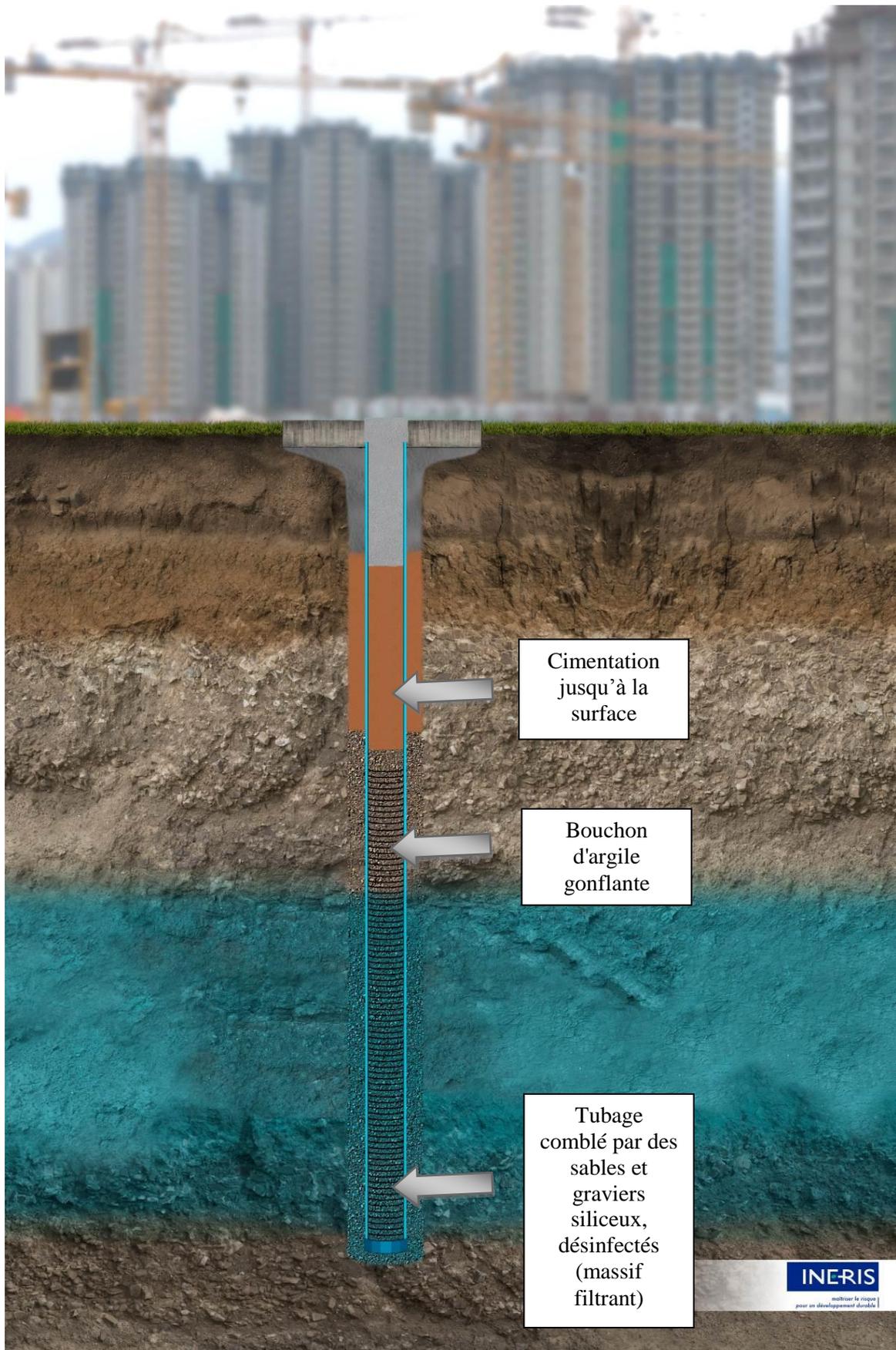


Figure 13 : Abandon et comblement de forage.

2.7 - Comment orienter le choix des caractéristiques des points de surveillance ?

Dans la mesure où les ouvrages de surveillance n'ont pas vocation à être utilisés comme puits d'alimentation en eau pour un usage agricole, industriel, de consommation ou géothermique mais bien comme un ouvrage de contrôle des eaux souterraines dans le cadre de suivis de pollutions potentielles ou avérées, la référence normative volontaire pour la réalisation des forages de surveillance de la qualité des eaux souterraines est la norme NF X 31-614. Il est hautement recommandé de s'y référer pour compléter les éléments qui suivent.



Pour aller plus loin :

« Réalisation de piézomètres dans le domaine des ICPE et/ou des sites pollués : état des lieux et recommandations », INERIS 2017. Rapport complété par un film illustrant les recommandations de la norme NF X 31-614. <https://www.ineris.fr/fr/>

Les caractéristiques des forages et en particulier la profondeur, la position de la crépine, le diamètre et la nature des tubages, sont définies au regard du contexte naturel et du comportement des polluants. Le comportement des polluants dans les sols et les nappes est différent selon les propriétés physico-chimiques des substances.

Trois cas sont à distinguer :

- pour les substances solubles (alcools, sels, etc.), la profondeur du forage est fonction de l'éloignement à la source (du fait de la dispersion verticale) ;
- pour les substances solubles issues de phases organiques flottantes (LNAPL), des forages superficiels proches de la source peuvent suffire (leur profondeur sera à augmenter avec l'éloignement à la source de pollution). Toutefois, dans certains cas, des doublets d'ouvrages destinés à un échantillonnage multiniveaux peuvent être nécessaires pour aider à appréhender l'extension de la fraction soluble ;
- pour les substances solubles issues de phases organiques plongeantes (DNAPL), les ouvrages doivent permettre d'investiguer la nappe sur tout ou partie de sa hauteur en fonction de l'ancienneté de la pollution, du volume perdu et de la capacité de rétention du milieu. Dans le cas des DNAPL, des ouvrages destinés à un échantillonnage multiniveaux sont pertinents pour aider à appréhender l'extension verticale et l'hétérogénéité de la pollution (stratification du panache de pollution).

En cas de pollution ancienne, étendue, et selon le contexte hydrogéologique, la question d'investigations complémentaires au niveau de nappes plus profondes devra être posée (cas des aquifères multicouches). En effet, bien que des « barrières » naturelles puissent exister, comme en particulier une couche peu perméable, une pollution peut avoir migré au fil du temps et impacté une ressource profonde (pour l'eau potable, l'irrigation ou encore la géothermie).



Pour aller plus loin :

« Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes », BRGM 2008. <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

	<p>Situation avec pollution liée à la présence d'une phase organique flottante (LNAPL)</p>
	<p>Situation intermédiaire avec une pollution liée à une ou plusieurs substances solubles</p>
	<p>Situation avec pollution liée à la présence d'une phase organique plongeante (DNAPL)</p>

Figure 14 : Profondeurs de forage à envisager selon les polluants en présence – cas d'un aquifère homogène.



Point d'attention :

Lors de la mise en place des ouvrages, il convient d'éviter les zones sources pour ne pas risquer la dispersion de la pollution et limiter le risque de pollutions croisées. Les ouvrages ne doivent pas mettre en communication deux niveaux au sein d'un aquifère multicouches. Il existe pour cela des techniques de foration adaptées pour limiter le risque de pollution (cf. technique de forage illustrée ci-après).

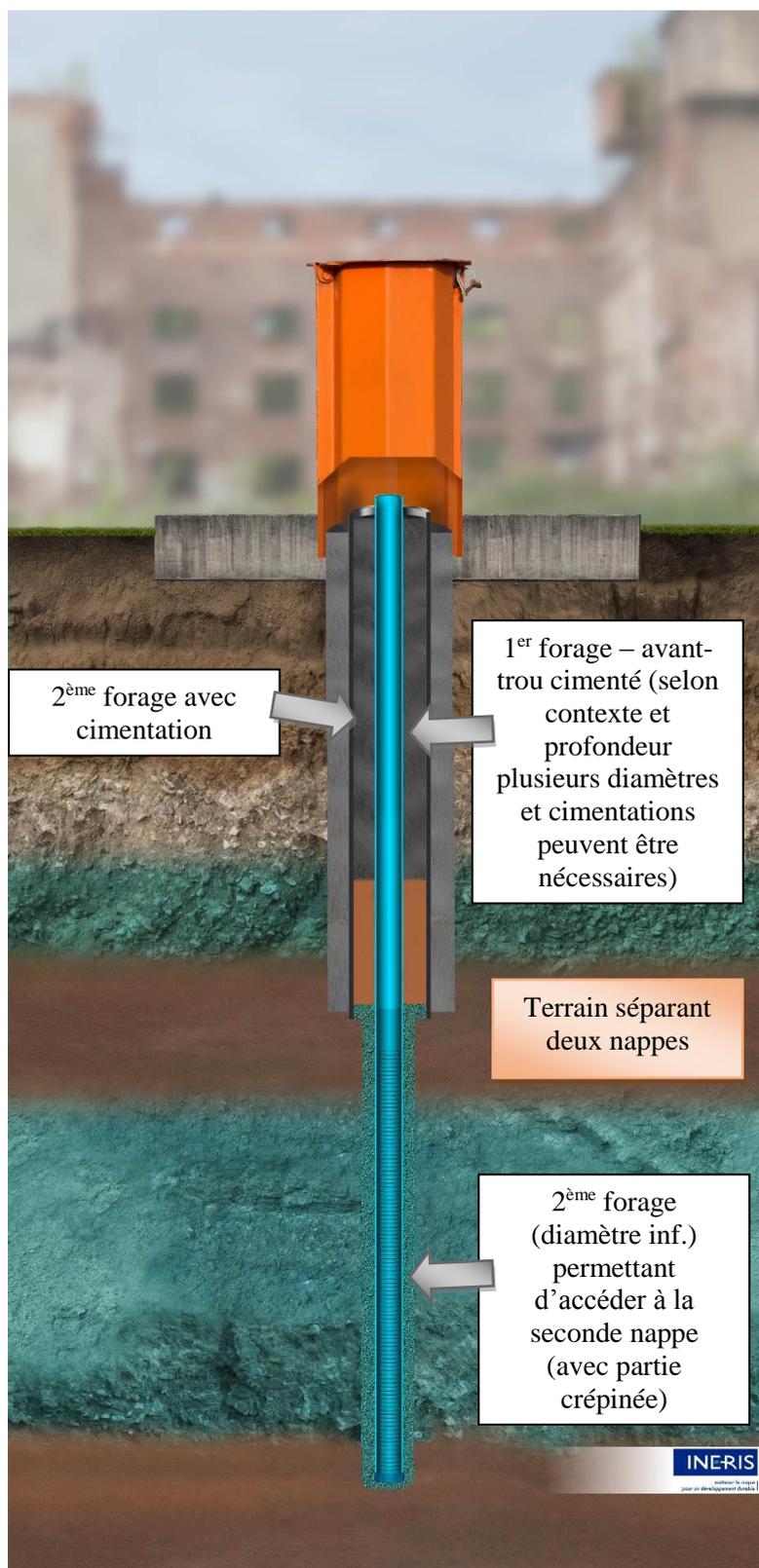


Figure 15 : Technique de forage (double cimentation) destinée à éviter la contamination croisée d'une nappe « profonde ».

Les forages donnent accès au milieu eau souterraine, selon les profondeurs atteintes et les niveaux crépinés, ils permettent d'échantillonner sur tout ou partie de la colonne d'eau (échantillon moyen ou spécifique à un niveau).

La nature du forage, en particulier ses caractéristiques techniques, influence la représentativité de l'échantillonnage, il est donc important de disposer des coupes techniques et géologiques et de conserver cette information (cf. coupe de forage). En outre, ces informations permettent de vérifier que le forage ne favorise pas les transferts de polluants dans la nappe sous-jacente et ne met pas en relation deux nappes superposées.

Selon le contexte, différents types de forages peuvent être implantés dont ceux permettant d'accéder à plusieurs niveaux illustrés ci-dessous.

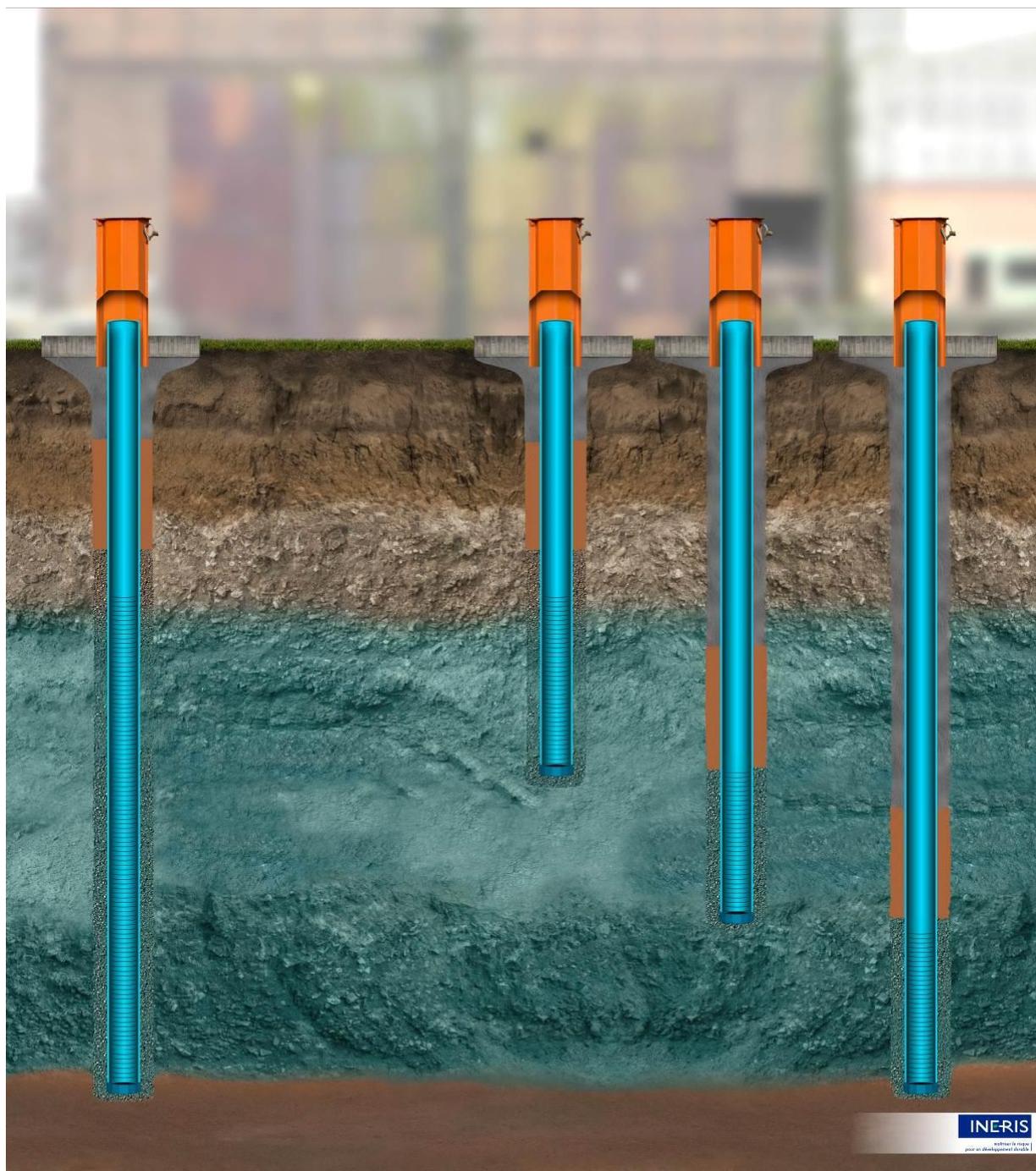


Figure 16 : Différents types de forages pouvant être mis en place pour une surveillance des eaux souterraines (ici forage complet à gauche et 3 forages « en flûte de pan » à droite).

L'application des recommandations de la norme NF X 31-614 est sensée satisfaire aux conditions de représentativité du piézomètre.



Point d'attention :

L'intégration d'un forage préexistant à un réseau de suivi doit s'appuyer sur des éléments permettant de juger de la représentativité des futurs échantillons (via notamment l'analyse de la coupe du forage, la réalisation d'un essai de pompage et/ou d'un passage caméra pour évaluer son état).

Le nivellement (altitude Z en mètres NGF mesurée par un géomètre professionnel) des ouvrages permet de définir l'altitude du niveau piézométrique (ou niveau de la nappe). Cette information conduit à identifier l'amont et l'aval hydraulique. Une grande fiabilité est nécessaire car les écarts entre l'amont et l'aval peuvent être faibles en contexte alluvial (nappe alluviale du Rhône, de la Seine, etc.), quelques centimètres seulement (1 à 2 cm). Ce nivellement est indispensable et fait par un professionnel pour être réalisé correctement, c'est-à-dire par un géomètre professionnel ; il est concomitant de la mise en place des piézomètres et est refait suite à tout incident ou à toute suspicion de mouvement de la tête des ouvrages. Le repère des mesures piézométriques est clairement identifié de manière pérenne sur la tête de forage et être mentionné sur tous les documents lors des mesures ou échantillonnages. Exceptionnellement, un nivellement relatif peut être réalisé en cas d'éloignement important de la borne NGF.

Le géoréférencement (X, Y par un géomètre professionnel) est également important notamment quand les ouvrages sont implantés dans des zones naturelles où ils sont parfois difficiles à retrouver sous la végétation.

2.8 - Comment choisir les substances et paramètres à suivre ?

Selon le contexte, les éléments à intégrer au programme analytique peuvent varier.

Dans le cas d'une surveillance préventive, le programme analytique doit contenir :

- les traceurs spécifiques du site (« signature du site ») ;
- les traceurs de mobilité : substances les plus mobiles (sels, chlorures, sulfates, etc.) et les plus persistantes ;
- les substances « porteuses » du risque : toxiques, cancérigènes ;
- quelques paramètres globalisants (pH, Eh, conductivité, température, oxygène dissous, etc.) dont les conditions physico-chimiques qui sont des éléments de compréhension des mécanismes liés au transport du polluant.

Dans le cas d'une surveillance destinée à suivre des polluants biodégradables, ce programme analytique est complété par :

- les molécules mères et les molécules filles (produits de dégradation) ;
- les accepteurs/donneurs d'électrons (indices d'atténuation naturelle comme le fer, les sulfates, les nitrates, etc.).



Point d'attention :

Lorsqu'une substance biodégradable est intégrée à une surveillance, il est nécessaire d'identifier au regard du retour d'expérience ou de la bibliographie un ou plusieurs éventuels produits de biodégradation qui peuvent s'avérer plus toxiques, et/ou plus mobiles que ladite substance (exemple de COHV : en présence de perchloroéthylène (PCE) le mécanisme de biodégradation conduit généralement à observer du chlorure de vinyle (CV), or, le CV est plus toxique pour l'homme que le PCE).

Le programme doit également tenir compte de la présence en amont hydraulique d'une activité, présente ou passée, pouvant impacter le milieu.



Point d'attention :

Des déversements, d'acides ou de bases ou encore de produits fermentescibles, susceptibles de faire évoluer le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) et le pH peuvent influencer sur la mobilité des métaux et métalloïdes (ETM d'origine naturelle ou anthropique) et engendrer des pollutions secondaires.

Certains arrêtés comme l'AM du 15 février 2016 portant sur les ISDnD, fixent les substances et paramètres à surveiller mais dans la plupart des cas, il conviendra de définir ces substances au regard des informations collectées sur le site étudié.



Pour aller plus loin :

« Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes », BRGM 2008.

<http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/>

2.9 - Comment choisir la fréquence ?

La fréquence de l'échantillonnage est elle aussi à adapter au contexte hydrogéologique, aux polluants recherchés ainsi qu'aux enjeux.

Sa détermination peut s'appuyer sur un calcul tel que celui présenté ci-dessous, dans le cas d'un milieu poreux et d'une nappe libre. Il est toutefois nécessaire de disposer d'un minimum d'éléments avant de déterminer la fréquence la plus adaptée (cf. étude hydrogéologique préalable).

La vitesse effective de l'eau dans les formations poreuses saturées est déterminée par l'équation suivante :

$$V_e = K_i / n_e$$

avec :

V_e : vitesse effective

K : conductivité hydraulique

i : gradient hydraulique (variation de charge hydraulique entre deux points de mesure, $i = (H_2 - H_1) / L$)

n_e : porosité efficace

Lorsqu'il s'agira de contrôler l'absence d'impact en direction d'un enjeu, le temps de transfert « t » entre le forage de contrôle et l'enjeu, séparés par une distance « d », est estimé de la manière suivante :

$$t = d / V_e$$

avec :

t : temps de transfert

d : distance entre le forage de contrôle et l'enjeu

La fréquence entre les campagnes est au maximum égale au temps de transfert entre le forage de contrôle (dernier forage en aval) et l'enjeu. Cette approche reste sécuritaire dans la mesure où elle n'intègre pas le facteur de retard (sorption) ou la biodégradation qui peuvent influencer sur la migration d'un panache de pollution. Elle nécessite toutefois de disposer d'informations sur les paramètres hydrodynamiques K et n_e (via essai(s) de nappe voire bibliographie).

Les schémas qui suivent illustrent l'évolution d'un panache en phase d'extension, et la distance à considérer au final entre le forage de contrôle et l'enjeu pour déterminer la fréquence de suivi.

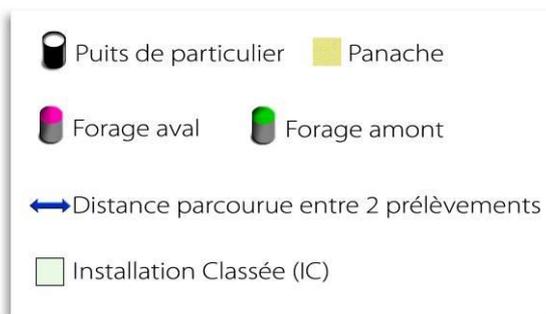
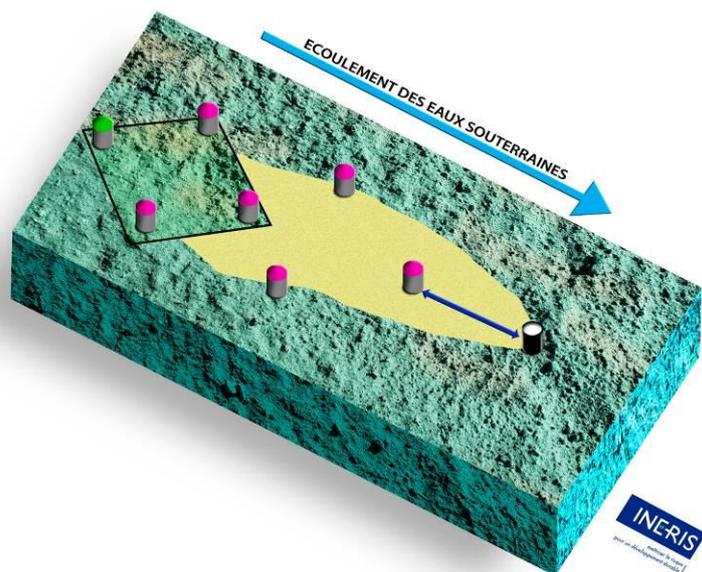
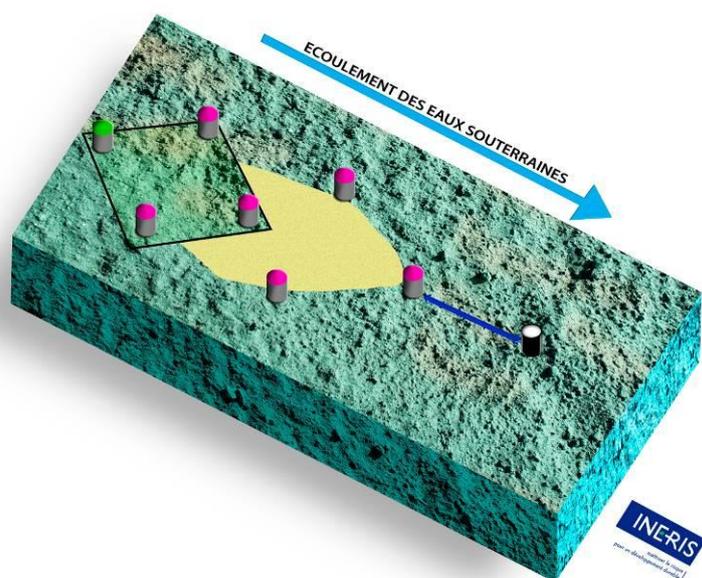


Figure 17 : Démarche pour établir la fréquence de surveillance dans un forage situé en amont d'un enjeu.

D'autres méthodes peuvent être employées pour déterminer la fréquence, mais en tout état de cause, le choix de la fréquence de suivi doit être argumenté.

Une fois la fréquence déterminée, les périodes retenues pour l'échantillonnage (campagnes) au cours de l'année doivent considérer les périodes de hautes eaux et de basses eaux (en lien avec l'hydrologie du secteur, cf. pluviométrie et eau de surface). En effet, il est nécessaire de disposer d'informations au cours de ces situations particulières où la pollution peut être diluée ou encore remobilisée (s'il existe une source résiduelle en zone non saturée).

Une fois définie, la période d'intervention doit être respectée d'une année sur l'autre. Néanmoins, la fréquence doit être augmentée en cas de constat de pollution ou d'évolution non attendue d'une pollution (cf. Chapitre III).



Pour aller plus loin :

L'optimisation de la fréquence suite à une première période de suivi peut s'appuyer sur un outil d'aide à la décision comme le logiciel HYPE (BRGM).

<http://www.brgm.fr/>

2.10 - Comment s'assurer de la représentativité de l'échantillonnage ?

Outre l'implantation et le choix de l'équipement de l'ouvrage, les procédures et matériels utilisés sur le terrain pour l'échantillonnage ont une influence sur les concentrations mesurées.

Pour assurer au mieux la représentativité de l'échantillonnage, les recommandations de la norme NF X 31-615 et les prescriptions de la norme NF X 31-620-2 donnent la façon optimale de procéder.

Une attention particulière doit notamment être portée à :

- renseigner toutes les informations exigées dans la fiche de prélèvement ;
- respecter le protocole de prélèvement (prévu) ;
- maîtriser les étapes de conditionnement, stockage, transport (en moins de 48 h), etc.

Le laboratoire retenu doit être agréé par le MTES et en capacité d'assurer l'atteinte des limites de quantification (LQ) recherchées.



Évolution des pratiques :

Deux types d'échantillonnage sont envisageables :

- échantillonnage mononiveau, à privilégier pour :
- surveillance préventive ;
- suite à pollution par substances solubles (miscibles) ;
- suite à pollution, pour la caractérisation du risque associée à un usage (exemple : arrosage d'un potager).

Échantillonnage multiniveaux, pour suivre la stratification d'un panache. Cette approche est en particulier à retenir pour les pollutions par des phases pures organiques (DNAPL, « plongeantes ») et considérant également l'épaisseur de la nappe et son hétérogénéité (présence de niveaux plus ou moins perméables au sein de la zone saturée).



Pour aller plus loin :

« Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau – BIOdéPOL » INERIS 2016.

« Exercice de comparaison mené par l'INERIS sur la période 2014-2017 » INERIS 2017.

<https://www.ineris.fr/fr/>

« Représentativité des échantillons d'eau prélevés en forages de contrôle » ADEME, 2005.

<http://www.ademe.fr/>

2.11 - Comment qualifier un impact ?

La dégradation du milieu et donc la qualification d'un impact sont établies suite à l'interprétation des données acquises, considérant à la fois les précédents résultats et les critères de gestion retenus (il peut s'agir d'un niveau de flottants, de comparer l'amont et l'aval hydraulique, de valeurs seuils liées à la réglementation ou issues d'un calcul comme indiqué ci-après).



Améliorations des pratiques :

L'incertitude analytique est également à considérer lors de la qualification d'un impact. Les graphes de restitution des résultats doivent donc intégrer l'incertitude analytique fournie par le laboratoire. À noter que celle-ci peut être demandée au laboratoire si elle n'a pas été transmise avec les bordereaux d'analyses. Différents documents traitent de l'estimation de l'incertitude analytique en laboratoire et les méthodes de calculs varient entre laboratoires, il faut donc bien veiller à reporter les incertitudes fournies à chaque campagne car elles ont pu évoluer dans le temps.

Plusieurs aspects entrent en ligne de compte lors de l'évaluation d'un impact, notamment l'évolution depuis les précédentes campagnes. En effet, un impact pourra être mis en évidence si les concentrations mesurées s'écartent significativement de la gamme de concentrations considérée comme « usuelle ».

Une augmentation sera considérée comme significative si elle est au-delà de la variabilité du bruit de fond naturel ou anthropique (enveloppe de concentrations en prenant en compte l'incertitude analytique). Cette appréciation à dire d'expert pourra s'accompagner d'une approche statistique si le nombre de données est suffisant.

L'impact s'évalue également au regard des éléments liés à l'état initial (si pertinents), en comparant les résultats entre aval et amont hydraulique, et/ou par comparaison des résultats aux valeurs de gestion réglementaires applicables selon la substance et l'usage de l'eau considéré.

En l'absence de valeurs réglementaires et selon le contexte de gestion, il est possible d'utiliser les éléments issus d'une démarche d'Interprétation de l'État des Milieux (IEM) ou d'une évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS, dans le cadre du plan de gestion).

Dans le cas d'une nappe impactée par des substances volatiles (benzène, perchloroéthylène, etc.), le risque sanitaire associé à un dégazage depuis les eaux souterraines sera aussi à considérer.



Point d'attention :

La recherche d'une substance dans le milieu eau est généralement associée à l'existence d'une valeur de gestion réglementaire (cf. arrêté du 11 janvier 2007 sur l'eau potable et potabilisable, schémas directeurs comme les SDAGE, SAGE, etc.). L'existence d'une telle valeur doit être considérée lors des échanges avec le laboratoire d'analyses, en effet, la limite de quantification (LQ) doit être adaptée (exemple : une limite de quantification à 10 µg/L pour rechercher une substance dont la valeur de gestion est de 5 µg/L est inadapté).



Pour aller plus loin :

*« Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 31 décembre 2017 », INERIS 2018. <https://www.ineris.fr/fr/>
Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.*

Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE). Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE).

Circulaire du 23 octobre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

3 - Du rapport de suivi au rapport de bilan

Selon les recommandations formulées dans les chapitres suivants (trames), le rapport de bilan quadriennal se doit d'être plus complet et exhaustif que le rapport de suivi. Il doit conduire à une validation de la surveillance actuelle ou à proposer des évolutions (optimisation, rationalisation).

Cette évolution a pour objectif de « mieux surveiller ». Mieux surveiller peut impliquer une baisse ou une augmentation des différentes composantes que sont la fréquence, le nombre de points, de substances et/ou de paramètres suivis.

Les illustrations qui suivent présentent la place respective du rapport de suivi et du rapport de bilan dans le cadre de la surveillance du milieu eau souterraine pour différentes situations rencontrées dans le domaine des ICPE et des sites pollués.

3.1 - Situation 1 : situation « normale »

En situation normale, un ou plusieurs rapports par an sont exigés ; puis, tous les 4 ans, un bilan quadriennal est réalisé. Ce bilan est l'occasion d'analyser les résultats obtenus de manière plus approfondie, avec du recul, et en essayant de mettre en perspective les résultats obtenus par rapport aux évolutions et événements connus par le site durant cette période. Ce bilan peut conduire à une évolution de la surveillance (nombre de points, paramètres suivis et fréquences). Par évolution, s'entend aussi bien un allègement qu'un renforcement.



Le rapport de suivi peut mentionner des évolutions à envisager à court ou moyen terme sans attendre le bilan : par exemple, dans le cas de l'obstruction ou de la « perte » d'un ouvrage, il faudra rapidement envisager d'identifier la cause et/ou y remédier (déboucher voire refaire le forage)

Figure 18 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation normale.

3.2 - Situation 2 : situation « anormale » expliquée suite à vérification

En cas de résultats anormaux (en considérant l'incertitude analytique), il faut tout d'abord vérifier le respect des conditions d'échantillonnage et la survenue de tout élément permettant d'expliquer ce résultat. Cette vérification se fait par discussion avec l'équipe responsable de la campagne de suivi. En parallèle, une discussion avec le laboratoire permet de vérifier l'absence de biais analytiques (inversion d'échantillon, erreur de dilution, erreur d'unité). En outre, le donneur d'ordre doit également être sollicité (la réalisation de travaux sur le site, un incident, peuvent expliquer les résultats obtenus).

Si cette analyse permet de mettre en évidence que l'origine des résultats anormaux est liée aux procédures d'échantillonnage ou d'analyse notamment, voire à un événement survenu récemment sur le site, le cycle de suivi se poursuit comme prévu.

Si cette première analyse ne permet pas d'expliquer les résultats anormaux, une campagne de prélèvement complémentaire doit être réalisée au plus tôt (fréquence du suivi modifiée ponctuellement). Si les résultats anormaux ne sont pas confirmés, la surveillance se poursuit conformément à la planification initiale comme l'illustre le schéma suivant.

Deux cas peuvent ainsi se présenter :

- lorsque l'anomalie est détectée entre l'année 1 et 3, la campagne complémentaire est à détailler dans un rapport de suivi ;
- lorsque l'anomalie est détectée juste avant la fin de la période de suivi quadriennal, les résultats de cette campagne complémentaire sont intégrés au rapport de bilan.

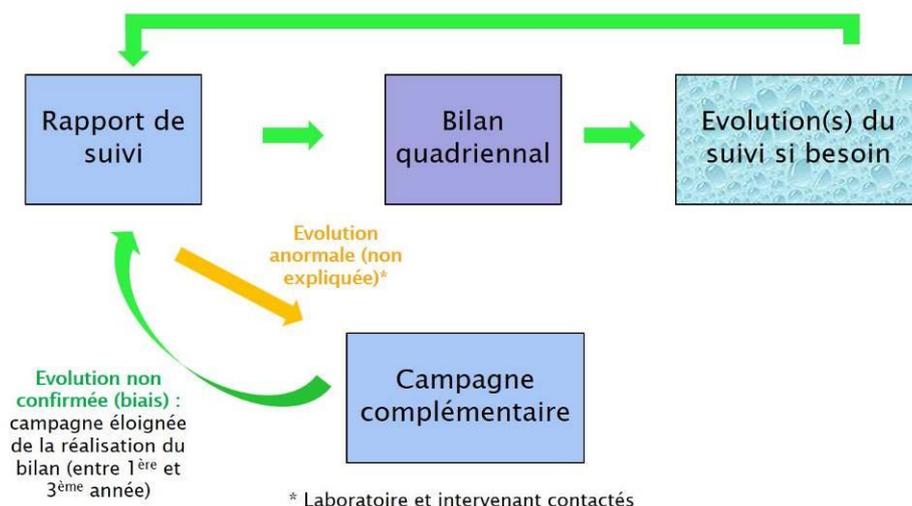
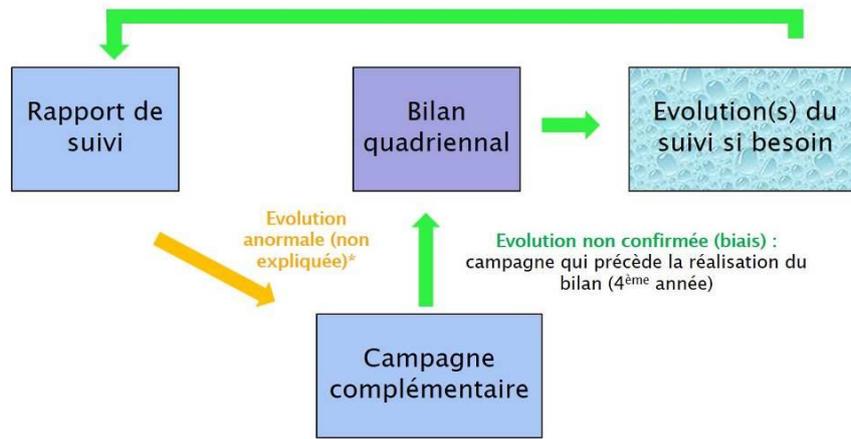


Figure 19 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à vérification (cas des années 1 à 3).



* Laboratoire et intervenant contactés

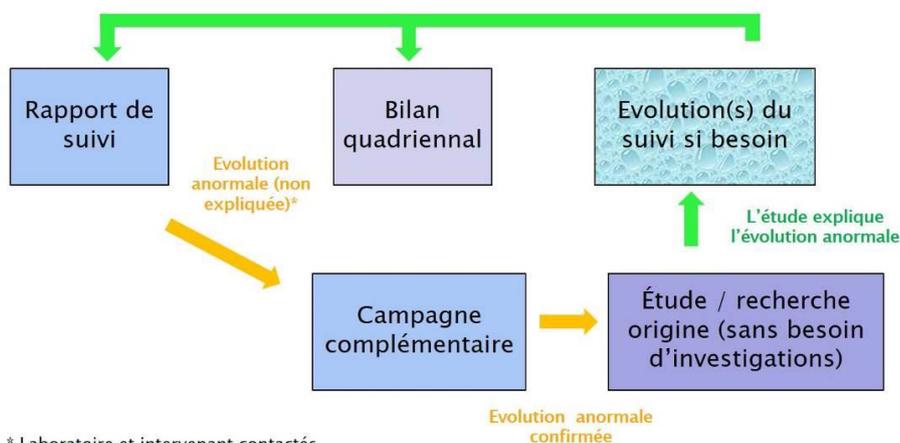
Figure 20 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à vérification (cas de l'année 4, dernière année d'un bilan quadriennal).

3.3 - Situation 3 : situation « anormale » expliquée suite à une étude complémentaire

Dans le cas où les résultats anormaux sont confirmés par la campagne complémentaire, une recherche de l'origine anthropique ou naturelle de ces résultats doit être réalisée sans investigation dans un premier temps.

L'étude doit chercher à expliquer cette évolution anormale. Par exemple, un ouvrage qui se retrouverait hors panache de pollution en raison d'une variation du sens d'écoulement peut expliquer une diminution anormale observée au cours d'une première campagne et de la campagne complémentaire menée par la suite. Un évènement naturel (fortes pluies, inondation conduisant à remobiliser la pollution) ou un accident/incident récent peuvent également expliquer des résultats anormaux.

La compréhension d'une évolution anormale des résultats (piézométrie, concentration) doit conduire à envisager des évolutions du suivi.



* Laboratoire et intervenant contactés

Figure 21 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à une étude complémentaire.

Remarque : dans cette situation, la découverte d'une pollution via la surveillance doit conduire à engager une démarche de gestion proportionnée et adaptée.

3.4 - Situation 4 : situation « anormale » expliquée suite à des diagnostics

Si l'étude préalable à toute investigation, recommandée à l'étape précédente, ne permet pas d'expliquer cette évolution anormale, alors il convient d'engager des diagnostics. Au terme de ces investigations, qui peuvent concerner différents milieux, des travaux doivent également être engagés pour maîtriser la ou les sources identifiées et/ou les éventuels impacts.

Les investigations peuvent utilement s'appuyer sur l'état de l'art et notamment les exigences de la norme volontaire NF X 31-620-2.

Après avoir trouvé une explication, de même que précédemment, la démarche de surveillance est poursuivie conformément à la planification initiale en y apportant les évolutions nécessaires.

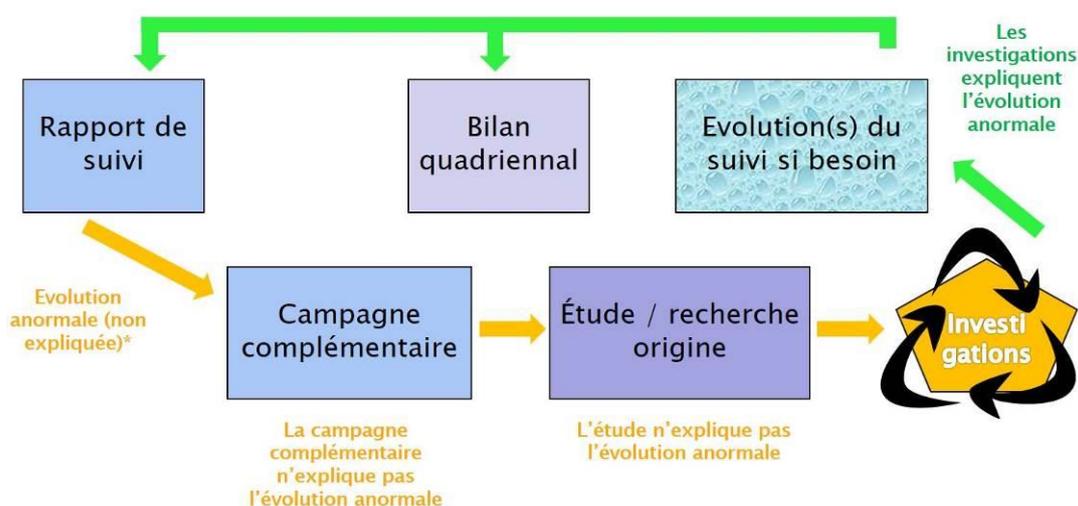


Figure 22 : Du rapport de suivi au rapport de bilan : situation anormale expliquée suite à des diagnostics.

Remarque : il arrive que des situations restent inexpliquées, néanmoins, ce constat doit être formulé à l'issue de la réalisation d'investigations proportionnées et adaptées.



Point d'attention :

Outre le bilan réalisé tous les 4 ans, une étude (situation 3) et éventuellement des investigations (situation 4) peuvent donc être engagées de manière anticipée afin de rechercher l'origine d'une évolution « anormale », un dépassement de critère (et conduire in fine à une évolution).

4 - Proposition de trame de rapport pour une campagne de surveillance des eaux souterraines

Le rapport relatif à une campagne de surveillance a pour objet de :

- résumer la campagne réalisée ;
- restituer les résultats acquis au cours de l'intervention ;
- mettre en évidence un éventuel impact ou une évolution non attendue d'une pollution préalablement identifiée et en cours de gestion depuis la précédente campagne.

Le rapport de suivi à rédiger porte sur la campagne « N » menée dans le cadre d'une surveillance basée sur une fréquence donnée, les campagnes précédentes N-1, N-2, etc. ont fait l'objet de rapports antérieurs.

Un modèle de rapport à compléter pour une campagne de surveillance a été développé, l'objectif étant d'harmoniser les pratiques et d'apporter un cadre méthodologique en incluant des modèles des illustrations attendues. Ces propositions correspondent à un minimum, et d'autres informations et illustrations sont à ajouter au regard du contexte.

Ce modèle concerne plus particulièrement la restitution d'une surveillance menée sur du moyen à du long terme (dans le cadre d'une surveillance en cours d'activité, après cessation d'activité ou pour une opération de dépollution).

Le rapport s'articule autour de 5 chapitres et comporte des annexes. Ce rapport peut intégrer des informations et des illustrations issues du précédent rapport de bilan. Une fiche pratique développe les éléments présentés ci-dessous.



SOMMAIRE

*Synthèse

1- Contexte de gestion

2- Références documentaires et référentiels méthodologiques

3- Présentation de la campagne menée

4- Interprétation des résultats

5- Recommandations et perspectives

Annexes (selon les cas) :

- extrait de l'Arrêté Préfectoral (volet suivi du milieu eau souterraine)
- plan de localisation des ouvrages et coupes de forage
- fiches de prélèvement liées à la campagne (avec éventuellement bordereaux de suivi des déchets si évacuation des eaux de purge par le prestataire)
- bordereaux d'analyses
- synthèse (tableau et graphique) des résultats (mesures et analyses)
- carte piézométrique actualisée (si plusieurs nappes sinon à intégrer au texte).

**La synthèse intègre une check-list (fiche qui suit complétée par le rédacteur du rapport) : cette dernière liste les éléments intégrés au rapport et les éventuelle(s) remarque(s) liée(s) à l'impossibilité de traiter un aspect.*



Évolution des pratiques :

Le fait de disposer d'une synthèse permettra d'homogénéiser les pratiques et de faciliter le traitement de l'information et au final d'améliorer la surveillance du milieu.

Place dans le sommaire proposé	Informations à intégrer	Sources potentielles d'informations	Cocher si traité	Commentaires
Contexte de gestion	Cadre du suivi (surveillance préventive, surveillance post accidentelle, etc.)	Arrêté Préfectoral		
Contexte de gestion	Schéma conceptuel (intégrant les ouvrages de surveillance)	Rapports techniques antérieurs (étude d'impact, diagnostic, bilan quadriennal, etc.)		
Contexte de gestion	Critères de gestion (valeurs de concentrations pour substances suivies ou niveaux de flottants, etc.)	Arrêté Préfectoral ou rapports techniques antérieurs (plan de gestion, etc.)		
Références documentaires et méthodologiques	Référentiels utilisés			
Présentation de la campagne menée	Présentation du suivi actuel (points, substances et paramètres, fréquence), du protocole de prélèvement	Étude hydrogéologique ayant servi à la définition du réseau ou précédent rapport de suivi, bilan quadriennal Arrêté Préfectoral		
Présentation de la campagne menée	Présentation des caractéristiques des ouvrages (diamètres, position des crépines, niveaux d'eau) et résultats du nivellement (par un géomètre professionnel en m NGF) avec indication du niveau repère	Rapport(s) de forage Rapport(s) de nivellement		
Présentation de la campagne menée	Réalisation de l'échantillonnage et des mesures associées (remarques éventuelles sur l'état des forages ou toute autre observation pouvant agir sur la représentativité des résultats)	Fiche(s) de prélèvement, CR de mission de l'équipe de préleveurs (à compléter d'échanges à tracer si besoin)		
Présentation de la campagne menée /Annexes	Illustrations : Cartes piézométriques Cartes et/ou chroniques de concentrations, de paramètres physico-chimiques	Résultats des mesures (niveaux, physico-chimie) Fiche(s) de prélèvement Bordereaux d'analyses		
Interprétation des résultats	Levée de doute vis-à-vis des résultats illustrés si ceux-ci mettent en exergue une incohérence	Contacts avec le préleveur, le laboratoire, interroger le donneur d'ordre quant à de récents travaux sur site, etc.		
Interprétation des résultats	Interprétation s'appuyant notamment sur l'évolution vis-à-vis des résultats des précédentes campagnes (sur 2 ans)	Rapports de suivi antérieur Évolution récente de la surveillance		
Recommandations et perspectives	Si besoin, propositions d'actions à engager à court terme afin d'expliquer une situation « anormale » et la corriger			

Tableau 3 : Check list pour les rapports de suivi.

5 - Fiche pratique 1 - Rapport de suivi

SYNTHÈSE (cf. modèle présenté précédemment à compléter par le rédacteur du rapport).

5.1 - Contexte de gestion

Objet : ce premier chapitre donne une description succincte du cadre de l'intervention et des moyens employés.

L'objectif de la surveillance est notamment lié au contexte de gestion associé (cf. illustration au chapitre I), il conviendra donc de préciser s'il s'agit d'un suivi préventif, en l'absence de pollution connue, ou curatif, en cas de pollution avérée. Ainsi, selon le cas, la surveillance peut avoir pour objet de mettre en évidence un éventuel impact ou de suivre l'évolution d'une pollution précédemment identifiée.

Par ailleurs, les critères de gestion retenus doivent également être présentés à ce stade (état initial, amont hydraulique, valeurs réglementaires, etc.).

À noter que l'objectif et les critères de gestion retenus sont également liés à la présence d'enjeux ou de cibles comme la présence de puits de particuliers, en aval hydraulique du site. Cette information doit apparaître clairement à ce stade du rapport (influence en particulier le choix des valeurs seuils issues de la réglementation).



Bonnes pratiques/recommandations :

Il convient de joindre en annexe l'Arrêté Préfectoral ou tout du moins un extrait indiquant les prescriptions relatives au suivi des eaux souterraines (que ce soit un arrêté d'autorisation, complémentaire, voire de mesure d'urgence) ou le programme de surveillance validé par l'administration sans qu'il soit forcément prescrit.

Le réseau de suivi en place doit être présenté (avec fréquence du suivi, caractéristiques des ouvrages, etc.).



Exemple de rédaction :

Le réseau et le programme de surveillance sont définis par l'Arrêté Préfectoral du XX (cf. **annexe extrait**). La surveillance porte sur l'aquifère XX (...) craie fissurée, marnreuse dans sa moitié inférieure dont les niveaux piézométriques varient de XX à XX m de profondeur environ cf. le suivi mené semestriellement depuis XX. Le sens d'écoulement au droit du site est orienté vers le XX (...) (cf. **annexe carte**).

Le réseau de surveillance actuellement en place est constitué de XX piézomètres (cf. **annexe plan de localisation des ouvrages et coupes**).

Ce réseau permet de répondre aux attentes de l'AP en termes de suivi de la qualité des eaux souterraines et de suivi de la piézométrie (cf. **tableau de synthèse concernant la demande**) et d'interpréter les résultats au regard des critères de gestion associés qui sont XX.

Cette présentation s'appuie sur une cartographie et des illustrations décrites ci-après. Ces éléments doivent évoluer en fonction des connaissances acquises **et être actualisés dans le cadre d'un bilan de la surveillance**.

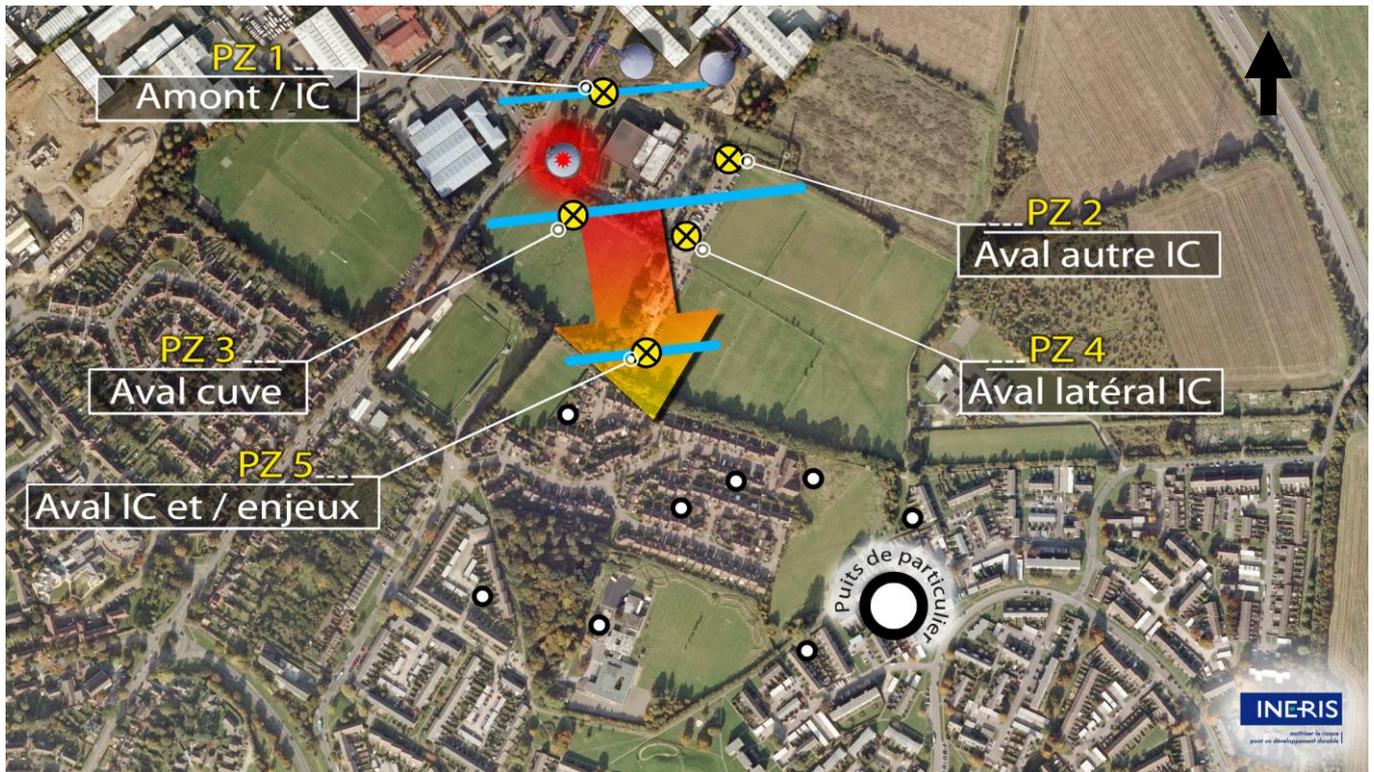
Synthèse sous forme cartographique

Dans le cadre de la description du suivi en cours, il convient de cartographier sur un document comprenant une échelle et le Nord (document qui peut être reporté en annexe) :

- la localisation de l'installation et de(s) source(s) de pollution ;

- les points de suivi (piézomètres ou puits) et leur position (amont, aval, etc.) ;
- l'axe d'écoulement principal (sur une ou plusieurs cartes si celui-ci varie dans le temps) ;
- les principaux enjeux en présence (et en particulier ceux en lien avec l'axe d'écoulement principal) ;
- les ouvrages susceptibles d'influencer les écoulements (puits industriels, agricoles, etc.).

L'échelle est à adapter au cas par cas, mais elle doit permettre de visualiser a minima le site dans son ensemble et son environnement proche.



100 m

Figure 23 : Plan d'implantation du réseau de surveillance.

Synthèse sous forme d'illustration

Un schéma conceptuel comme celui proposé ci-après doit être présenté afin de mettre en perspective les aspects source(s) – milieu eau souterraine et éventuellement autres milieux associés dans la migration de la pollution – enjeux.

Ce schéma reprend la nature et la localisation des sources potentielles ou avérées, une coupe schématique de la géologie du secteur ainsi que les principales informations hydrogéologiques (profondeur de la nappe, sens d'écoulement) et enfin les enjeux (usages de l'eau, habitations, etc.).

L'illustration suivante porte sur une surveillance préventive.



Figure 24 : Schéma conceptuel hydrodynamique et réseau de surveillance (cas d'un suivi préventif, en l'absence de pollution du milieu eau souterraine, la flèche indique le sens d'écoulement).

Concernant les points de suivi, il conviendra d'intégrer au rapport un tableau synthétisant les principales informations issues :

- des coupes ou logs de forage (fournis par les foreurs et annexées au rapport), à noter que d'éventuels indices organoleptiques observés en cours de foration doivent être consignés sur le log de sondage, en particulier l'observation d'huiles sur les carottes ou cuttings (déblais) ;
- des données de nivellement : altitude des ouvrages (recommandé en m NGF) et base de mesure de la piézométrie.

Certaines de ces informations doivent aussi être consignées sur les fiches de prélèvement (par exemple : norme NF X 31-615).

Ouvrage	Coordonnées X, Y (LB93) altitude Z du point de repère (m NGF)	Date de mise en place	code BSS	code(s) SANDRE	Diamètre tubage (intérieur, mm)	Profondeur (m/repère)	Zone(s) crépinée(s) (m/repère)	Profondeur(s) prélèvement(s) (m/repère)	Nappe suivie et position dans le réseau
Pz1	XX; YY; ZZ	2010	-	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	52	12,5	3-12,5	6	Nappe alluviale - amont
Pz2	XX; YY; ZZ	2010	-	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	52	12,0	3-12	6	Nappe alluviale -aval Est
Pz3	XX; YY; ZZ	2010	-	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	52	12,0	3-12	6	Nappe alluviale -aval Sud
Pz4	XX; YY; ZZ	2012	-	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	52	60,5	25-60,5	45	Nappe des calcaires - aval Sud-Ouest
Pz5	XX; YY; ZZ	2012	-	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	52	63,0	25-63	45	Nappe des calcaires - amont
Pz6	XX; YY; ZZ	2014	08035X0398/F	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	78	62,0	25-62	45	Nappe des calcaires - aval Sud-Est
Pz7	XX; YY; ZZ	2014	08035X0399/F	1114 (benzène) 1517 (naphtalène)	78	15,0	3-8/10-15	6/12	Nappe alluviale -aval fuite cuve

Tableau 4 : Description des ouvrages du réseau de surveillance d'une nappe alluviale surmontant une nappe dans des calcaires.

Selon la situation, et en particulier en cas de surveillance portant sur plusieurs nappes, un tableau dédié à chacune d'elles peut être réalisé afin de clarifier les informations disponibles.

Concernant la mention du point de repère de l'altitude de l'ouvrage, conserver la mémoire de sa localisation (sur le tube du forage, sur la margelle, etc.) est essentiel pour le calcul du niveau d'eau à partir de la mesure de la profondeur. En effet, ce point doit être marqué par une signalisation visuelle pérenne (point de peinture, gravure ou autre, à l'emplacement où le nivellement a été fait) : en tête de forage, au sol, ou encore depuis la margelle d'un puits (dont l'altitude peut légèrement varier sur leur pourtour). Toutes les modifications liées au nivellement doivent être tracées (changement de repère, changement de référentiel, toute dégradation engendrant une modification de l'ouvrage, etc.).



Figure 25 : Point de mesure de la piézométrie pour les différents forages du réseau de surveillance (repère altimétrique, recommandé en m NGF).

Compléments potentiels à ce premier chapitre

Sur la base d'un précédent bilan (suivant la trame présentée ci-après), le rapport de suivi peut être enrichi par les informations suivantes.

Synthèse chronologique des événements survenus depuis la mise en place de la surveillance (voir bilan).

Synthèse des ouvrages de suivi et principales caractéristiques (voir bilan).

5.2 - Références documentaires et référentiels méthodologiques

Objet : ce second chapitre assure la conservation de la mémoire, la traçabilité de l'étude ayant définie le suivi, des précédentes campagnes et des études ayant pu conduire à définir des critères de gestion (état initial, environnement local témoin, valeurs de gestion réglementaire, etc.).

Les références des derniers rapports (N-1, N-2, etc.) sont à intégrer afin de pouvoir s'y référer, par exemple, pour vérifier le maintien du protocole d'échantillonnage entre deux campagnes récentes.

Les référentiels utilisés sont cités : normes, guides de bonnes pratiques et protocoles sur lesquels s'appuie la surveillance.

5.3 - Présentation de la campagne menée

Objet : Ici apparaissent des informations sur ce qui a été réalisé, dans quelles conditions, les éventuels problèmes rencontrés, les résultats obtenus (sans interprétation à ce stade).



Exemple de rédaction :

Campagne menée du XX au XX.

Mesures (XX) et échantillonnage d'eau souterraine réalisés sur le réseau de surveillance actuellement en place constitué de XX ouvrages (forage, puits, sources) (cf. **annexe fiches de forage et fiches de prélèvement**).

Analyses réalisées le XX par XX (cf. **annexe bordereaux d'analyses**).

Commentaire(s) éventuel(s) : ouvrage XX à sec ou vandalisé, condition météorologique défavorable, etc.

Les informations concernant la campagne de mesures et d'échantillonnage sur le terrain ainsi que les analyses en laboratoire doivent être reportées dans des fiches de prélèvement et des bordereaux d'analyses. Les bordereaux analytiques doivent intégrer les incertitudes du laboratoire. Ces documents spécifiques sont à reporter en annexe. Ils permettent d'expliquer un résultat ou encore d'assurer le respect du protocole tout au long de la surveillance même en cas de changement d'intervenant.

Certaines informations telles que des dégradations d'ouvrages ou l'absence de fermeture de ces derniers doivent être consignées, en effet, elles peuvent permettre d'expliquer des anomalies éventuelles.



Bonnes pratiques/recommandations :

Lors de la réalisation d'un échantillonnage, il convient d'assurer la traçabilité de certaines informations. Pour cela, la personne ayant réalisé l'échantillonnage remplit une fiche de prélèvement qui doit permettre après coup de disposer d'éléments en cas d'anomalie constatée/supposée au regard des résultats du laboratoire. Cette fiche est décrite dans la norme NF X 31-615, elle doit donner notamment le mode de prélèvement, la profondeur de purge et d'échantillonnage, le débit associé, etc.

Les principaux éléments du protocole d'échantillonnage doivent être repris sous la forme d'un tableau, comme illustré ci-après (tableau 4).



Bonnes pratiques/recommandations :

Le protocole de suivi doit être détaillé, des informations comme la fraction analysée (brute ou filtrée), d'éventuels prétraitements comme la décantation, doivent apparaître sous forme de tableau ou dans le texte.

Les résultats doivent tout d'abord avoir fait l'objet d'une analyse préalable afin d'en vérifier la cohérence. Par exemple, une lecture rapide des résultats d'analyses peut permettre de déceler des incohérences qui peuvent s'expliquer suite à un échange avec l'équipe intervenant sur site ou le laboratoire.



Point d'attention :

Inversion d'échantillon, erreur d'unité, erreur de report ou changement dans l'analyse réalisée (préparation notamment : décantation, filtration, etc.).

Ouvrage	Repère alt. (m NGF)	Prof. nappe (m) / Niveau piézométrique (m NGF)	Type d'échantillonnage	Isolement de deux portions d'aquifère	Position du(des) outils d'isolement		Purge préalable	Mode de purge	Débit de purge (m3/h)	Condition d'arrêt de la purge	Profondeur de purge (m)	Mode de prélèvement	Profondeur d'échantillonnage	Débit d'échantillonnage (m3/h)	Ordre de prélèvement
Pz1	Haut tube	5,22 / 146	multiniveaux	obturateur pneumatique (packer)	15m	Niveau 1	oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	7	pompage: pompe XX	7	0,06	4
	Haut tube	5,22 / 146				Niveau 2	oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	20	pompage : pompe YY	20	0,06	5
Pz2	Sol	4,02 / 146,5	mononiveau				oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	7,5	pompage: pompe XX	7,5	0,06	1
Pz3	Haut tube	12,11 / 148,2	mononiveau				oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	21	pompage : pompe YY	21	0,06	2
Pz4	Haut tube	10,02 / 148,8	mononiveau				oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	20,5	pompage : pompe YY	20,5	0,06	3
Pz5	Haut tube	4,51 / 148,1	multiniveaux	non		Niveau 1	oui	dynamique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques		Préleveur commandé	6	0,06	6
	Haut tube	4,51 / 148,1				Niveau 2	oui	dynamique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques		Préleveur commandé	12	0,06	8
Pz6	Haut tube	5,80 / 147	mononiveau				oui	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	7,2	pompage: pompe XX	7,2	0,06	7
Pz7	Haut tube	5,51 / 148,1	mononiveau				non	statique	0,3	stabilisation des paramètres physico-chimiques	7,8	pompage: pompe XX	7,8	0,06	9

Tableau 5 : Description du protocole d'échantillonnage sur les différents forages du réseau.

Les résultats qualitatifs et quantitatifs font ensuite l'objet d'une restitution sous forme de tableaux, la date d'acquisition apparaît clairement.



Bonnes pratiques/recommandations :

Concernant les résultats d'analyses, les tableaux de restitution des résultats doivent notamment contenir la limite de quantification (LQ) pour la substance analysée, l'unité de mesure.

L'incertitude doit être reportée sur les graphes.

La méthode d'analyse utilisée et la norme associée ainsi que la fraction analysée et le conditionnement sont par ailleurs mentionnés dans le bordereau d'analyse.

Le critère de gestion ou seuil associé doit lui aussi clairement apparaître (valeur réglementaire, etc.).

Par ailleurs, il est souhaitable de pouvoir identifier dans les tableaux de résultats le ou les piézomètres en amont hydraulique (celui-ci étant une référence essentielle dans l'évaluation d'un impact).

Synthèse sous forme de tableaux – cf. tableau 6 ci-après.

Substances	Points de suivi description	octobre-11	avril-12	septembre-12	mars-13	octobre-13	avril-14	Incertitude (%)	LQ	An. I Arrêté 11 janvier 2007 Limite de qualité	An. I Arrêté 11 janvier 2007 Référence de qualité	autre référence (bon état chimique, valeurs EQRS...)
Arsenic (µg/L)	Pz1 - amont	n.m.	n.m.	n.m.	<5	n.m.	n.m.	10	1	10	...	15
	Pz3 - latéral	n.m.	n.m.	n.m.	<5	n.m.	n.m.					
	Pz4 - latéral	n.m.	n.m.	n.m.	<5	<1	15					
	Pz6 - aval	-	-	-	<5	<1	11					
	Pz7 - avant puits privé	n.m.	n.m.	n.m.	<5	n.m.	n.m.					
Cadmium (µg/L)	Pz1 - amont	n.m.	<5	<5	<5	n.m.	n.m.	10	0,5	5	...	1
	Pz3 - latéral	<5	n.m.	<5	<5	n.m.	n.m.					
	Pz4 - latéral	<5	n.m.	<5	<5	<0.5	<0.5					
	Pz6 - aval	-	-	-	<5	<0.5	<0.5					
	Pz7 - avant puits privé	<5	n.m.	<5	<5	n.m.	n.m.					
Mercure (µg/L)	Pz1 - amont	n.m.	<0.2	<0.2	<0.2	n.m.	n.m.	20	0,015	1
	Pz3 - latéral	<0.2	n.m.	<0.2	<0.2	n.m.	n.m.					
	Pz4 - latéral	<0.2	n.m.	<0.2	<0.2	<0.015	<0.015					
	Pz6 - aval	-	-	-	<0.2	<0.015	<0.015					
	Pz7 - avant puits privé	<0.2	n.m.	<0.2	<0.2	n.m.	n.m.					
Paramètres physico-chimiques (exemple pH)	Pz1 - amont	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8					
	Pz3 - latéral	7,8	7,8	7,9	7,8	7,8	7,8					
	Pz4 - latéral	7,9	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7					
	Pz6 - aval	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5					
	Pz7 - avant puits privé	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8					
n.m. : non mesuré												
(-) : non créé												

Tableau 6 : Résultats des analyses chimiques et mesures sur site avec critères de gestion associés (quelques substances et pH ici en exemple).

5.4 - Interprétation des résultats

Objet : les résultats sont étudiés au regard de la tendance précédemment observée : apparition d'une éventuelle dégradation de la qualité du milieu ou évolution de la situation « anormale » vis-à-vis des actions entreprises. Cette analyse se fait aux moyens de graphiques et/ou de cartes.

Synthèse sous forme graphique

Il convient de disposer de graphiques de suivi temporels ou de chroniques des niveaux et des concentrations. À noter que dans le cadre d'un rapport de ce type il ne s'agira pas d'interpréter l'ensemble de ces chroniques mais les derniers résultats en considérant seulement les dernières campagnes (de l'ordre de 4 campagnes sur les deux dernières années pour ce qui concerne la majorité des surveillances actuellement en cours, fréquence généralement semestrielle, mais à adapter au cas étudié).



Bonnes pratiques/recommandations :

Il conviendra de faire apparaître systématiquement la piézométrie sur un graphique. Les mesures piézométriques utilisées pour l'établissement des cartes piézométriques sont des données « synchrones ». Une attention particulière doit être portée à cet aspect sur des sites où les niveaux sont influencés par des pompages intermittent et/ou par le niveau d'un cours d'eau ou la marée du fait des relations entre eau souterraine et eau de surface. Concernant la marée, il peut s'agir de sites éloignés du littoral, ainsi, à plus de 100 km de l'estuaire de la Seine, la marée induit encore un changement de direction et sens d'écoulement plusieurs fois par jour au sein de la nappe alluviale.

L'acquisition de données synchrones de niveaux d'eau et de concentrations permet une interprétation commune des évolutions observées. Par exemple, la remobilisation de polluants en zone non saturée lors d'une remontée du niveau de la nappe est un phénomène bien connu, il explique souvent un relargage se traduisant par l'augmentation des concentrations. Dans ce cadre, piézométrie et concentrations doivent donc être étudiées simultanément comme l'illustre la figure suivante.

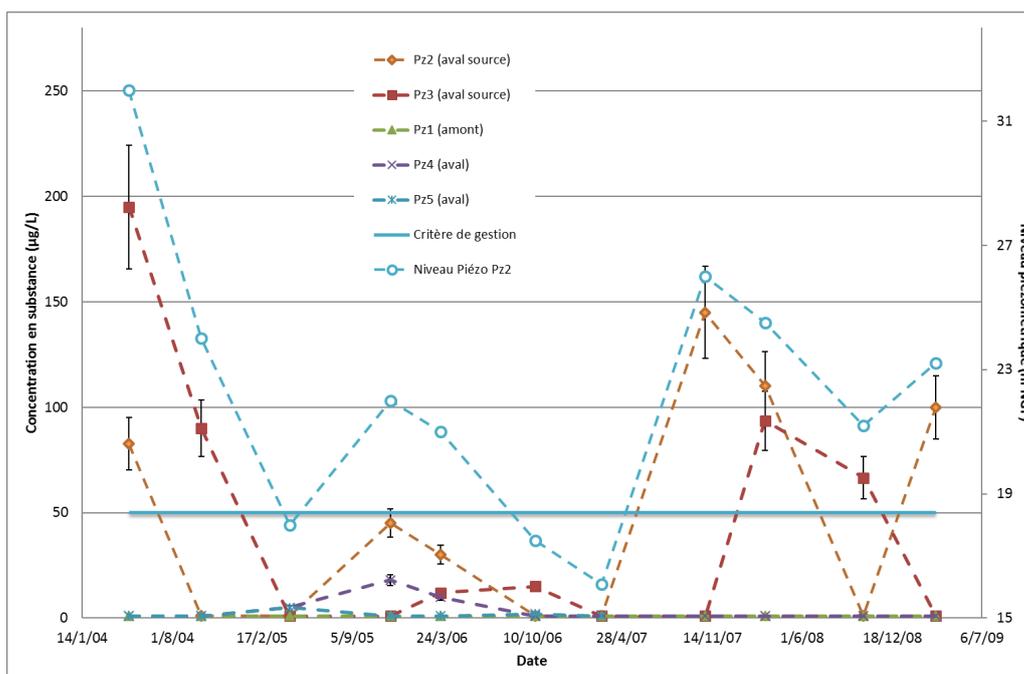


Figure 26 : Évolution de la concentration et évolution conjointe de la piézométrie sur l'un des ouvrages représentatif (en Pz2).

Sur cette illustration, les concentrations mesurées lors de la campagne N sont comparées aux valeurs des campagnes précédentes (3 à 4 campagnes précédentes et/ou 2 dernières années) et aux critères de qualité des eaux préalablement établis : la concentration dans des environnements non impactés par l'activité du site (ici l'amont avec Pz1) et la valeur réglementaire (ici 50 µg/L).

Il apparaît qu'une baisse des niveaux piézométriques en Pz2 se traduit par une diminution des concentrations en aval de la source notamment (Pz2 et Pz3). A contrario, une augmentation des niveaux piézométriques se traduit par une augmentation des concentrations en aval de la source. Ces observations peuvent conduire à émettre l'hypothèse du relargage de polluants dissous lors de la montée du niveau d'eau dans la zone non saturée.

Remarques : dans certains cas, seule une analyse piézométrie/concentration ouvrage par ouvrage s'avérera pertinente (le cas présenté ici considère que Pz2 est représentatif de la situation piézométrique sur l'ensemble de la zone d'étude).

L'évolution de l'épaisseur des phases pures de « flottant » (LNAPL) et/ou « plongeant » (DNAPL) devra être suivie et éventuellement reportée également sur un graphique.



Pour aller plus loin :

L'évolution de l'épaisseur de flottant peut varier avec le battement de la nappe et il conviendra de considérer que la mesure effectuée dans le forage n'est pas celle de l'épaisseur réelle dans l'aquifère, une correction doit en effet être appliquée compte-tenu de la nature du fluide étudié (cette correction est explicitée en annexe G de la norme NF X 31-615).

Synthèse sous forme cartographique

Une carte piézométrique, pour chaque nappe étudiée, est nécessaire pour illustrer les résultats de la campagne N (ces cartes peuvent être fournies en annexe). Les informations piézométriques et de concentrations peuvent également être reportées ensemble sur des cartographies afin de faciliter l'interprétation.

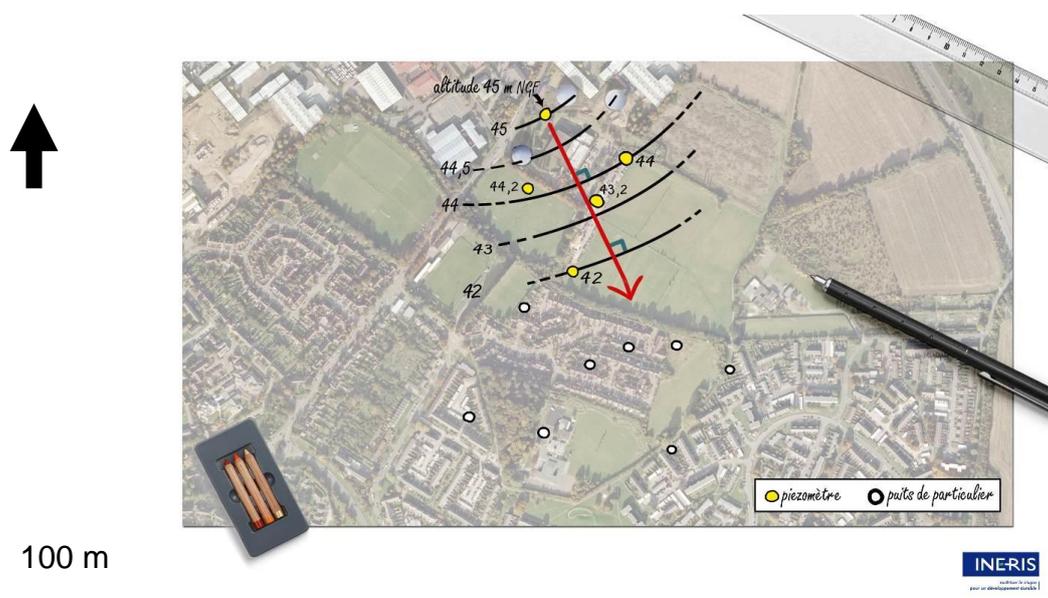


Figure 27 : Carte piézométrique actualisée - campagne N (avec isopièzes et sens d'écoulement de la nappe).



Évolution des pratiques :

Le suivi du niveau piézométrique est généralement réalisé ponctuellement, en lien avec la fréquence des campagnes. Or, la mise en place de sondes automatiques permet d'acquérir une chronique journalière, particulièrement intéressante pour la connaissance du milieu, et in fine pour interpréter les résultats d'une autosurveillance et/ou pour dimensionner la gestion d'une pollution de façon proportionnée et adaptée (exemple : définir un niveau maximum, observer la relation avec un cours d'eau, identifier les périodes de « hautes et basses eaux », observer les variations inter et intra annuelles).

Par ailleurs, selon le contexte naturel et les enjeux, le suivi du niveau d'eau dans le(s) cours d'eau et ou plan(s) d'eau proche(s) du site peut s'avérer nécessaire. En parallèle à l'acquisition des données piézométriques, l'analyse de ce niveau (dit limnimétrique), et de son évolution, permet de mettre en exergue des relations entre eau souterraine et eau de surface ainsi que les changements associés de direction et sens d'écoulement de l'eau souterraine transitant au droit du site.

Modalités d'interprétation :

- constats de qualité (impact) :
- comparaison aux valeurs précédentes ;
- comparaison aux critères de qualité des eaux préalablement établis : à l'état initial de l'environnement, aux concentrations dans des environnements non impactés par l'activité du site (amont hydraulique), aux valeurs réglementaires voire à des critères liés à une évaluation des risques ;
- raisonner en ordres de grandeur pour les concentrations (incertitudes liées à l'échantillonnage et à l'analyse).



Point d'attention :

L'interprétation doit intégrer les incertitudes analytiques et en cas de résultats « anormaux », il conviendra de vérifier le résultat avec le laboratoire, de revenir aux fiches de terrain, voire de refaire une campagne avant d'enclencher des actions correctives (cf. chapitre III).

L'interprétation s'appuie également si nécessaire sur :

- la(les) date(s) de changement de laboratoire, de méthodes analytiques et/ou de prestataire d'échantillonnage ;
- la(les) date(s) de travaux, sur ou autour du site.

Ces informations sont disponibles si un bilan a été réalisé récemment. Sinon, il conviendra de se rapprocher du donneur d'ordre afin de disposer d'informations récentes pour interpréter les résultats.

Ainsi, en cas d'évolution « anormale », d'inversion de tendance (récente) ou de dépassement d'un critère de gestion (concentrations amont, valeur réglementaire notamment), ; le rapport de suivi tente d'expliquer ce constat en se basant sur :

- les événements « anthropiques » survenus récemment (changement de protocole, travaux, mise en place ou arrêt d'un pompage, etc.) ;
- les événements « naturels » survenus récemment (précipitations très élevées ou très faibles, atténuation naturelle d'une pollution résiduelle, etc.).

Remarque : à défaut d'enregistrements de niveau en continu sur le site, l'utilisation de chroniques piézométriques disponibles pour un piézomètre du réseau national (ou régional) de suivi des nappes (site ADES), proche du site et dans un même contexte hydrogéologique, peut s'avérer utile.



Exemples de rédaction :

L'absence d'impact constaté est cohérente avec la bonne maîtrise des émissions du site et l'absence d'incident survenu depuis le XXX.

Depuis la dernière campagne, les concentrations en XX et YY ne montrent pas d'évolution significative ce qui indique un état stationnaire du panache.

L'évolution observée sur la teneur en oxygène dissous (quasi disparition) et le potentiel d'oxydo-réduction (diminution) montrent que la nappe subit un impact par un produit dégradé qui induit une consommation de l'oxygène par des bactéries.

La régression du panache est confirmée, les concentrations en XX et YY indiquant de nouveau la diminution observée lors de la campagne précédente.

Les concentrations en XX et YY mesurées dans la nappe superficielle sont plus importantes que lors de la campagne précédente, ce constat peut s'expliquer par le niveau exceptionnellement haut de la nappe ayant pu occasionner une remise en solution de polluants préalablement présents en zone non saturée.



Point d'attention :

En cas de déversement accidentel, l'atteinte éventuelle de la nappe va dépendre des volumes concernés et des temps de transfert en zone non saturée, il faudra tenir compte de ce retard pour qualifier définitivement une absence d'impact. Par exemple, une surveillance renforcée durant 1 mois après la découverte d'une fuite pourrait se révéler être une mesure insuffisante pour identifier une dégradation de la qualité des eaux souterraines à un ouvrage situé 200 m à l'aval et avec une zone non saturée épaisse de 10 m.



Évolution des pratiques :

L'absence de justification de l'évolution des concentrations observées depuis la dernière campagne et de mise en perspective par rapport aux événements récents sur et autour du site n'est pas acceptable au regard de l'objectif d'un rapport de surveillance.

5.5 - Recommandations et perspectives

Si le dépassement d'un critère de gestion est observé au cours de la campagne menée, il faut donc (cf. Chapitre 3) :

- vérifier les incertitudes sur la mesure, l'échantillonnage et l'analyse (contacter le laboratoire ou la personne en charge de la campagne si besoin), rechercher une explication liée à des travaux récents auprès du donneur d'ordre ;
- procéder à un nouveau prélèvement si la démarche précédente ne permet pas d'expliquer le résultat ;
- engager une réflexion plus poussée tout en réalisant en premier lieu une étude spécifique pour déterminer l'origine de ce constat, voire mettre en œuvre dans un second temps des diagnostics complémentaires, en particulier si la tendance se confirme.

Lorsque les concentrations dans les ouvrages situés en aval hydraulique dépassent les critères de gestion, il faut implanter un ou plusieurs piézomètres complémentaires afin de connaître l'étendue de la zone impactée (dans le cadre d'un plan de gestion et/ou d'une interprétation de l'état des milieux). En cas d'extension du panache hors site, cette démarche permettra de mener à bien l'IEM, de vérifier la compatibilité entre usages et qualité des eaux souterraines.

Comme l'illustre la figure suivante, le piézomètre le plus en aval permet de circonscrire la zone impactée. Parfois qualifié de sentinelle en présence d'un enjeu, il doit permettre de déterminer l'extension du panache.

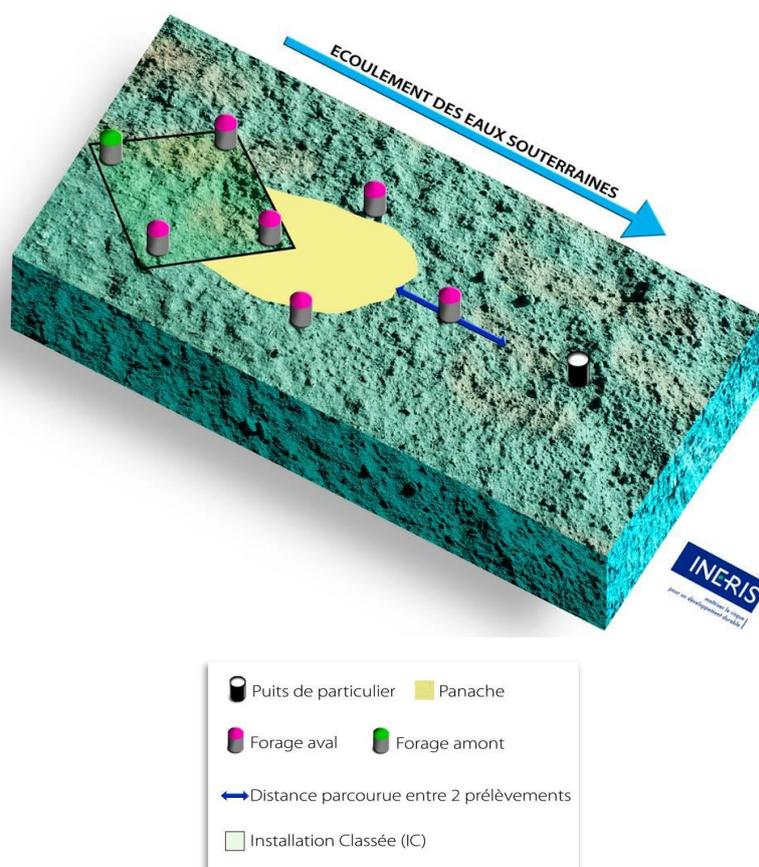


Figure 28 : Réseau de surveillance et localisation d'un ouvrage dit sentinelle (entre la source de pollution et un enjeu).

6 - Proposition de trame pour un rapport de bilan de surveillance des eaux souterraines

Le rapport de bilan a pour objectif la mise en perspective des résultats acquis au cours des 4 dernières années, un bilan quadriennal étant recommandé. Le bilan doit notamment permettre de vérifier la pertinence du réseau au regard d'évolutions constatées : sur la piézométrie (des pompages ayant pu modifier l'écoulement, etc.), sur les concentrations (apparition ou évolution d'un panache), et sur le contexte (apparition/disparition d'enjeux).



Point d'attention :

« (...) lorsqu'une surveillance environnementale est en place, il est recommandé de procéder à des bilans des résultats de cette surveillance, par exemple, tous les quatre ans. Il ne s'agit en aucune manière de modifier les modalités de la surveillance déjà en place pour les ramener à une fréquence quadriennale, mais bien d'analyser et d'exploiter régulièrement les résultats de la surveillance environnementale lorsqu'elle est requise et en place, pour l'adapter aux évolutions constatées. »

Au final, cette analyse justifie les propositions d'évolution du réseau qui s'avèrent nécessaires, que ce soit pour le nombre de points, la fréquence de suivi et/ou les substances et paramètres considérés. L'argumentaire développé peut s'appuyer sur des outils statistiques et géostatistiques si le nombre et la qualité des données le permettent.

Un modèle de rapport à compléter pour un bilan de la surveillance a été développé, l'objectif étant, comme pour le rapport de suivi, d'harmoniser les pratiques et d'apporter un cadre méthodologique en incluant des modèles d'illustrations attendus. Ces propositions correspondent à un minimum, et d'autres informations et illustrations sont à ajouter au regard du contexte.

Le rapport s'articule autour de 5 chapitres et comporte des annexes. Certains chapitres sont identiques à ce qui est attendu dans le rapport de suivi, cependant, le niveau de détail exigé est plus élevé dans le cadre d'un bilan. Une fiche pratique développe les éléments présentés ci-dessous.



SOMMAIRE

*Synthèse

1- Contexte de gestion

2- Références documentaires et référentiels méthodologiques

3- Surveillance des eaux souterraines (mises à jour)

rappels sur contexte naturel et source(s) de pollution

mise en place de la surveillance

synthèse des évolutions de la surveillance

situation actuelle

schéma conceptuel

4- Bilan de la surveillance des eaux souterraines

5- Recommandations et perspectives

Annexes (selon le cas) :

extrait de l'Arrêté Préfectoral (volet suivi du milieu eau souterraine)

plan de localisation des ouvrages et coupes de forage

cartes piézométriques illustrant les différents régimes d'écoulement (hautes eaux et basses eaux à

différentes périodes si nécessaire) pour chaque nappe surveillée

campagne initiale (définition de l'état initial)

étude hydrogéologique préalable ayant servi de base à la définition du réseau

synthèse (tableau et graphique) des résultats (mesures et analyses)

*La synthèse intègre une check-list (fiche qui suit à compléter par le rédacteur du rapport) : cette dernière liste les éléments intégrés au rapport et les éventuelle(s) remarque(s) liée(s) à l'impossibilité de traiter un aspect.



Évolution des pratiques :

Le fait de disposer d'une synthèse permettra d'homogénéiser les pratiques et de faciliter le traitement de l'information et au final d'améliorer la surveillance du milieu.

Place dans le sommaire proposé	Informations à intégrer	Sources potentielles d'informations	Cocher si traité	Commentaires
Contexte de gestion	Cadre du suivi (surveillance préventive, surveillance post accidentelle, etc.)	Arrêté Préfectoral		
Contexte de gestion	Critères de gestion (valeurs de concentrations pour substances suivies ou niveaux de flottants, etc.)	Arrêté Préfectoral ou rapports techniques antérieurs (Plan de gestion, etc.)		
Références documentaires et méthodologiques	Référentiels utilisés			
Surveillance des eaux souterraines	Contexte naturel et source(s) de pollution	Rapports antérieurs et/ou bases de données (Infoterre, BASOL, BASIAS, etc.)		
Surveillance des eaux souterraines	Mise en place de la surveillance et évolution(s)	Étude hydrogéologique ayant servi à la définition du réseau ou précédent rapport de bilan (avec évolution)		
Surveillance des eaux souterraines	Présentation du suivi actuel (points, substances et paramètres, fréquence)	Étude hydrogéologique ayant servi à la définition du réseau ou précédent rapport de suivi, bilan quadriennal Arrêté Préfectoral		
Surveillance des eaux souterraines	Présentation des caractéristiques des ouvrages (diamètres, position des crépines, niveaux d'eau) et résultats du nivellement (par un géomètre professionnel en m NGF) avec indication du niveau repère	Rapport(s) de forage Rapport(s) de nivellement		
Surveillance des eaux souterraines	Schéma conceptuel actualisé (intégrant les ouvrages de surveillance)	Informations actualisée (substances, enjeux, direction/sens d'écoulement, etc.) sur la base d'une visite, d'échange avec le donneur d'ordre ou la consultation de bases de données		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Évolution constatée concernant les écoulements - Cartes piézométriques - Graphes d'évolution temporelle	Résultats des mesures (niveaux) Fiche(s) de prélèvement		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Évolution constatée concernant la qualité des eaux souterraines (concentrations et paramètres physico-chimiques selon le cas) :- Cartes de l'emprise du panache - Graphes d'évolution temporelle - Tableau de synthèse	Résultats des mesures (physico-chimiques) Fiche(s) de prélèvement Bordereaux d'analyses		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Interprétation s'appuyant notamment sur l'évolution vis-à-vis des résultats antérieurs et depuis le début du suivi. Cohérence avec les événements « anthropiques » et/ou « naturels » survenus	Rapports de suivi et de bilan antérieurs Échanges avec donneur d'ordre, etc. Consultation de bases de données (météo par exemple)		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Questionnement vis-à-vis de l'optimisation du suivi actuellement mené : Réponses aux questions à se poser	Informations acquises précédemment Tableaux de questionnement sur : « évolution portant sur les forages de surveillance », « évolution portant sur la fréquence du suivi », « évolution portant sur le nombre de paramètres/substances suivis »,		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Évaluation temporelle (optionnelle)	Outil statistique		
Bilan de la surveillance des eaux souterraines	Évaluation spatiale (optionnelle)	Outil géostatistique		
Recommandations et perspectives	Si besoin, propositions d'actions à engager afin d'optimiser la surveillance			

Tableau 7 : Check list pour les rapports de bilan.

7 - Fiche Pratique 2 - Rapport de bilan

SYNTHÈSE (cf. modèle présenté précédemment à compléter par le rédacteur du rapport).
Contexte de gestion

Objet : ce premier chapitre donne une description du cadre de l'intervention.

Cf. Rapport de suivi

Ce chapitre est pour partie similaire à celui du rapport de suivi. Il ne porte pas sur les moyens employés pour mener à bien la surveillance du milieu, ceux-ci étant détaillés par la suite au chapitre 3.

Dans le cadre d'un bilan, le schéma conceptuel doit être actualisé en conclusion du chapitre 3. En conséquence, il peut ne pas apparaître dans ce premier chapitre ou si c'est le cas, il conviendra **de bien préciser à ce stade qu'il s'agit de la version antérieure non actualisée.**

7.1 - Références documentaires et référentiels méthodologiques

Objet : ce second chapitre assure la conservation de la mémoire, la traçabilité des précédentes campagnes, des études réalisées : étude hydrogéologique, diagnostic, études ayant pu conduire à définir des critères de gestion (état initial, environnement local témoin, valeurs de gestion réglementaires).

Les documents consultés doivent être mentionnés : les références des études antérieures, en particulier celles ayant conduit à la définition du réseau de surveillance et des modalités de suivi (étude hydrogéologique, étude historique, diagnostic, etc.), si une étude spécifique a été réalisée elle est jointe pour tout ou partie en annexe.

La liste complète des références et des documents de suivi existants devra être fournie en annexe (rapports de surveillance antérieurs portant sur les campagnes N-1, N-2, etc.).

Les référentiels utilisés sont cités : les normes, guides de bonnes pratiques et protocoles sur lesquels s'appuie la surveillance.

7.2 - Surveillance des eaux souterraines (mises à jour)

Objet : ce chapitre présente les éléments constitutifs du réseau de surveillance, son état actuel et les informations liées à la définition du suivi, il porte en outre sur la mise à jour de ces informations ce qui peut conduire à proposer une mise à jour du schéma conceptuel.

7.2.1 - Rappels sur le contexte naturel et les source(s) de pollution

Cette section permet de donner des informations sur le milieu de transfert « eau » au travers des éléments suivants :

- la géologie via un extrait de la carte géologique ;
- l'hydrogéologie avec le ou les aquifère(s) concerné(s) et leur typologie associée (milieu poreux, fracturé, karstique) ;
- le type de nappe (libre, captive, semi-captive) ;
- le réseau hydrographique existant et, si disponibles, des éléments quant aux relations avec les eaux souterraines ;
- les données climatiques, notamment la pluviométrie.

Cette section permet aussi de donner des informations sur l'état qualitatif de la (les) nappe(s) : informations liées à la campagne(s) de définition d'un état initial (extraits en annexes).

7.2.2 - Mise en place de la surveillance (et précédentes évolutions)

Sont reportées ici les informations relatives à la définition du réseau, des ouvrages et à l'évolution du suivi voire du site :

- étude spécifique à introduire si elle existe, avec notamment la justification des choix vis-à-vis de la localisation des points de suivi, de la fréquence des campagnes, des substances et paramètres suivis (extraits en annexe) ;
- informations quant à la réalisation des forages à l'aide du rapport de sondage, et notamment de la profondeur et de l'équipement (position des crépines) des forages ;
- information quant au choix du protocole d'échantillonnage ;
- information sur l'évolution de la surveillance (ouvrages dégradés).

7.2.3 - Mise à jour du contexte du site

Sont reportées ici toutes les informations pouvant avoir une incidence sur la pertinence du suivi actuel et/ou permettant l'interprétation des données de surveillance :

- ajout d'une famille de substances dans les procédés, stockage de déchets sur site ;
- travaux d'extension, d'aménagements ou autres réalisés sur site ;
- la situation de la ou des source(s) de pollution (selon le cas : potentielle, présumée, avérée) ;
- vieillissement d'un confinement éventuel, sa durée de vie attendue et l'évolution de la source en relation avec cette durée de vie,
- accidents/incidents s'étant produit sur site ou au niveau de sites industriel voisins ;
- enjeux ou captage industriel qui ne sont plus à considérer ou inversement, etc.

La description du suivi en cours s'appuie sur une carte comprenant une échelle graphique et le Nord.

Cf. Rapport de suivi

7.2.4 - Synthèse chronologique des événements survenus depuis la mise en place de la surveillance

Une synthèse chronologique des événements survenus depuis la mise en place de la surveillance est proposée. Cette synthèse souligne les événements particuliers tels que :

- des travaux ;
- l'arrêt ou le démarrage de pompages ;
- des changements de prestataires pour les mesures et l'échantillonnage ou les analyses des changements de protocoles pour l'échantillonnage ou l'analyse.

Tous les éléments susceptibles d'expliquer des anomalies observées dans les résultats du suivi et éventuellement des modifications de tendance, dépassement de critères de gestion sont à intégrer. Cette illustration peut ensuite être reprise dans le cadre de futurs rapports de suivi.

		Aménagements	Intervention terrain	Laboratoire d'analyse	Modification paramètres substances	Modification fréquence	Modification ouvrage	Modification outils et protocoles
2010	Campagne 1 _ février		Prestataire 1	Prestataire 1			Mise en place de XX	Purge à la pompe immergée puis bailer
	Campagne 2 _ mai				Ajout de la substance XX			
	Campagne 3 _ septembre	Excavation de la zone XX					Ajout XX	
	Campagne 4 _ décembre							
2011	Campagne 1 _ mars				Arrêt substance XX			
	Campagne 2 _ mai	Aménagement XX					XX supprimé car aménagement de XX	
	Campagne 3 _ octobre					Trimestrielle à semestrielle		

2016	Campagne 1 _ mars		Prestataire 2					
	Campagne 2 _ octobre							
2017	Campagne 1 _ mars			Prestataire 2				Purge à la pompe immergée puis prélèvement avec la même pompe (débit diminué)
	Campagne 2 _ octobre							

Tableau 8 : Tableau reprenant les évolutions de la surveillance (les modifications survenues).



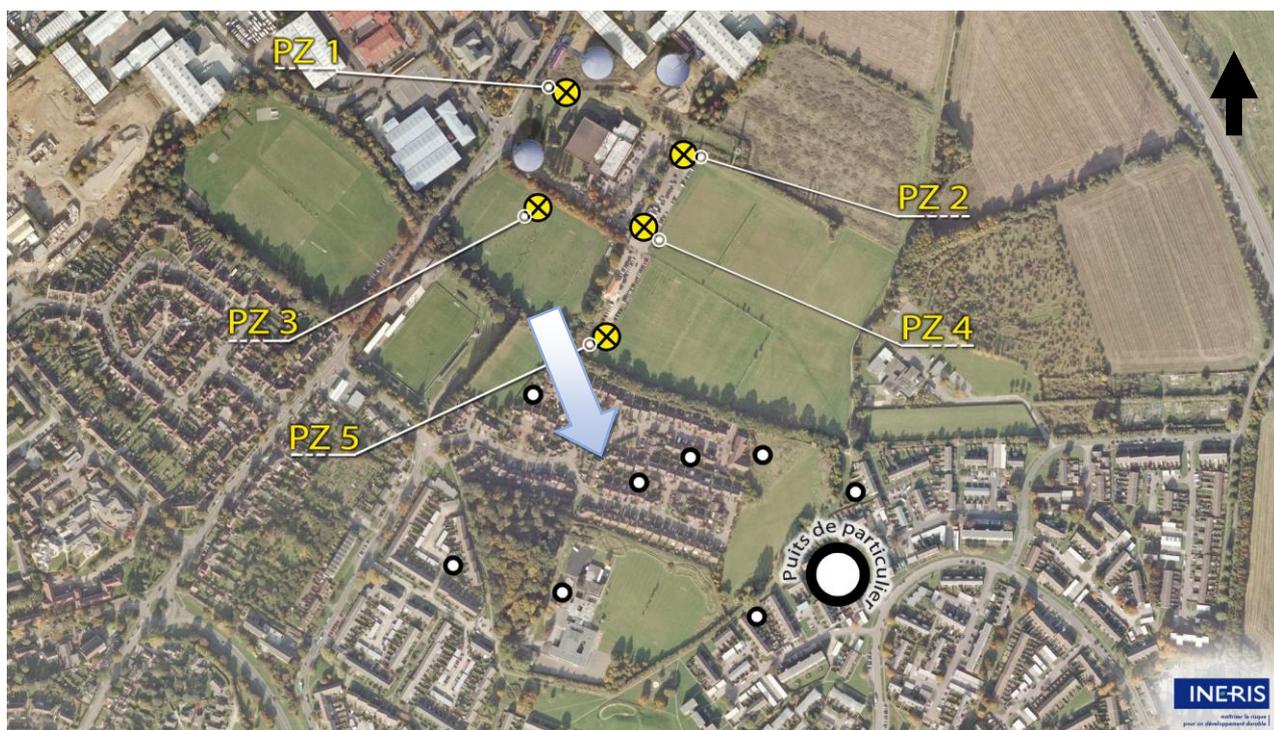
Bonne pratique :

Lorsque le protocole d'échantillonnage est modifié (exemple : abandon de l'échantillonnage à l'aide d'un bailer et utilisation d'une pompe immergée ; changement de laboratoire avec préparation de l'échantillon différente, etc.), l'information doit clairement apparaître dans les rapports de suivi ultérieurs et également dans le rapport de bilan. Il convient, dès la première campagne où la modification est appliquée, de réaliser l'échantillonnage en doublon sur tout ou partie du réseau afin de mettre en exergue un éventuel écart. Cette démarche est éventuellement à poursuivre sur plusieurs campagnes selon les premiers résultats, le contexte et l'enjeu associé à la surveillance du milieu eau souterraine.

7.2.5 - Situation actuelle

En accord avec les éléments de la synthèse qui précède, sont indiqués, sur une carte et/ou un tableau, afin de présenter l'état actuel :

- les points de suivi ;
- la direction/sens d'écoulement (plusieurs cartes si nécessaire pour intégrer des variations saisonnières et la présence de plusieurs nappes surveillées) ;
- la situation mise à jour des enjeux.



100 m

Figure 29 : Surveillance actuelle des eaux souterraines (sens d'écoulement donné par la flèche).

Les protocoles de prélèvement sont synthétisés dans un tableau qui reprend : le type de purge éventuellement pratiquée, sa profondeur et son débit, la position et le mode d'échantillonnage (avec également matériel utilisé et débit appliqué s'il s'agit d'une pompe).

Cf. Rapport de suivi



Évolution des pratiques :

Il peut être nécessaire de vérifier l'état des ouvrages. Cette étape s'appuie notamment sur une mesure du rabattement en pompage et son évolution dans le temps, voire sur une inspection caméra (ces informations sont reportées sur les fiches de prélèvement, cf. norme NF X 31-615). Il est à noter qu'un ouvrage de suivi a une durée de vie limitée et qu'un état des lieux régulier et une inspection caméra tous les 8 ans sont recommandés (deux bilans quadriennaux).

*Mesures initiales pouvant être recommandées sur un piézomètre afin de juger de son état au fil du temps :
mesure profondeur (sédimentation) ;
piézométrie (en m NGF) ;
diagraphie (pH, T, Eh, conductivité) ;
« essai de pompage » (mesure du rabattement/débit).*

Synthèse des forages de suivi et principales caractéristiques

Les caractéristiques et informations quant à l'état des forages permettant d'accéder aux eaux souterraines sont importantes. L'illustration de ces éléments apporte une vision des points de suivi, de la qualité de l'information qui en est issue. Un exemple est donné ci-après.

Les informations reportées dans ce cadre sont à moduler selon le cas mais *a minima* sont reportées, les altitudes en m NGF, la position des crépines, l'état actuel et la situation de l'ouvrage (amont hydraulique, etc.). Cette illustration est enrichie selon le cas par des niveaux piézométriques, les niveaux échantillonnés, la présence d'obstacles (obstruant totalement ou partiellement le tubage, cf. cas des Pz5 et Pz7), etc. La présence de cette illustration ne dédouane pas, en particulier dans le cadre d'un bilan, de l'obligation de fournir en annexe les informations obtenues de la part des foreurs.

Remarque : il arrive parfois que les crépines aient été réalisées manuellement à partir de tubes pleins (pratique à proscrire pour assurer la cohérence de l'ouverture de la crépine). Toutefois, si cette pratique est constatée sur la base d'une inspection caméra par exemple, cette observation doit être inscrite pour en assurer la traçabilité.

Cette synthèse peut également être reprise dans le cadre de futurs rapports de suivi.

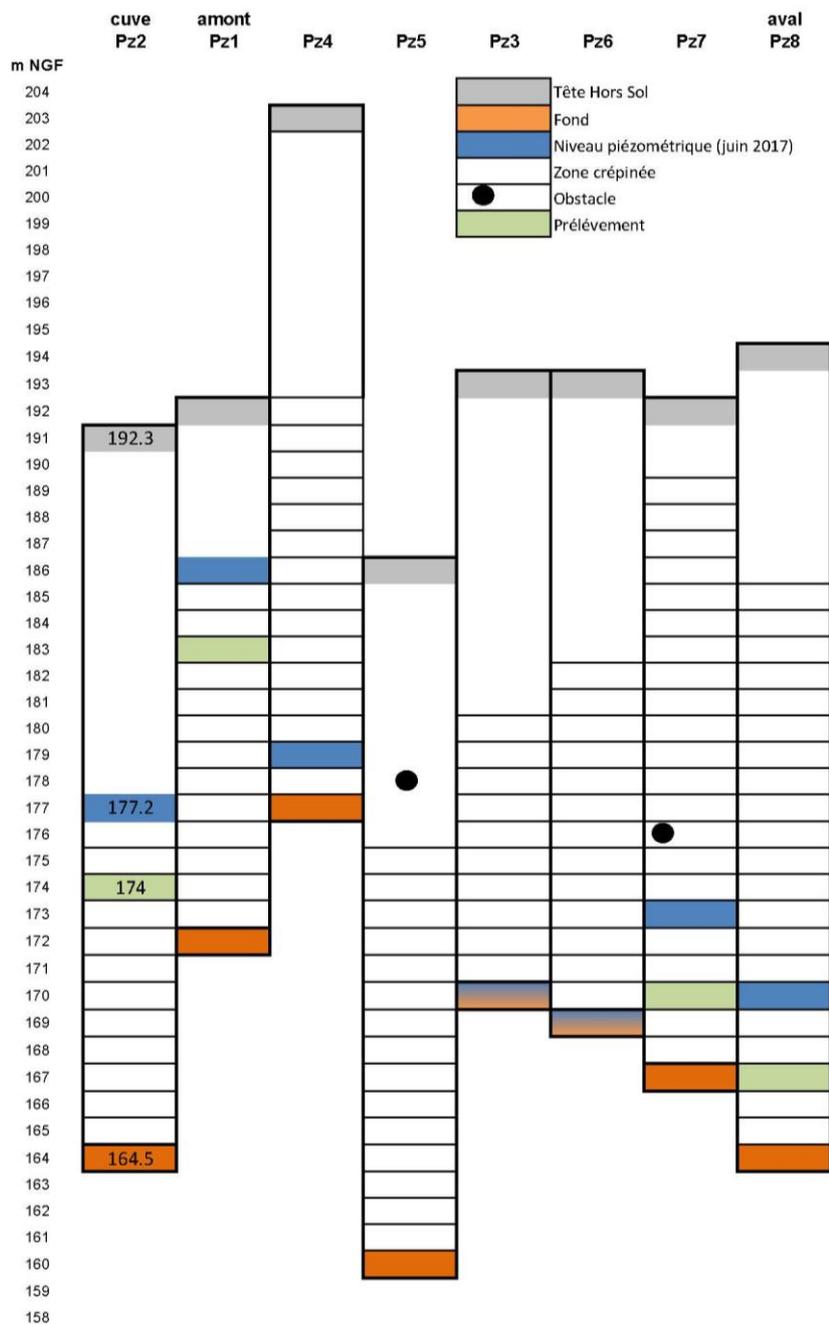


Figure 30 : Illustration reprenant les caractéristiques des forages intégrés au réseau de surveillance.

Évolution des pratiques :

Lors d'un premier bilan, pour vérifier la pertinence des points de suivi, il convient de rechercher et d'analyser les informations suivantes à partir des rapports de forages :

- *l'argumentaire justifiant les choix d'équipement retenus (diamètre, zone crépinée, massif filtrant, etc.) ;*
- *un descriptif du matériel (foreuse, pompes, outils divers, compresseur, etc.) ;*
- *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, etc.) ;*
- *les diverses phases de réalisation du forage ;*
- *le mode de développement du forage (mise à l'eau claire, type de pompage, éventuels traitements à l'acide ou à l'hexamétaphosphate, etc.).*



7.2.6 - Schéma conceptuel

Au regard des éléments de ce chapitre, les relations entre le triptyque Source(s) - Transfert - Enjeux sont illustrées via un schéma conceptuel actualisé. Comme indiqué, le précédent schéma peut être intégré au chapitre 1 afin de mettre en avant des évolutions.

7.3 - Bilan de la surveillance des eaux souterraines

*Objet : ce chapitre se base sur ce qui précède pour dresser un bilan sur le suivi mené **depuis plusieurs années et intégrant l'ensemble des informations disponibles, il doit conduire à proposer si besoin des évolutions** en s'appuyant sur des éléments factuels issus du chapitre précédent (abandon d'un captage d'alimentation en eau potable (AEP), ouvrage non adapté, etc.).*

Ce chapitre présente l'interprétation, depuis le début du suivi, en intégrant les facteurs explicatifs anthropiques et/ou naturels de :

- l'évolution des écoulements ;
- l'évolution de la qualité des eaux souterraines.

Tout bilan doit conduire à un questionnement sur le suivi actuel.

À partir de là, une optimisation peut être jugée nécessaire et conduite selon deux approches : une évaluation « qualitative » ;

- une évaluation « quantitative » ; complémentaire à l'évaluation « qualitative », elle peut permettre de justifier les propositions d'évolution du suivi tout en se basant sur des tests statistiques ;
- évaluation temporelle (recherche de tendances, etc.) ;
- évaluation spatiale (recherche de redondance entre ouvrages, d'ouvrages manquants, etc.).

Ces tests permettent de traiter notamment les sites avec une quantité de données importante et sans a priori.

Contrairement au rapport de suivi, le bilan intègre donc l'analyse des évolutions observées sur l'ensemble de la chronique à disposition ou autrement dit depuis le début de la surveillance.

Comme indiqué, l'interprétation des données acquises sur le long terme se base, comme dans le cadre d'un rapport de suivi, sur la recherche d'événements « anthropiques » ou « naturels » permettant d'expliquer une observation telle que :

- une évolution « anormale », l'inversion de tendance ;
- un dépassement d'un critère de gestion (concentrations amont, valeur réglementaire par exemple).

Dans ce cas, la recherche de l'origine de ce constat porte sur :

- les événements « anthropiques » survenus (changement de protocole, travaux, mise en place ou arrêt d'un pompage, etc.) ;

- les événements « naturels » survenus (précipitations très élevées ou inversement, atténuation naturelle d'une pollution résiduelle, etc.).

Les illustrations qui suivent apportent des exemples d'évolutions liées à l'Atténuation Naturelle (AN) des polluants (exemple 1) et à la mise en solution d'une source présente en zone non saturée d'un aquifère lors de la remontée du niveau piézométrique (exemple 2).

Exemple 1

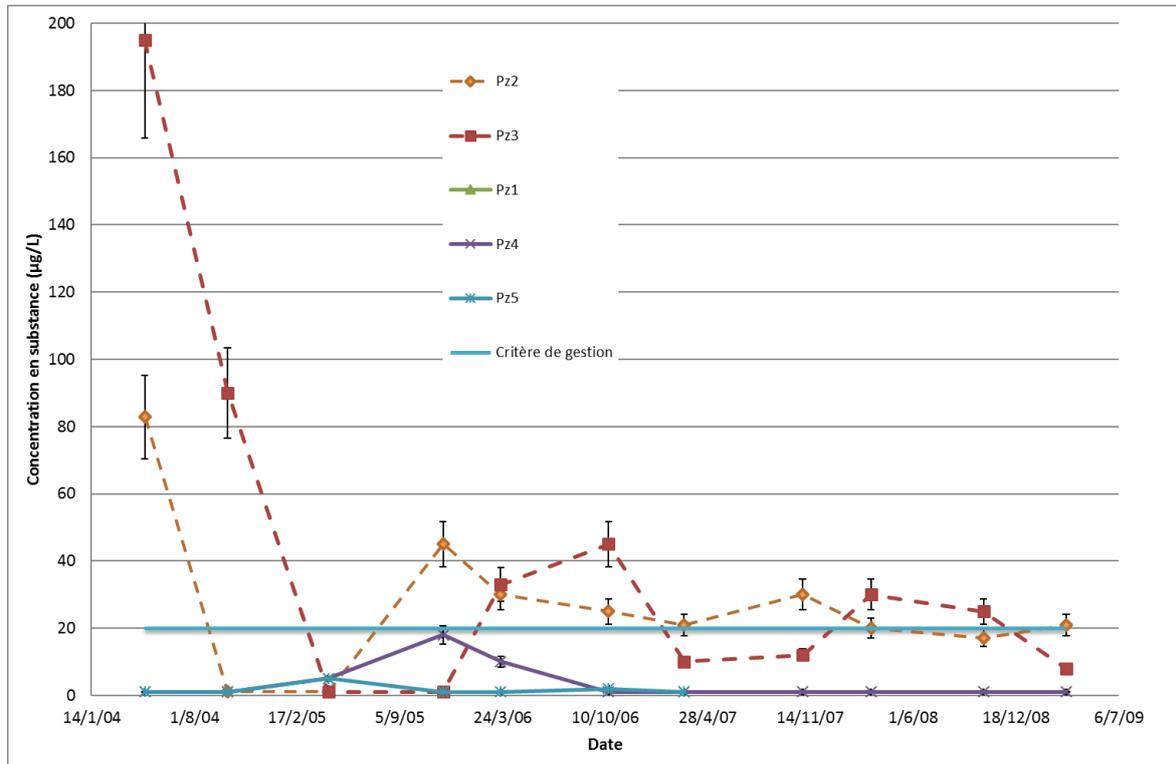


Figure 31 : Évolution des concentrations observées sur l'aquifère XX entre 2004 et 2008 pour la substance X biodégradable.

Les concentrations diminuent nettement après le traitement de la source de pollution (précédente action de maîtrise de la source). Depuis 2005 et après une phase de rebond (augmentation), les concentrations ont tendance à de nouveau baisser entre 2005 et 2009. Cette observation est associée à des indices de biodégradation (suivi pH, Eh, oxygène dissous, nitrates, etc.) : l'AN du polluant attendue sur ce site est bien effective (à démontrer via d'autres éléments dans le cadre d'une démarche spécifique).

Remarque : la piézométrie est étudiée en parallèle sur d'autres graphiques.

Exemple 2

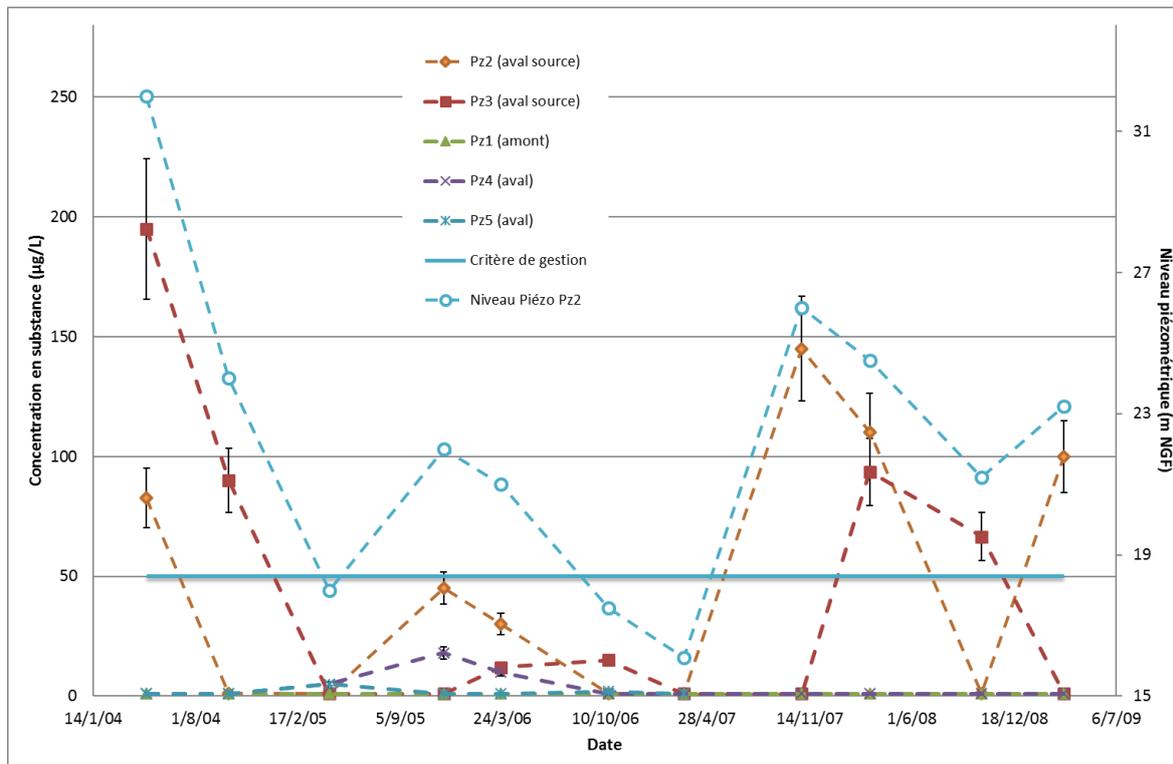


Figure 32 : Évolution conjointe de la concentration observée en différents forages dans l'aquifère XX entre 2004 et 2008 pour la substance X et de la piézométrie moyenne sur le site.

Un niveau de la nappe élevé (sur le site, Pz2 représentatif) correspond à une augmentation des concentrations en aval de la zone source (Pz2 et Pz3). Cette observation est faite sur une période de 2004 à 2008 : une remobilisation de la pollution est observée lors de chaque remontée de la nappe.

Remarque : si sur un site les piézométries sont très différenciées selon les ouvrages, il faudra présenter un graphique reprenant les niveaux mesurés au cours du temps sur tous les ouvrages.

Exemples de rédaction :



- Après enquête auprès de l'exploitant, le pic de concentration en XX observé lors de la campagne de XX peut s'expliquer par une perte lors du remplissage de la cuve de XX le XX.
- Les concentrations mesurées sont corrélées au niveau de la nappe, ceci indique vraisemblablement qu'une partie de la pollution se situe dans la zone de battement de la nappe.
- Les faibles piézométries mesurées sur les 4 dernières années s'expliquent par la faible pluviométrie sur cette période. La baisse des concentrations associée peut s'expliquer par une source de pollution qui se retrouve alors hors d'eau et/ou par une plus faible lixiviation par les eaux météoriques des polluants persistants en zone non saturée.

Selon le cas, une interprétation des données physico-chimiques (T, pH, Eh, Conductivité, oxygène dissous) est également réalisée pour mettre en avant un phénomène, étayer l'interprétation.

7.3.1 - Évaluation qualitative du suivi

L'évaluation qualitative est donc à mener dans tous les cas pour réaliser un bilan. Elle repose sur des questions dont les réponses sont apportées au regard des informations qui précèdent. Ce questionnement permet de mettre en exergue certains éléments du suivi qui conduisent à argumenter quant à la nécessité d'une évolution de la surveillance, les points à considérer dans ce cadre (par exemple la fréquence).

Une liste de questions est proposée ci-après. Selon les réponses, des possibilités d'évolutions de la surveillance sont à envisager.

		Pz1	Pz2	...
Conservation	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, utile pour suivre et améliorer la compréhension des évolutions de concentrations ou de niveaux d'eau observés dans le temps	Oui	Oui	Oui
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, utile pour définir l'extension du panache, la sortie du site	Non	Oui	Oui
	Utile afin de suivre la qualité des eaux en amont ou au niveau d'un enjeu potentiel	Non	Non	Non
	Utile pour suivre une nappe sous-jacente susceptible de voir sa qualité dégradée	Non	Non	Non
	Utile pour définir la qualité des eaux souterraines en amont hydraulique du site, hors zone d'influence	Oui	Non	Oui
Suppression	Apporte des informations redondantes avec un autre forage situé à proximité, depuis plusieurs campagne (a minima depuis 4 ans)	Non	Non	Non
	À sec ou très rapidement dénoyé (a minima depuis 4 ans) et la situation ne devrait pas évoluer dans les prochaines années	Non	Non	Non
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, concentrations inférieures aux valeurs seuils prédéfinies depuis plusieurs campagnes (a minima depuis 4 ans)	Non	Non	Non
	Non adapté aux exigences de la surveillance (caractéristiques inadaptées, par exemple profondeur, diamètre, crépine...)	Non	Non	Non
	L'état du forage s'est dégradé, il n'est plus adapté (tubage détérioré, colmatage des crépines, ...)	Non	Oui	Non
Création	Conditions hydrodynamiques modifiées, direction/sens d'écoulement ont changé (origine naturelle, anthropique)	à commenter		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, l'analyse des résultats du suivi montre sur plusieurs campagnes que la pollution migre ou va migrer hors site ou hors de la zone couverte par le suivi actuel	à commenter		
	Dysfonctionnement observé de manière récurrente (vandalisme, destruction involontaire), un ou plusieurs forages ne sont pas ou plus adaptés aux exigences de la surveillance	à commenter		

Tableau 9 : Questions à se poser pour faire évoluer le nombre d'ouvrages de surveillance.

		Pz1	Pz2	...
Augmentation	Les conditions hydrodynamiques ont été modifiées et les direction/sens d'écoulement ont changé pour des raisons naturelles ou anthropiques (exemple : augmentation pérenne de la vitesse d'écoulement liée à la mise en activité d'un pompage industriel)	Non		
	Une modification des usages dans la zone d'influence du site, un nouvel enjeu est à considérer (exemple : captage d'alimentation ou usage résidentiel avec puits privés en aval hydraulique)	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, le forage est situé à proximité de la zone source où des travaux de réhabilitation vont être engagés	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée,, des variations significatives ou contradictoires de concentrations et/ou de piézométrie sont observées et ne peuvent être expliquées	Non		
Diminution	Les conditions hydrodynamiques ont été modifiées et les directions/sens d'écoulements ont changés pour des raisons naturelles ou anthropiques (exemple : diminution pérenne de la vitesse d'écoulement liée à l'arrêt définitif d'un pompage industriel)	Non		
	Une modification des usages dans la zone d'influence du site, un enjeu préexistant n'est plus à considérer (exemple : un champ captant d'alimentation en eau est abandonné de façon pérenne)	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, le forage est éloigné ou en amont de la zone source qui a été traitée, traitement dont l'efficacité est suivie par ailleurs via d'autres forages	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, les concentrations ne varient pas significativement, ou les concentrations sont inférieures aux valeurs seuils prédéfinies depuis plusieurs années (a minima depuis 4 ans)	Oui		

Tableau 10 : Questions à se poser pour faire évoluer la fréquence du suivi.

		Pz1	Pz2	...
Augmentation	Une pollution par des polluants non recherchés initialement est mise en évidence et un diagnostic complémentaire est engagé	Non		
	Ajout du suivi des produits de dégradation non considérés lors de la définition initiale du réseau	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée et d'une dépollution par injection <i>in situ</i> , la surveillance des produits injectés est engagée	Non		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, ajout du suivi des accepteurs et donneurs d'électrons pertinents dans le cadre de l'évaluation de l'atténuation	Non		
Diminution	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, les concentrations ne varient pas significativement, ou les concentrations sont inférieures aux valeurs seuils prédéfinies depuis plusieurs années (a minima depuis 4 ans)	Oui		
	Dans le cas d'un suivi d'une pollution avérée, le traitement d'une source caractérisée peut entraîner la disparition, la non apparition ou la stabilisation de certains composés	Non		
	Redondance entre informations, comportement de familles de polluants similaires, analyse de substances particulières, screening	Non		

Tableau 11 : Questions à se poser pour faire évoluer le nombre de paramètres/substances suivis.



Point d'attention :

Deux exemples d'évolutions qui peuvent être proposées suite à cette évaluation :

L'abandon d'un AEP conduit à proposer l'abandon du piézomètre d'alerte destiné à contrôler un éventuel impact sur cet enjeu.

Une crépine localisée sous le niveau piézométrique (ou de la nappe) ne permet pas de suivre des produits dits « flottants » ainsi que l'épaisseur de cette phase surnageante (cas des BTEX en phase pure : LNAPL). Si tel était son objectif, le piézomètre doit être remplacé.

7.3.2 - Évaluation quantitative

Cette approche quantitative nécessite un minimum de données (nombre de forages, nombres de campagnes) pour être menée, elle est complémentaire de l'analyse qualitative.

L'évaluation quantitative d'une tendance à partir des résultats disponibles peut s'appuyer sur l'utilisation d'outils statistiques (« étude des chroniques ») dédiés à l'analyse des tendances en un forage.

L'évaluation quantitative de la redondance ou du manque de forages peut être menée à l'aide d'outils géostatistiques.



Pour aller plus loin :

L'outil HYPE permet l'étude statistique des chroniques d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Il intègre les méthodes statistiques les plus puissantes et robustes dans ce domaine spécifique. Informations et téléchargement sur le site du BRGM.

7.4 - Recommandations et perspectives

Ce dernier chapitre reprend le cadre et l'objectif de la surveillance et donne une synthèse des conclusions en termes d'évolution : nécessaires ou non, et si oui quelle(s) recommandation(s) au regard de l'évaluation qualitative voire quantitative menée.



Exemples de rédaction :

Abandon voire remplacement de piézomètres :

Pz4 – abandon sans remplacement

Texte : Pourquoi et où ?

Pz10 – abandon et remplacement

Texte : Pourquoi et où ?

...

Ajout d'un piézomètre :

Texte : Pourquoi et où ?



Point d'attention :

Une demande d'évolution de la surveillance à la baisse sans justification aucune et alors que les concentrations mesurées ne montrent pas de tendance à la baisse et sont supérieures aux critères de gestion retenus ne peut être acceptée.

8 - Annexe

La surveillance du milieu eau souterraine peut s'inscrire dans différents contextes de gestion d'une ICPE, et ceci tout au long de sa « vie » :

- la surveillance préventive mise en place lors :
 - de la mise en fonctionnement de certaines installations pour le suivi de l'état des milieux (cas des installations soumises aux dispositions de l'article R. 515-60-f du code de l'environnement prévoyant une surveillance périodique des eaux souterraines) ;
 - de la surveillance en cours d'activité (article 65 de l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié) ;
- la surveillance menée ou étendue suite à un incident ou à un accident récent ;
- la surveillance liée à la découverte d'une pollution (par la mise en œuvre de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués du 19 avril 2017) :
 - au cours de la vie de l'installation ;
 - lors de la cessation d'activité (mise en application des articles R. 512-39-1 et suivants dans le cas d'ICPE relevant de l'autorisation).

La surveillance du milieu « eau souterraine » est à la charge du pétitionnaire dans le cadre d'une demande d'autorisation environnementale, de l'exploitant en cours d'activité, de l'ancien exploitant lors d'une cessation d'activité ou du tiers demandeur dans le cadre d'une réhabilitation. Elle est prescrite par un Arrêté Préfectoral (AP) ou un Arrêté Préfectoral Complémentaire (APC).



Figure 33 : Contextes de gestion d'une ICPE et surveillance du milieu eau souterraine.

Dans le cas d'une demande d'autorisation environnementale, l'état initial, voire le rapport de base, devrait pouvoir s'appuyer sur plusieurs campagnes de suivi selon la connaissance du contexte naturel (géologique et hydrogéologique en particulier) du site d'implantation de la future activité. Les conditions naturelles peuvent en effet varier au cours d'un même cycle hydrologique et conduire à des modifications de direction, sens d'écoulement durant l'année.



Pour aller plus loin :
Portail Légifrance
<https://www.legifrance.gouv.fr/>
Portail Aida
<https://aida.ineris.fr/>

Lien avec GIDAF

La réglementation relative aux installations classées soumet certains exploitants à une autosurveillance. L'arrêté ministériel du 28 avril 2014 fixe l'obligation d'utiliser l'application GIDAF dès lors qu'un arrêté (préfectoral ou ministériel) fixe une obligation de transmission à l'Inspection d'une donnée de surveillance. La déclaration via GIDAF ne remplace pas la rédaction des rapports de suivi et de bilan, toutefois ces derniers peuvent être joints via l'application GIDAF à l'Inspection en remplacement d'un envoi « papier ».

Les informations que l'on doit trouver dans les rapports de suivi / de bilan en lien avec GIDAF sont les suivants :

- l'arrêté préfectoral qui prescrit l'autosurveillance
- pour chaque point de surveillance :
 - le type d'ouvrage
 - la position hydraulique et la date de mise à jour de la position hydraulique
 - le code BSS
 - le Lambert 2X/Y
- pour chaque site de mesure :
 - la profondeur et la profondeur minimale et maximale s'il y a plusieurs sites de mesures
 - le libellé du site
 - le support analysé
 - les informations sur le prélèvement (support, méthode, opérateur, date et heure, débit de soutirage, profondeur de soutirage, volume pompé, volume purgé, commentaire)
 - les informations sur l'analyse (méthode, remarque, lieu, qualification, statut de la mesure et code SIRET du laboratoire)

Les enjeux liés à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Comme développé dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués du 19 avril 2017, dans le domaine de la protection du milieu eau (eau de surface et eau souterraine), les exigences réglementaires proviennent pour une part importante de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 (directive 2000/60) qui vise à donner une cohérence à l'ensemble de la législation nationale en lien avec la politique communautaire dans ce domaine. Elle définit un cadre pour la gestion et la protection des eaux par grand bassin hydrographique au plan européen avec une perspective de développement durable.

La DCE fixe des objectifs pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (eaux douces et eaux côtières) et pour les eaux souterraines. L'objectif général est d'atteindre le bon état des différents milieux sur tout le territoire européen.

Parmi les objectifs environnementaux cités dans l'article 4 de la DCE (paragraphe 1), on peut citer les suivants :

- « les États membres mettent en œuvre les mesures nécessaires pour prévenir ou limiter le rejet de polluants dans les eaux souterraines et pour prévenir la détérioration de l'état de toutes les masses d'eau souterraines... » ;
- « les États membres mettent en œuvre les mesures nécessaires pour inverser toute tendance à la hausse, significative et durable, de la concentration de tout polluant résultant de l'impact de l'activité humaine afin de réduire progressivement la pollution des eaux souterraines. »

L'échéance pour la réalisation des objectifs est fixée à l'année 2027.

Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) définissent les orientations nécessaires pour une gestion équilibrée de la ressource en eau, intégrant par ailleurs les mesures nécessaires à la préservation des espaces naturels et de la biodiversité.

Selon la Directive Cadre sur l'Eau, la définition du bon état chimique des masses d'eau souterraine est basée sur le respect des objectifs environnementaux dans les milieux associés aux eaux souterraines et sur le maintien des usages humains et de la production d'eau potable en particulier.

Le point 2.4.5 de l'annexe V de la DCE précise que « les résultats des différents points de surveillance dans une masse d'eau souterraine sont réunis pour la masse tout entière ». Pour qu'une masse d'eau soit en bon état, il faut :

- « que la valeur moyenne des résultats de la surveillance à chaque point de la masse ou du groupe de masses d'eau souterraine soit calculée,
- que, conformément à l'article 17, ces valeurs moyennes soient utilisées pour démontrer le respect du bon état chimique des eaux souterraines. »

Ces différents articles illustrent bien que le respect des normes de qualité et valeurs seuils doit être vérifié à l'échelle de la masse d'eau. Des moyennes géographiques et temporelles à l'échelle de la masse d'eau doivent être considérées pour en vérifier le bon état. Ces articles montrent également les possibilités de dérogations mises à disposition du gestionnaire de bassin en cas de dépassements locaux de valeurs qui permettent une gestion à l'échelle du bassin.

Contexte réglementaire associé à la transposition de la DCE

La loi n° 2004-338 du 21 avril 2004 porte la transposition de la directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Ce contexte est également développé de manière plus approfondie dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués du 19 avril 2017.

Compte tenu de leur intérêt dans le cadre de la surveillance des effets de l'activité d'une ICPE sur le milieu eau souterraine et de la gestion des sites pollués, les textes suivants sont mentionnés :

- Arrêté du 17 décembre 2008 modifié et sa circulaire d'application du 23 octobre 2012 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état

chimique des eaux souterraines ; Les valeurs seuils (VS) appliquées aujourd'hui sont inscrites dans cette circulaire ;

- Arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines. Ce document fixe la liste des substances dangereuses mentionnées à l'article R. 212-9-1 du code de l'environnement relatif à la prévention de l'introduction de toute substance dangereuse dans les eaux souterraines. Il permet au préfet coordonnateur de bassin de fixer des dispositions plus strictes d'interdiction de substances dangereuses ou de limitation de l'introduction de polluants non dangereux lorsque cela est nécessaire pour atteindre le bon état des eaux prévu au IV de l'article L. 212-1 du code de l'environnement. Selon l'article 4 de cet arrêté, « Le programme de mesures (...) comprend toutes les mesures destinées à limiter l'introduction [des] polluants dans les eaux souterraines, de telle sorte qu'elle n'entraîne pas de dégradation ou de tendances à la hausse significatives et durables des concentrations de polluants dans les eaux souterraines. Ces mesures tiennent compte des meilleures pratiques établies, notamment des meilleures pratiques environnementales et des meilleures techniques disponibles » ;
- Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Cet arrêté comprend les Normes de Qualité Environnementales (NQE) (concentrations maximales admissibles et de valeurs moyennes annuelles, comme l'exige la DCE) ;
- Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement ;
- Circulaire du 23 octobre 2012 relative à l'application de l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines. Cette circulaire précise que les données qui font référence à des sites d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ne permettent pas de « fournir une image cohérente et globale de l'état chimique des eaux souterraines », ni de « fournir des données de contrôles représentatives » car il s'agit d'une pollution localisée qui n'est pas représentative de l'ensemble de la masse d'eau.

Ainsi, à l'échelle d'un site, ce sont les résultats des mesures hors influence du site (en amont) qui vont permettre de statuer sur la contribution du site à la dégradation des milieux pour les substances liées à l'activité actuelle ou historique menée sur le site.

En cas de constats d'anomalie sur ces milieux et si les diagnostics montrent que la zone étudiée est à l'origine des dépassements, il convient alors de poursuivre le processus de gestion en lien avec les autorités administratives compétentes.

Si la zone étudiée n'est pas à l'origine des anomalies constatées, une information sur le dépassement des valeurs de références doit être fournie aux autorités administratives compétentes (gestionnaire du milieu concerné).

**Ministère de la Transition
écologique et solidaire**
92055 La Défense CEDEX
Tél. : 01 40 81 21 22



www.ecologique-solidaire.gouv.fr