



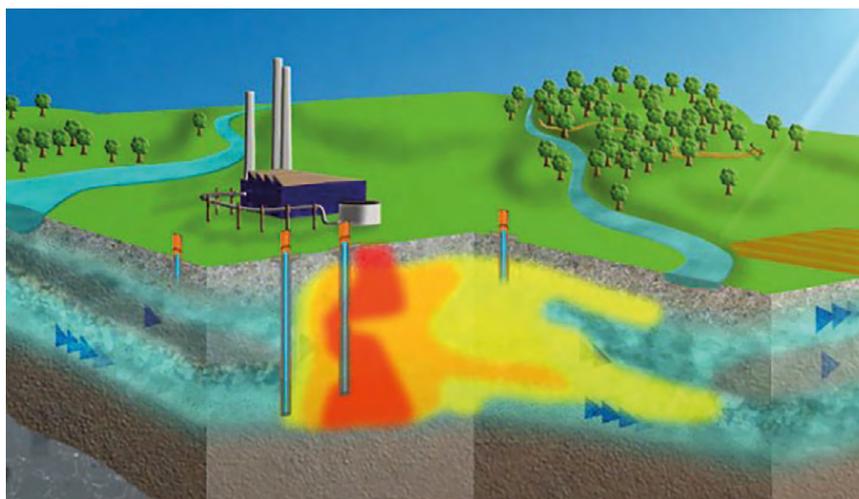
CARACTÉRISATION CHIMIQUE HAUTE RÉOLUTION DE LA NAPPE

OUTILS POUR RÉALISER DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU MULTINIVEAUX

DESCRIPTION DU PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

Du fait de l'hétérogénéité du sous-sol, la **répartition des polluants** dans la nappe peut présenter des variations verticales pour de nombreuses raisons : épaisseur de la nappe de plusieurs mètres, niveaux plus ou moins

perméables, présence de polluants flottants ou plongeants, pollution ancienne, battement de la nappe... On parle d'une **stratification du panache de pollution**.



© INERIS, 2021

Panache de pollution hétérogène selon la profondeur.

Afin de connaître les distributions de polluants de manière précise selon la profondeur, il est nécessaire de **discrétiser verticalement les mesures** : on parle de **caractérisation chimique haute résolution de la nappe**. Celle-ci peut être obtenue via :

- La mise en place d'**ouvrages multiniveaux** (sélectif, en flûte de pan ou forages à plusieurs tubes) qui permettent de réaliser des prélèvements avec du matériel de prélèvement classique, à des profondeurs précises correspondant aux profondeurs des crépines des ouvrages.
- Les techniques de **direct push** qui permettent de réaliser des mesures directement dans le sol, à des profondeurs précises. Ces techniques ont l'avantage de s'affranchir de la mise en place d'ouvrages permanents mais ne sont pas applicables à toutes les lithologies comme des sols trop indurés et ne donnent accès à l'état du milieu qu'à un instant donné. Elles peuvent être utiles pour définir le design d'ouvrages multiniveaux.
- L'utilisation d'**outils spécifiques** qui permettent de **sélectionner une profondeur particulière** dans des ouvrages existants disposant de crépines parfois longues.

Ces outils peuvent être regroupés selon trois types de méthodes :

- les prélèvements d'eau par pompages sélectifs (actifs),
- les prélèvements d'eau sans pompage (passifs),
- les échantillonneurs passifs (instantanés, à l'équilibre ou intégratifs) dont certains permettent la mesure du flux de polluant.

Cette fiche ne détaille que certains outils de prélèvements multiniveaux qui permettent de tirer le meilleur parti des forages existants et peuvent mettre en évidence une hétérogénéité verticale de la chimie de la nappe.

D'autres outils donnent accès à l'hétérogénéité des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (voir fiche caractérisation hydrodynamique haute résolution de la nappe). La **combinaison des outils de caractérisation chimique haute résolution de la nappe avec des outils pour mesurer les paramètres hydrodynamiques de la nappe** permet d'obtenir le **flux de polluant** et donc de mieux appréhender les pollutions actuelles, futures ou potentielles.

CARACTÉRISATION CHIMIQUE HAUTE RÉOLUTION DE LA NAPPE

CONTEXTE D'UTILISATION

Dans quel contexte ?

Les outils multiniveaux peuvent être utilisés dans des **ouvrages existants** et crépinés sur toute leur hauteur en zone saturée, **qui sont déjà présents sur site**. Ils sont utilisés pour connaître les **horizons les plus chargés** et éventuellement les **flux de polluant** et sont particulièrement utiles **lorsque la nappe présente une stratification des concentrations** (souvent le cas avec des polluants plongeants ou flottants, en cas d'épaisseur de nappe importante ou de zone saturée hétérogène ou dans le cas de pollution historique).

Les limites de détection obtenues dépendent des outils et sont fonction du polluant et de la technique d'analyse utilisée en laboratoire. L'information fournie est quantitative et plus précise verticalement qu'un prélèvement classique (pompe à un niveau dans l'ouvrage).

À quelle étape ?

La caractérisation chimique haute résolution de la nappe

est utile à chaque étape de gestion d'un site pollué.

Les prélèvements multiniveaux sont utilisés lors du **diagnostic** afin d'évaluer l'extension verticale du panache de pollution dans les eaux souterraines avec une résolution choisie.

Lors du **plan de gestion**, la caractérisation chimique haute résolution affine le choix des zones à traiter en priorité et donc le type de traitement à sélectionner.

Lors du **plan de conception des travaux (PCT)**, les prélèvements multiniveaux permettent un suivi de l'essai de faisabilité précis verticalement et lors du traitement, ils fournissent une aide à l'injection du produit réactif ou permettent de vérifier l'efficacité et la pérennité du **traitement** en 3D.

La caractérisation chimique verticale aide enfin à définir le protocole de **surveillance** des eaux souterraines (réseau de mesure) et notamment la profondeur des prélèvements à retenir dans le cadre d'une surveillance en contexte de pollution avérée.

POLLUANTS CONCERNÉS

Les outils de prélèvements multiniveaux s'utilisent pour tous les polluants en phase dissoute et certains outils permettent le prélèvement de phase pure. Ils sont particulièrement intéressants à mettre en œuvre pour les substances ayant des

densités supérieures (DNAPL) et/ou inférieures à celle de l'eau (LNAPL) car elles ont souvent des distributions verticales contrastées.

MATÉRIEL NÉCESSAIRE

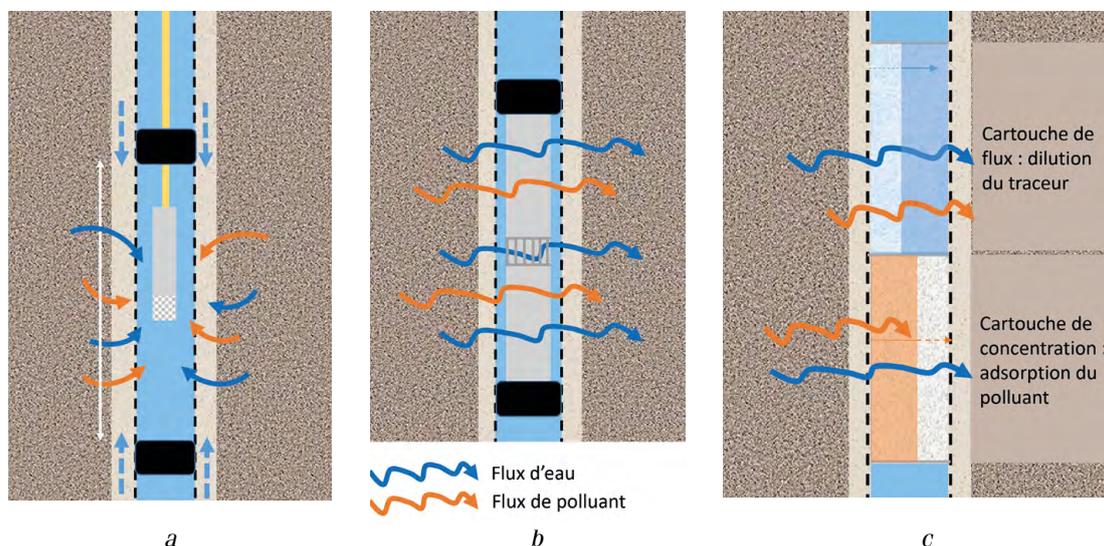
Le matériel à déployer est différent en fonction de l'outil retenu pour la réalisation des prélèvements.

Les outils basés sur des **prélèvements multiniveaux par pompage sélectif** (actifs) nécessitent **une pompe immergée** avec une alimentation électrique et **deux obturateurs** reliés à un manomètre et un système de gonflage.

L'outil basé sur un **prélèvement passif multiniveaux** (sans pompage) présente un **système d'échantillonnage**

(cellules entre obturateurs ou préleveur sous-pression) et deux obturateurs reliés à un manomètre et un tube d'amenée d'air pour leur gonflage.

Enfin, les outils basés sur les **échantillonneurs passifs intégratifs** nécessitent des **cartouches** assemblées aux profondeurs définies. Aucun prélèvement d'eau n'est réalisé, le polluant s'adsorbe sur une matrice.



Familles d'outils pour les prélèvements multiniveaux : actifs entre obturateurs (a), passifs entre obturateurs (b), passifs sans obturateurs (c).

MÉTHODOLOGIE

Dans le but de réaliser une caractérisation multiniveaux des eaux souterraines la plus représentative de la pollution en place, le **choix de l'outil** est à considérer avec attention. Il dépend :

- de l'objectif de la campagne dans le temps et dans l'espace : connaître les horizons les plus chargés en polluants pour caractériser un site, définir un réseau de surveillance d'une

pollution, suivre une dépollution, ...

- des contraintes liées au site : diamètre des ouvrages existants, profondeur de la nappe, ...
- des polluants suspectés ou connus et de l'âge de la pollution,
- de l'hétérogénéité de l'aquifère et de la discrétisation verticale recherchée.

TYPOLOGIE D'OUTIL	OBJECTIF	EXEMPLE D'OUTIL	CONTEXTE D'UTILISATION
Technique active de prélèvement par pompage sélectif dans une fenêtre spécifique	Prélèvement d' échantillons d'eau à une profondeur donnée en régime dynamique pour préciser la distribution verticale des concentrations en polluants dissous. L'outil est à adapter à la perméabilité.	Pompe entre Packers (PeP)	Débit de purge de 1 à 4 L/min (fonction du type de pompe) Diamètre du forage de 50 à 90 mm Profondeur < 20 m Temps de prélèvement : 15 à 30 minutes Espace de prélèvement : modulable, à partir de 20 cm
		Préleveur ciblé	Débit de purge de 0,5 à 6 L/min Diamètre du forage de 50 à 120 mm Profondeur < 50 m Temps de prélèvement : 15 minutes Espace de prélèvement : 30, 50 ou 80 cm
		Pompe pneumatique bas débit entre obturateurs	Débit de 0,1 - 1 L/min Diamètre de forage de 48 à 127 mm Profondeur < 46 m sous eau Temps de prélèvement : 30 minutes Espace de prélèvement : 30, 60 ou 90 cm
Technique passive de prélèvement instantané, avec ou sans fenêtre spécifique	Prélèvement ponctuel à l'équilibre d'un échantillon d'eau , sans purge de l'ouvrage avec fenêtre spécifique.	GINGER Multi-Level System (G-MLS)	Diamètre du forage entre 50 et 90 mm Profondeur : pas de limite Temps de pose : de quelques jours à quelques semaines selon la vitesse de nappe Espace de prélèvement : minimum 55 cm, prélèvements simultanés possibles
	Prélèvement ponctuel et instantané d'un échantillon d'eau , sans purge de l'ouvrage sans fenêtre spécifique.	Préleveur commandé sous pression	Diamètre de forage < 150 mm Profondeur < 150 m Temps de prélèvement : 30 minutes
Echantillonneur passif intégratif (sans prélèvement d'eau)	Calcul de la concentration sur la hauteur de la cartouche à partir du flux de polluant et du flux d'eau au cours de la période d'exposition.	Echantillonneur iFLUX	Diamètre de forage adaptable à l'ouvrage, construit sur mesure Profondeur : pas de limite Temps d'exposition : de quelques jours à quelques mois selon le flux de polluant Espace de prélèvement : 15 cm

Objectifs et contextes d'utilisation des outils de caractérisation chimique multiniveaux testés lors de l'étude ADEME HRSC.

Les **profondeurs à cibler** sont définies sur la base de la coupe lithologique, des flux d'eau et/ou suite à la réalisation de profils physico-chimiques.

Avant le **déploiement des techniques de prélèvement actives**, la ligne de prélèvement est préparée et des mesures préliminaires sont réalisées : diamètre intérieur et profondeur du forage, niveau statique, présence éventuelle de NAPL. La pompe est descendue à la profondeur désirée et les obturateurs sont gonflés (1 bar + 1 bar tous les 10 m de profondeur). Une purge par pompage dynamique (le débit dépend de l'outil) est réalisée jusqu'à la stabilisation des paramètres physico-chimiques. Après la purge, un échantillon est prélevé puis les obturateurs sont dégonflés et le dispositif peut être soit remonté soit descendu pour un second prélèvement. Lors des prélèvements multiples, il faut toujours faire les prélèvements du moins au plus profond (pour éviter de remobiliser des particules piégées dans l'ouverture des crépines et l'effet piston sur la colonne d'eau lors du passage de l'outil).

Pour le **déploiement des méthodes de prélèvement passives sans obturateurs et des échantillonneurs passifs** (hors iFLUX), les flux verticaux naturels dans l'ouvrage sont mesurés et la présence d'une phase pure éventuelle doit être vérifiée. Ces mesures, complétées par la mesure des horizons productifs en pompage, permettent de définir les profondeurs d'installation/prélèvement. Les échantillonneurs passifs sont

descendus aux profondeurs d'exposition définies et laissés pendant un temps d'exposition adapté pour atteindre les limites de quantification de la technique utilisée pour leur extraction et leur dosage sans saturer l'adsorbant. Ils sont ensuite récupérés pour analyse des polluants en laboratoire (par désorption de la cartouche pour les échantillonneurs à l'équilibre et intégratifs).

Les résultats des analyses en laboratoire sont ensuite interprétés. Il est conseillé de discuter les premiers résultats d'une campagne multiniveaux vis-à-vis de ceux obtenus avec la technique conventionnelle ; les différences éventuelles doivent être expliquées (en lien avec le principe de fonctionnement des outils et/ou l'hydrogéologie locale, ...).

Points de vigilance pour l'ensemble des outils :

- La position des crépines des ouvrages doit être connue, les outils ne devant être positionnés que devant des zones crépinées.
- Il est indispensable que le massif filtrant et les crépines soient en bon état. S'ils sont encrassés, les concentrations peuvent être biaisées. De la même manière que pour un prélèvement classique, un développement et un temps de repos sont fortement conseillés avant leur déploiement.
- Il peut être nécessaire de déployer les outils dans plusieurs contextes hydrodynamiques (hautes eaux/basses eaux...).

AVANTAGES – INCONVÉNIENTS – MATURITÉ DE LA TECHNIQUE

AVANTAGES

Echantillonnage

- Facilité de déploiement et de mise en œuvre par une personne seule pour de nombreuses techniques,
- Plusieurs outils disponibles permettant de s'adapter à une grande variété de contextes (profondeur, diamètre de l'ouvrage, débits, ...),

Polluants

- Certaines techniques permettent des prélèvements d'eau chargée en particules, émulsions ou NAPL,

Influence sur les résultats et incertitudes

- Intégration des variations dans le temps pour certains outils,

Résultats d'investigation

- Pas de perturbation de l'équilibre du panache pour les échantillonneurs passifs,

INCONVÉNIENTS

Echantillonnage

- Certaines techniques nécessitent deux déplacements sur le terrain (pose et reprise) avec une indisponibilité du forage pour un suivi traditionnel pendant l'exposition,
- Nécessité de déployer l'outil à plusieurs profondeurs pour obtenir un profil,
- Risque de prélever de l'eau venant uniquement du forage (dont massif filtrant) et non de l'aquifère en cas de renouvellement faible de la colonne d'eau,
- Possibilité d'eau provenant d'horizons sus ou sous-jacent via le massif filtrant,

Résultats d'interprétation

- Impact chimique possible du massif filtrant si encrassé,
- Surestimation des composés liés aux particules (ETM et composés très hydrophobes) en cas d'analyses sur brut en comparaison à un échantillonnage actif avec purge pour certains outils.

MATURITÉ DE LA TECHNIQUE



Les techniques sont abouties mais encore peu utilisées sur le terrain. Un projet [3] a permis d'illustrer les capacités des différents outils et de montrer le type de résultats obtenus avec chacun de ces outils.

DÉLAIS DE MISE EN ŒUVRE

La phase pour la préparation et le déploiement sur site est rapide : il faut compter entre 1 et 5 heures pour 1 ouvrage sur 5 profondeurs. L'ensemble des prélèvements d'eau ou des adsorbants sont ensuite envoyés en laboratoire pour analyse (résultats sous une quinzaine de jours). La durée de

la phase d'interprétation est fonction de la méthode mais ne dépasse pas quelques jours. Certains outils demandent un délai supplémentaire car les outils doivent être laissés en place un certain temps (d'une semaine à 3 mois).

PHASE	ACHAT DE MATÉRIEL	INVESTIGATIONS	ANALYSE	TRAITEMENT
Délai associé	⌘ > ⌘⌘ ⌘⌘	⌘ > ⌘⌘ ⌘⌘	⌘⌘	⌘

⌘ : jour / ⌘⌘ : semaine / ⌘⌘⌘ : mois

ÉLÉMENTS DE COÛTS

Les coûts de déploiement dépendent du matériel, du nombre d'opérateurs nécessaires (entre 1 et 2) et du temps de prélèvement. Certains outils nécessitent deux interventions.

Certains outils sont disponibles uniquement par des prestations de sous-traitance, d'autres peuvent être loués et/ou achetés.

PHASE	ACHAT DE MATÉRIEL	INVESTIGATIONS	ANALYSE	TRAITEMENT
Coût associé	€ > €€€	€€ > €€€	€€	€ > €€

€ < 100 € / €€ < 1000 € / €€€ > 1000 €

POUR EN SAVOIR PLUS - RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] [Rapport Ineris - Prélèvements d'eau souterraine à différents niveaux - Recensement des méthodes et matériels disponibles - Février 2020](#)
- [2] [Recueil des fiches des outils innovants pour la caractérisation haute résolution des sites pollués : Flux et concentrations - ADEME, BRGM, GINGER-BURGEAP INERIS, INNOVASOL/POCIBLE - Janvier 2021](#)
- [3] [Rapport ADEME HRSC - Tests d'outils innovants pour la caractérisation des sites pollués - Caractérisation haute résolution des flux et des concentrations en polluants dans les eaux souterraines - Novembre 2023](#)
- [4] [Caractérisation haute résolution des sites pollués - Vidéo chaîne YouTube BrgmTV, 2020](#)
- [5] [Norme NF X 31-615 - Qualité des sols — Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe dans le cadre des sites pollués ou potentiellement pollués — Prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance pour la détermination de la qualité des eaux souterraines - Décembre 2017](#)
- [6] [Rapport Ineris / ADEME - Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués. Guide de bonnes pratiques - 2014](#)