



(ID Modèle = 454913)

Ineris-20-180754-813083-v2.0

24/06/2020

## **Prélèvements d'eau souterraine à différents niveaux**

Recensement des méthodes et matériels disponibles

## **PRÉAMBULE**

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Chroniques

Rédaction : Fabrice QUIOT

Vérification : Rodolphe GAUCHER

Approbation : RAMEL MARTINE - le 24/06/2020

## Table des matières

1	Contexte et objectifs.....	5
2	Recensement des méthodes et matériels disponibles.....	9
2.1	Préambule.....	9
2.2	Choix relatifs à l'ouvrage donnant accès au milieu eau souterraine.....	10
2.2.1	Cas d'un seul ouvrage (ou piézomètre).....	10
2.2.2	Cas de plusieurs ouvrages (ou piézomètres).....	15
2.3	Choix relatifs au dispositif de prélèvement.....	18
2.4	Dispositifs en cours de développement.....	37
3	Conclusion et perspectives.....	38
4	Références.....	39

## Liste des figures

Figure 1 : Influence de la profondeur (3), du dispositif (5), sur les concentrations en Naphtalène ( $\mu\text{g/L}$ ) (Ineris, 2018).....	6
Figure 2 : Représentation schématique de l'influence des flux verticaux sur l'homogénéisation de la colonne d'eau (Ineris, 2018).....	7
Figure 3 : Schématisation de l'influence du prélèvement sur l'estimation de la géométrie du panache (A situation réelle et B et C situations déduites au regard de l'interprétation des données acquises en mono ou multiniveau).....	8
Figure 4 : Piézomètre crépiné sur un long intervalle (cf. recommandation norme AFNOR NF X-31-614).....	11
Figure 5 : Flux verticaux mesurés sur 2 piézomètres pour 3 campagnes avec coupe lithologique (données semi-quantitatives) (Ineris, 2017 et 2018).....	12
Figure 6 : Piézomètre crépiné sur plusieurs intervalles réduits (dit « sélectif »).....	13
Figure 7 : Plusieurs piézomètres à différentes profondeurs (flûte de pan ou « Cluster Well »).....	15
Figure 8 : Plusieurs piézomètres à différentes profondeurs au sein d'un même puits de forage (« Nested Well »).....	16
Figure 9 : Piézomètres en « flûte de pan » (source : Ineris).....	17
Figure 10 : Exemples de fiches techniques opérationnelles dédiées aux échantillonneurs passifs (source : ADEME, 2014).....	19
Figure 11 : Echantillonneur commandé (source : Ineris).....	22
Figure 12 : Packers avec pompe à vessie (source : Ineris).....	23
Figure 13 : Différentes configurations pour l'utilisation des packers (avec pompes immergées par exemple) ; A- Prélèvement au toit de la nappe (1 pompe) ; B – Prélèvement entre packers (1 pompe) ; C- Prélèvement de 3 niveaux (3 pompes) (source : Ineris).....	24
Figure 14 : Echantillonneur vertical type Kemmerer, PTFE (source : <a href="https://www.sdec-france.com/">https://www.sdec-france.com/</a> ).....	26
Figure 15 : Hydrasleeve™ type "SKINNY SuperSleeve 2".....	27
Figure 16 : Représentation d'Hydrasleeves placés bout à bout pour un prélèvement multiniveau (source : Ineris).....	28
Figure 17 : Echantillonneur Snap Sampler composé de plusieurs bouteilles de prélèvements (source : <a href="http://snapsampler.com/">http://snapsampler.com/</a> ).....	29
Figure 18 : Système CMT (source : <a href="https://www.solinst.com/">https://www.solinst.com/</a> ).....	32
Figure 19 : Système Waterloo (source : <a href="https://www.solinst.com/">https://www.solinst.com/</a> ).....	33
Figure 20 : Système Westbay (source: Practical Handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring, 2005).....	35

## **Résumé**

Dans le milieu eau souterraine, la majorité des prélèvements réalisés de nos jours est effectuée à une seule profondeur et sur des piézomètres dits « complets » (crépinés sur toute leur hauteur en zone saturée ou nappe). Selon le type de substances recherchées, « l'âge » de la contamination et l'hétérogénéité de l'aquifère, des prélèvements multiniveaux sont à privilégier et dans ce cas ce type d'ouvrage n'est pas le plus adapté. En effet, l'existence potentielle de flux verticaux naturels conduit bien souvent à un mélange au sein des ouvrages complets.

Afin de recommander aux opérateurs de terrain l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux existants pour mener à bien un prélèvement à plusieurs niveaux, l'Ineris a souhaité s'appuyer sur son retour d'expérience interne, sur la consultation de guides techniques, normes, publications ou encore sur des échanges avec des développeurs et distributeurs de matériels afin de réaliser un recensement. Les points abordés dans le présent rapport portent sur les choix possibles concernant : les ouvrages donnant accès au milieu eau souterraine (ou piézomètre) et les dispositifs de prélèvements existants (outil et protocole), susceptibles d'apporter une information pertinente sur la stratification d'une pollution au sein d'un aquifère.

## **Pour citer ce document :**

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Prélèvements d'eau souterraine à différents niveaux, Verneuil-en-Halatte : Ineris-20-180754-813083-v2.0, 24/06/2020.

## **Mots-clés :**

Eau souterraine, multiniveau, prélèvement, piézomètre, outil, ICPE, sites pollués

# 1 Contexte et objectifs

Le prélèvement d'eau souterraine, destiné à connaître la qualité du milieu, peut s'opérer dans des cadres différents. La norme AFNOR NF X31-615, s'appliquant spécifiquement aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et aux sites pollués, rappelle que la qualité des eaux souterraines est déterminée à partir d'un prélèvement dont l'objectif est d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau présente dans la formation géologique environnante. Dans le cadre d'application de cette norme, le prélèvement peut donc être mené durant l'exploitation normale d'une ICPE, au cours de diagnostics de pollution des eaux souterraines, ou encore lors d'une cessation d'activité. Le choix de la méthode et du matériel à employer s'avère crucial afin de répondre à l'objectif précité (disposer d'un échantillon représentatif). A noter que les éléments décrits par la suite peuvent s'appliquer hors du cadre ICPE, par exemple, pour vérifier le bon état chimique d'une masse d'eau souterraine en lien avec la surveillance associée à un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

L'Ineris a lancé en 2014 un exercice destiné à comparer les concentrations obtenues (hydrocarbures, métaux et métalloïdes) selon différents outils et protocoles existants afin d'évaluer leurs performances, en extraire des tendances, ou tout au moins des illustrations quant à la variabilité des résultats (cf. Ineris, 2018). Il s'agissait d'apporter des éléments quantifiés, permettant d'illustrer les variations susceptibles d'être observées de nos jours en termes de concentrations en polluants selon le recours à telle ou telle technique d'échantillonnage (intégrant l'incertitude fournie par le laboratoire).

Plusieurs aspects ont ainsi été traités, l'influence sur la représentativité des résultats :

- de la purge ;
- de la profondeur et du dispositif ;
- de la filtration et de la décantation ;
- de la volatilisation.

Ces travaux ont notamment montré que la profondeur à laquelle une pollution avérée ou supposée est recherchée conditionne deux aspects essentiels du plan d'échantillonnage :

- les caractéristiques du piézomètre ;
- le dispositif de prélèvement retenu (intégrant outil et protocole).

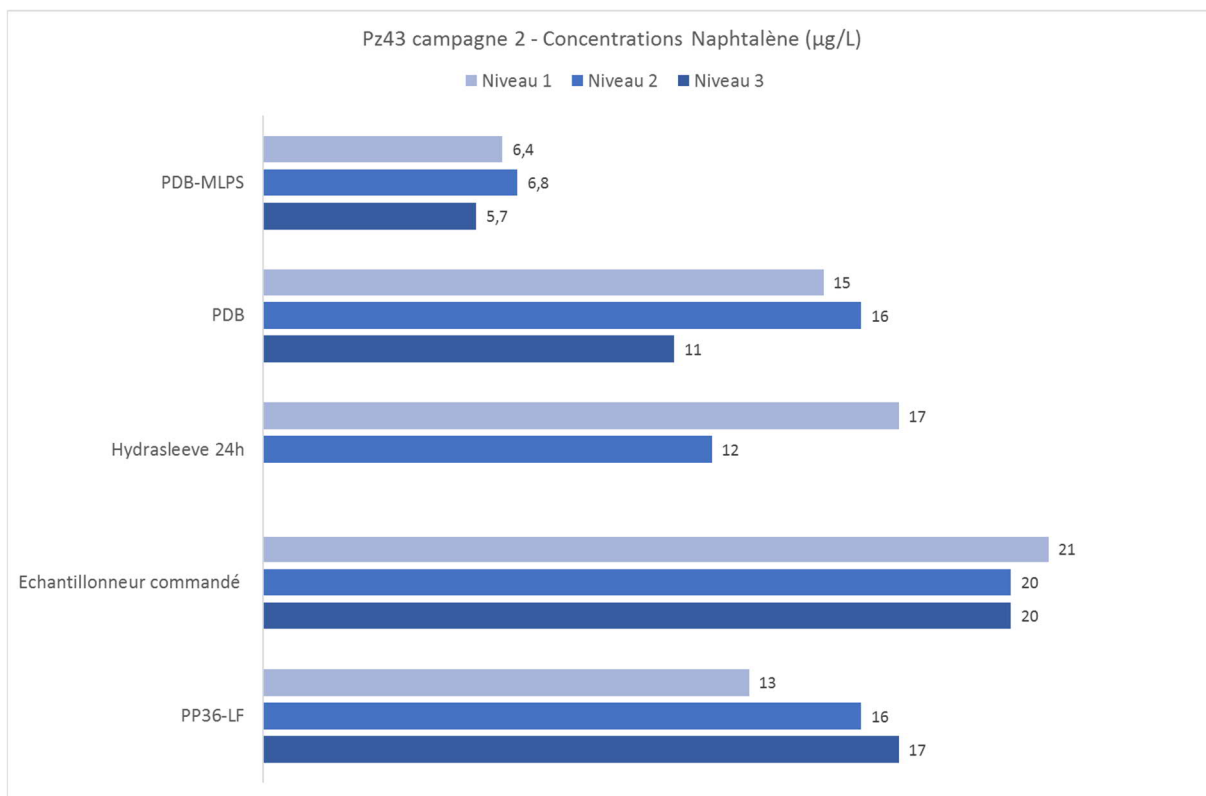
Actuellement, la majorité des prélèvements réalisés sont effectués à une seule profondeur et sur des piézomètres dits « complets » (crépinés sur toute leur hauteur en zone saturée). Or, selon le type de substances, « l'âge » de la contamination ou encore l'hétérogénéité de l'aquifère, il est plus pertinent de recourir à des prélèvements à plusieurs niveaux et dans ce cas le piézomètre complet n'est pas le plus adapté.

La Figure 1 présente des résultats acquis par l'Ineris à différentes profondeurs, avec plusieurs dispositifs, dans le cas d'un prélèvement au sein d'un piézomètre complet avec une colonne d'eau proche de 10 m. Ces résultats montrent (considérant une incertitude de 13%) la variabilité des concentrations en naphthalène obtenues selon le dispositif utilisé : par exemple, entre PDB-MLPS<sup>1</sup> et un échantillonneur commandé (cf. 2.3), les valeurs mesurées varient de 5,7 à 20 µg/L pour le niveau le plus profond.

En première lecture, ces données permettent également de conclure à la similarité des résultats obtenus aux trois profondeurs étudiées. Toutefois, en l'absence de mesures des flux verticaux naturels ce constat peut être aussi lié à un mélange au sein de la colonne d'eau (via le tube du piézomètre et/ou entre ce tube et la roche au sein du massif filtrant). La représentativité de ces résultats peut ainsi être mise en doute.

---

<sup>1</sup> 3 échantillonneurs passifs séparés par des joints (cf. 2.1).



*Figure 1 : Influence de la profondeur (3), du dispositif (5), sur les concentrations en Naphtalène (µg/L) (Ineris, 2018)*

Bien que le prélèvement unique ou mononiveau reste pertinent dans de nombreux cas, certains contextes peuvent donc induire une stratification du panache de pollution. Ces contextes sont généralement liés à (cf. Guide DGPR « Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués » dans sa version en vigueur) :

- une nappe dont l'épaisseur est supérieure à plusieurs mètres ;
- la présence de niveaux plus ou moins perméables au sein de la nappe ;
- la présence de substances dont la densité en phase pure est supérieure à 1, ce qui conduit à une migration en profondeur de cette phase pure (cas du PCE ou du TCE) ;
- une pollution ancienne, ayant migrée en zone non saturée puis saturée (vers le mur de l'aquifère).

D'autres facteurs aujourd'hui mal connus, en particulier les flux verticaux évoqués ci-avant, peuvent influencer l'homogénéisation des solutés dans le piézomètre (cf. Figure 2).

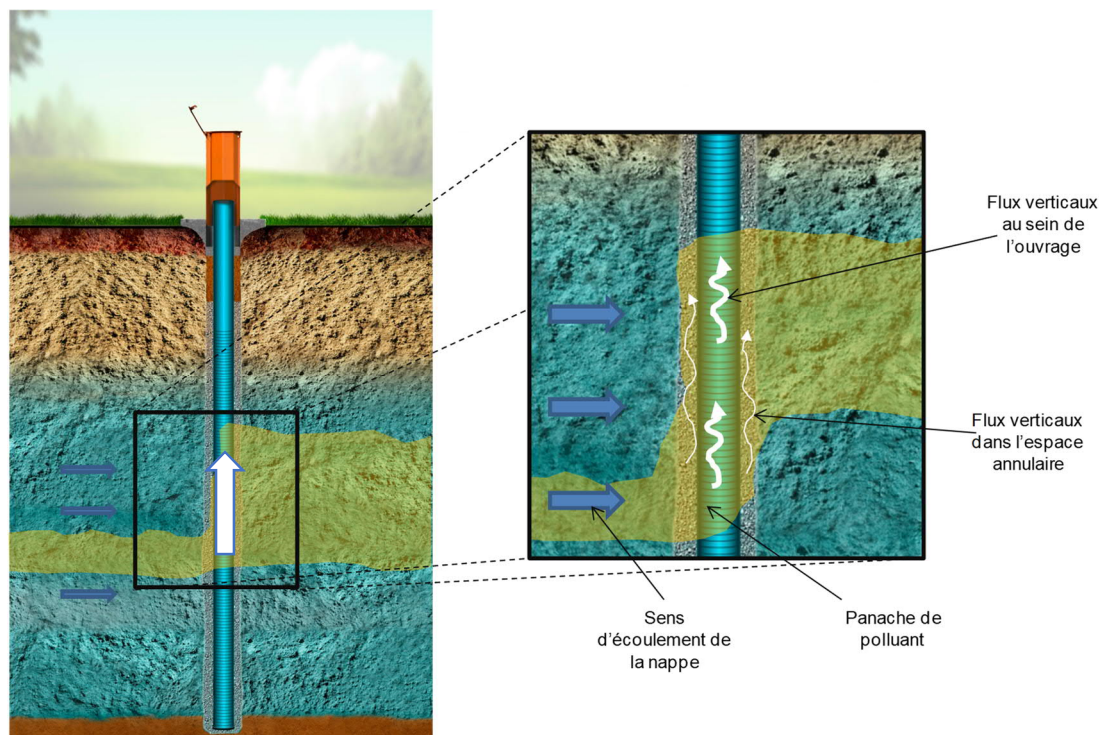


Figure 2 : Représentation schématique de l'influence des flux verticaux sur l'homogénéisation de la colonne d'eau (Ineris, 2018)

La Figure 3 met ainsi en exergue l'importance du prélèvement multiniveau sur la délimitation spatiale du panache de pollution par rapport à un prélèvement mononiveau. En effet, à partir d'un ouvrage complet sur une hauteur de plus de 10 m, dans le cas d'un prélèvement unique avec une pompe immergée, l'extension verticale du panache est définie à partir d'un seul résultat en prenant en compte le toit de la nappe et la profondeur du piézomètre (cas B interprétation erronée). Dans la même situation mais dans le cas d'un prélèvement multiniveau, le panache est borné aux intervalles du prélèvement présentant des anomalies (cas C proche de la réalité illustrée au cas A). Dans cet exemple, le prélèvement multiniveau permet donc d'affiner la connaissance de l'extension verticale du panache assurant ainsi une gestion plus adaptée et proportionnée de la pollution via :

- une évaluation plus juste du risque sanitaire et environnemental ;
- une estimation plus juste de la zone impactée à dépolluer.

Afin de recommander aux opérateurs de terrain l'acquisition et l'utilisation d'un matériel particulier parmi ceux existant pour mener à bien un prélèvement à plusieurs niveaux, l'Ineris a souhaité s'appuyer sur son retour d'expérience interne, sur la consultation de guides techniques, normes, publications ou encore sur des échanges avec des développeurs et distributeurs de matériels afin de réaliser un recensement. Les points abordés ci-après portent sur les choix possibles au sujet des ouvrages donnant accès au milieu eau souterraine et des dispositifs de prélèvements existants, susceptibles d'apporter une information pertinente sur la stratification d'une pollution au sein d'un aquifère.

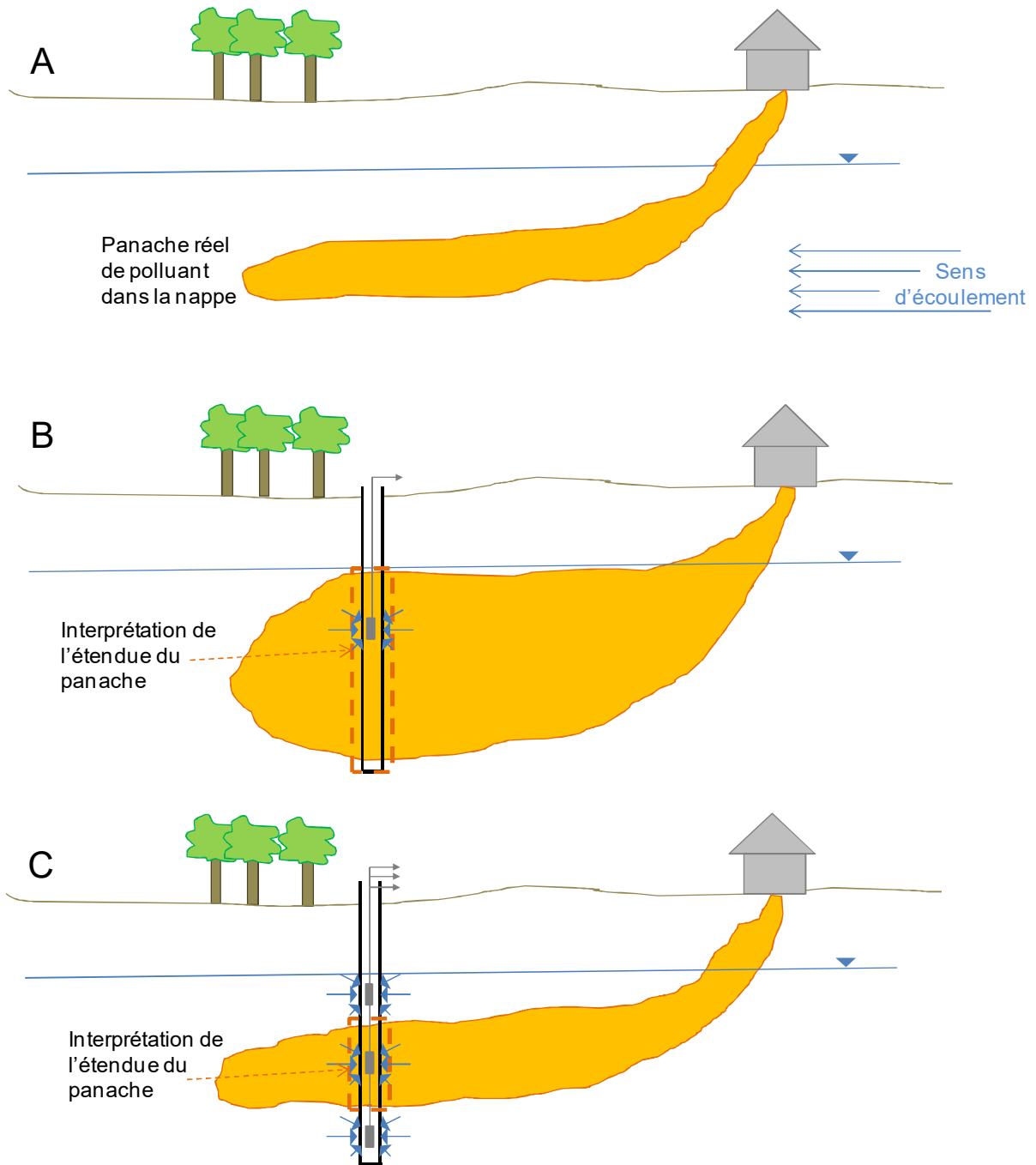


Figure 3 : Schématisation de l'influence du prélèvement sur l'estimation de la géométrie du panache (A situation réelle et B et C situations déduites au regard de l'interprétation des données acquises en mono ou multiniveau)



## 2 Recensement des méthodes et matériels disponibles

### 2.1 Préambule

Comme indiqué, selon le contexte de gestion, il pourra être nécessaire de considérer l'hétérogénéité de la colonne d'eau en polluants afin d'améliorer la prise de décision en termes de risque sanitaire et de dépollution.

Dans ce cas, l'efficacité d'un dispositif de prélèvement est implicitement liée à la réalisation de l'ouvrage (forage équipé en piézomètre). En effet, selon les caractéristiques de la crépine, du massif filtrant, des circulations préférentielles à l'intrados (intérieur) et à l'extrados (extérieur) du tubage peuvent conduire à un mélange. Ainsi, dans un premier temps (cf. 2.2), ce chapitre présente les options envisageables concernant les ouvrages donnant accès à un prélèvement à différentes profondeurs. Dans un second temps, des éléments concernant les dispositifs existants sont présentés (outils et protocoles de prélèvements cf. 2.3).

L'Ineris n'a à ce stade pas testé l'ensemble de ces solutions (ouvrages et/ou dispositifs), le fait que le matériel soit adapté à un prélèvement multiniveau repose donc principalement sur les informations disponibles, en particulier dans la bibliographie. Le lecteur intéressé devra se référer aux instructions du constructeur pour les détails de l'utilisation correcte de celui-ci.

Ce rapport se veut le plus complet possible, toutefois, certains matériels anciens et peu utilisés au cours de la dernière décennie, n'ont pas été cités. C'est le cas par exemple du système DMLS (Discrete level Multi-Layer Sampler), basé sur le principe de la dialyse et développé par des chercheurs de l'Institut Weizmann dans les années 1980.

#### Pour aller plus loin

L'Ineris a développé et testé dans le cadre spécifique du projet BIOdéPOL (2014-2016) un outil dédié aux prélèvements multiniveaux (avec échantillonneurs passifs : MLPS pour « Multi-Level-Passive-Sampler »). Pour plus d'informations, consulter le rapport suivant disponible sur [ineris.fr](http://ineris.fr) : « Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau » (Ineris, 2017)

D'autres matériels, encore à l'état de recherche et développement, sont cités pour mémoire dans une section dédiée, en 2.4 (sans préjuger de leur efficacité et/ou disponibilité commerciale future pour répondre à l'objectif d'un prélèvement multiniveau).

## 2.2 Choix relatifs à l'ouvrage donnant accès au milieu eau souterraine

La mise en place d'un ouvrage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine doit se conformer aux recommandations de la norme AFNOR NF X31-614.

### Pour aller plus loin

Pour illustrer cette norme, l'Ineris propose depuis février 2018 une vidéo accessible sur [ineris.fr](http://ineris.fr) « Piézomètre : les bonnes pratiques à mettre en œuvre dans le domaine des ICPE, sites pollués »

### 2.2.1 Cas d'un seul ouvrage (ou piézomètre)

La plupart des prélèvements réalisés de nos jours sont effectués à partir de piézomètres dits « complets » (cf. Figure 4). Ce type de piézomètre est employé pour effectuer des prélèvements à différentes profondeurs.

En rappel, après l'étape de forage en elle-même (au rotary, au marteau fond de trou, etc.), l'étape d'équipement est notamment dédiée à l'introduction d'un tubage crépiné introduit au niveau de la zone saturée (ou nappe), ce tubage est constitué de fentes (crépines) dont la forme et la dimension sont adaptées au terrain afin de limiter l'introduction de particules fines.

Le massif filtrant dont la mise en place est indispensable dans le cas de terrains non consolidés est quant à lui introduit entre le tube et le terrain naturel, également pour limiter l'introduction de fines dans l'ouvrage. Lorsque la crépine est entourée d'un massif filtrant elle doit avoir une ouverture de fentes (« slot ») en relation avec la granulométrie de l'aquifère.

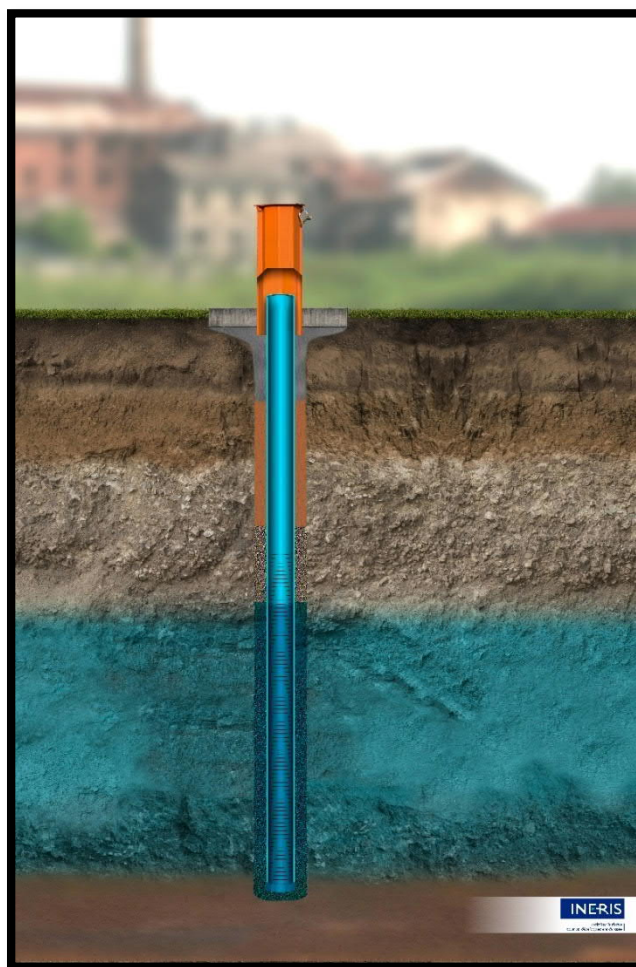


Figure 4 : Piézomètre crépiné sur un long intervalle (cf. recommandation norme AFNOR NF X-31-614)

A noter que la norme précitée recommande « dans le cas d'aquifères peu épais (de l'ordre de 5 à 10 m) et pouvant être considérés comme homogènes, une crépine implantée sur toute l'épaisseur de la colonne d'eau ».

En pratique, plusieurs dispositifs sont actuellement utilisés par les opérateurs de terrain afin de réaliser un prélèvement multiniveau à partir de ce type d'ouvrage (ouvrage unique). Il peut s'agir d'une pompe immergée seule descendue à plusieurs profondeurs jusqu'à un système intégrant des obturateurs (« packers ») pour discrétiser une partie de la colonne d'eau (mais seulement à l'intérieur du tubage).

Compte-tenu de l'existence potentielle de flux verticaux conduisant à un mélange, des circulations préférentielles à l'intrados et/ou à l'extrados du tubage ne peuvent être exclues. Même avec une pompe ou un échantillonneur passif disposé entre obturateurs, configuration qui pourrait paraître comme la plus adaptée, une circulation par l'extrados ne peut être exclue.

En effet, concernant les piézomètres crépinés sur de longs intervalles, les échantillons prélevés dans ces conditions sont généralement des mélanges, pondérés par le flux entrant dans le piézomètre durant le pompage, de tous les niveaux de la zone saturée de l'intervalle crépiné (Metcalf & Robbins, 2007 ; McDonald & Smith, 2009).

Depuis plusieurs années, l'Ineris a pu mesurer sur de nombreux sites les flux verticaux naturels (internes au tubage) à l'aide de la sonde « Heat-Pulse Flowmeter ». Des flux verticaux ont ainsi été mis en évidence et des variations ont pu être constatées :

- sur un même piézomètre pour plusieurs campagnes ;
- entre différents piézomètres pour une même campagne.

A titre d'exemple, sont repris ci-après des résultats proposés dans l'étude comparative diffusée en 2018 (Ineris, 2018). En Figure 5, les flux positifs mettent en évidence des flux verticaux ascendants et les flux négatifs des flux verticaux descendants.

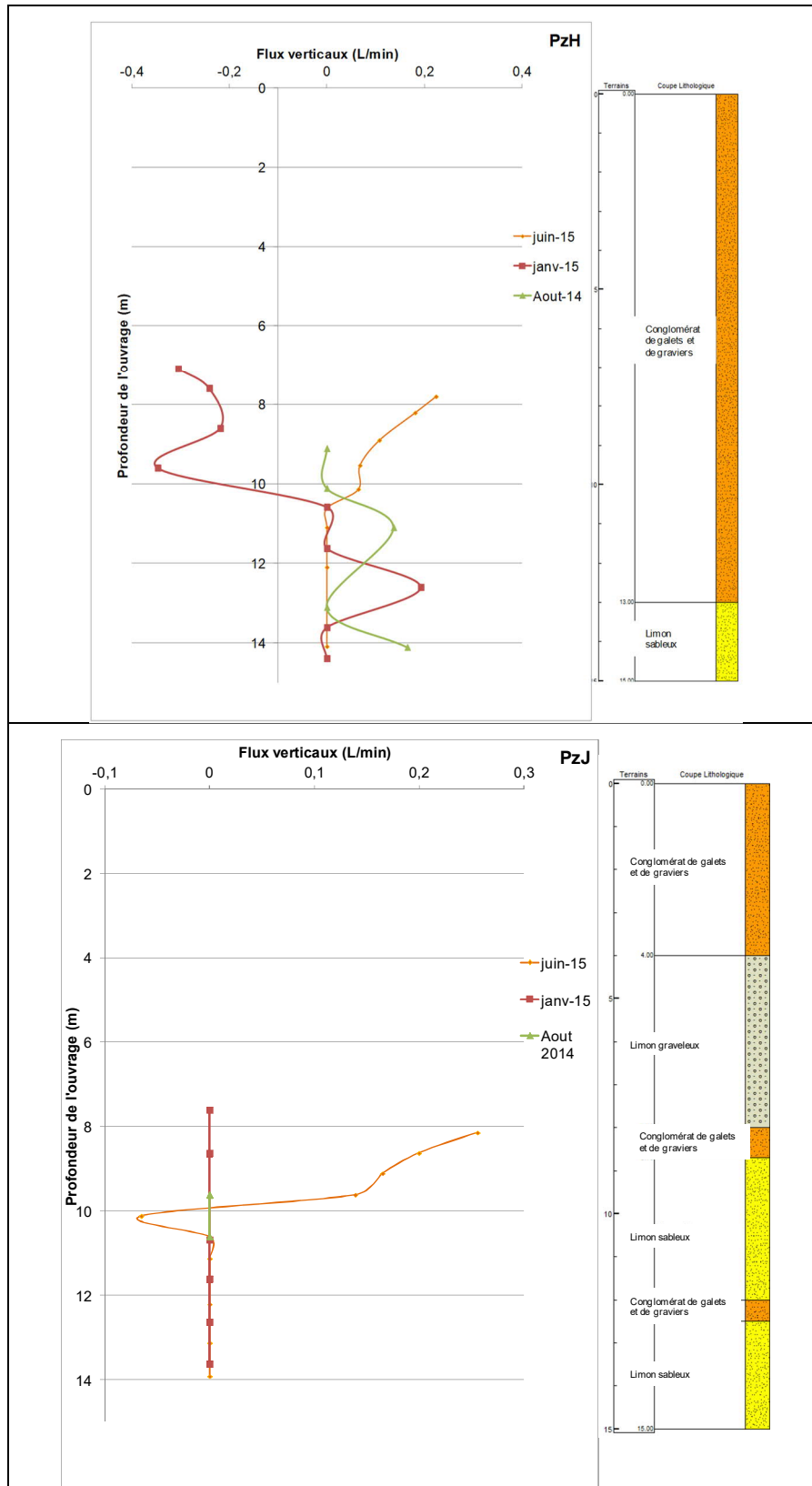


Figure 5 : Flux verticaux mesurés sur 2 piézomètres pour 3 campagnes avec coupe lithologique (données semi-quantitatives) (Ineris, 2017 et 2018)

Les résultats ci-dessus montrent que les flux verticaux varient sensiblement au cours de l'année et que les variations observées selon les campagnes de mesures sont différentes d'un piézomètre à un autre. L'interprétation de données de concentrations acquises à partir d'un ouvrage unique à différentes profondeurs est donc sujette à caution si une mesure synchrone des flux verticaux n'est pas effectuée.

Des solutions sont proposées pour pallier cette difficulté, elles peuvent porter sur les caractéristiques du piézomètre après ou avant son équipement.

Dans le but de limiter l'extension verticale de l'intervalle crépiné et ainsi l'influence potentielle des flux verticaux sur la représentativité d'un prélèvement, il peut être envisagé de réaliser un ouvrage crépiné à différentes profondeurs selon le contexte hydrogéologique et les substances recherchées (cf. Figure 6). Associé à un prélèvement à faible débit entre obturateurs, cet ouvrage conduira à un échantillonnage plus représentatif des conditions à une profondeur donnée.



*Figure 6 : Piézomètre crépiné sur plusieurs intervalles réduits (dit « sélectif »)*

Une autre solution porte sur la mise en place d'un système spécifique après la réalisation du trou nu, comme par exemple le système CMT ou Waterloo qui sera présenté par la suite (cf. 2.3).

Il est également possible de recourir à la technologie DPT pour parvenir à une information à différentes profondeurs à partir d'un forage (qui pourra par la suite être équipé en piézomètre). Elle ne nécessite

pas la mise en place d'ouvrage permanent. L'Ineris a eu l'occasion de la tester dans le cadre du programme CityChlor<sup>2</sup> (cf. ADEME, 2014).

La technologie DPT pour « direct push technology » connue aussi sous le nom de « direct drive », « direct point » ou « push technology » fait référence à un ensemble de techniques utilisées en géotechnique et pour des investigations sur les sols, les gaz du sol et les eaux souterraines. Ces techniques reposent sur l'insertion de tubes creux de petit diamètre dans le sol, en les poussant ou par vibrations (tige DPT). Ces équipements peuvent être insérés dans le sol à l'aide de différents matériaux, allant du marteau au camion de plusieurs tonnes. Ces tubes peuvent être équipés de sondes pour la mesure ponctuelle ou en continu de différents paramètres (géophysiques, géotechniques, etc.). Ils peuvent également être complétés par des outils de prélèvements à leur extrémité, permettant de collecter des échantillons de sol, d'eau souterraine ou encore de gaz du sol. L'échantillonneur BAT est disponible pour un prélèvement multiniveau. Cet outil permet le prélèvement d'eau souterraine (ou de gaz du sol) à plusieurs profondeurs. La sonde est poussée dans le sol en position fermée. Lorsque la profondeur désirée est atteinte, elle est ouverte et l'intervalle crépiné est exposé. L'échantillon d'eau souterraine est alors prélevé dans les conditions physico-chimiques régnant au sein de l'aquifère (pH, potentiel rédox, etc.) dans un flacon percé par une aiguille à double extrémité connectant la partie exposée de l'échantillonneur au flacon d'échantillonnage. Après prélèvement, le flacon est remonté dans les tubes et ceux-ci sont descendus si un autre échantillon doit être prélevé à des profondeurs plus importantes.

### Pour aller plus loin

Pour plus de détails sur les avantages et les limites des techniques DPT, le lecteur pourra se référer au rapport « Direct-Push Technology » disponible sur le site internet du projet CityChlor

L'Ineris propose depuis la fin de ces travaux une vidéo accessible sur [ineris.fr](http://ineris.fr) « Diagnostic des sols pollués : la technologie DPT »

---

<sup>2</sup> Projet européen réalisé entre 2009 et 2013 qui regroupait 9 partenaires situés en Flandres (OVAM, villes de Mortsel et de Ghent), aux Pays-Bas (Bodem+, ville d'Utrecht), en Allemagne (ITVA, ville de Stuttgart) et en France (ADEME, Ineris) – cofinancé dans le cadre du programme européen INTERREG IV B. Le projet CaraCityChlor, cofinancé par l'ADEME et mené par l'Ineris est venu compléter ce projet Européen sur le plan national.



## 2.2.2 Cas de plusieurs ouvrages (ou piézomètres)

Il est également possible d'avoir recours à plusieurs piézomètres ayant des intervalles respectifs crépinés courts et à diverses profondeurs, fonction là aussi du contexte hydrogéologique et des propriétés des polluants étudiés.

Deux configurations peuvent être envisagées :

- plusieurs piézomètres à différentes profondeurs (configuration « flûte de pan » ou « Cluster Well », cf. Figure 7) ;
- des systèmes à plusieurs niveaux dans un même puits de forage (« Nested Well », cf. Figure 8).

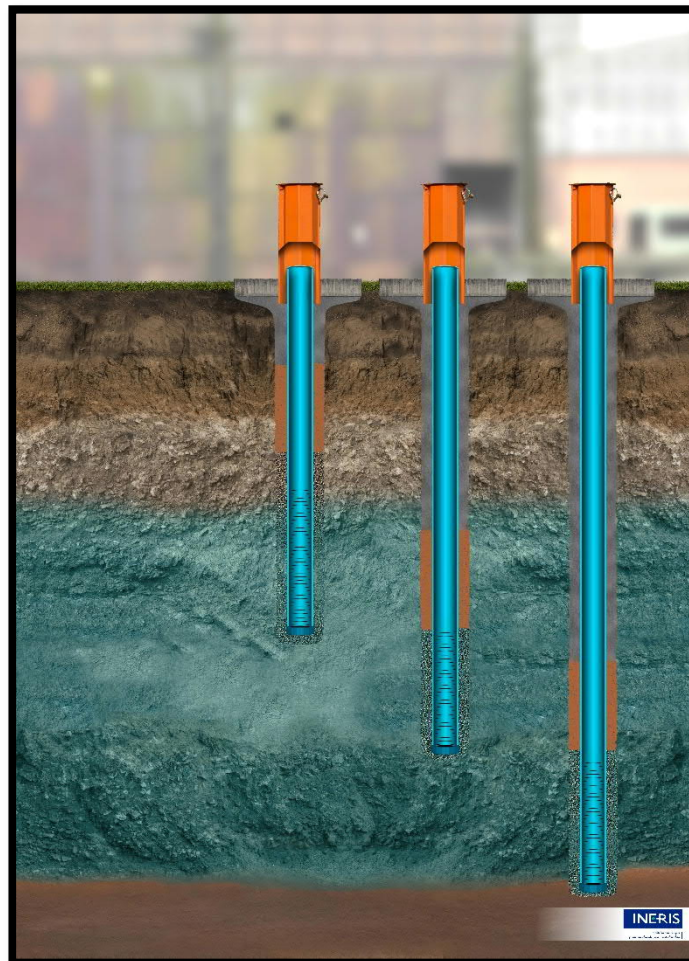


Figure 7 : Plusieurs piézomètres à différentes profondeurs (flûte de pan ou « Cluster Well »)

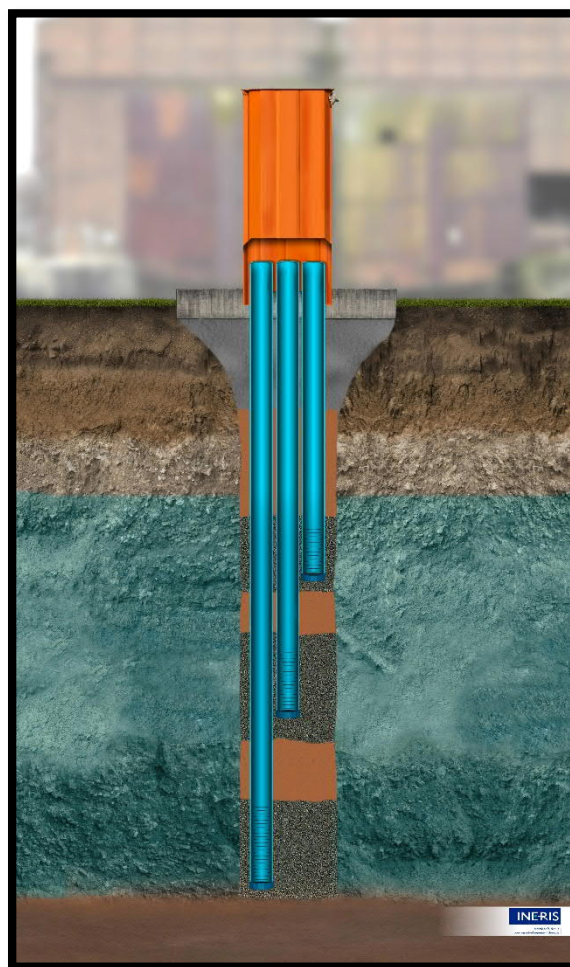


Figure 8 : Plusieurs piézomètres à différentes profondeurs au sein d'un même puits de forage (« Nested Well »)

Dans le but de déterminer la stratification verticale d'une pollution, plusieurs articles soulignent l'importance d'utiliser plusieurs piézomètres avec des longueurs de crépines inférieures à 3 m plutôt qu'un seul piézomètre crépiné sur plus de 3 m (Church et Granato, 1996 ; Environment Agency, 2005 ; Dumble, 2006 ; Varljen *et al.*, 2006).

Concernant la flûte de pan, l'ouvrage « Practical Handbook of Environmental Site Characterization and Ground-Water Monitoring (2005) » recommande que :

- les crépines des piézomètres n'excèdent pas 2 à 3 m afin de s'assurer que l'échantillon concerne une couche de l'aquifère et non un volume composite de la colonne d'eau ;
- les piézomètres soient installés au maximum à 10 m l'un de l'autre afin qu'ils soient implantés dans des conditions hydrogéologies homogènes ;
- les piézomètres soient mis en place perpendiculairement à l'écoulement de la nappe afin d'éviter une contamination croisée.

L'utilisation de plusieurs piézomètres dans une configuration « Cluster Well » ou « Nested Well » permet a priori de déterminer avec précision la distribution verticale des contaminants au sein de la nappe. Une fois un système de ce type installé, le prélèvement des eaux souterraines peut être réalisé avec tous types de techniques (prélèvement actifs et/ou passifs), sans pour autant se soucier de la présence éventuelle de flux verticaux au moment de la campagne, sans recourir à des obturateurs. Cependant, le principal inconvénient pour ce type d'installation est le surcoût lié aux multiples forages, à l'équipement en piézomètre. Ainsi, la nature du sous-sol doit être préalablement bien caractérisée afin d'optimiser la définition du nombre de piézomètres à installer, leur implantation (perpendiculairement à l'écoulement) et profondeur notamment.

La Figure 9 montre un système en flûte de pan installé par l'Ineris sur un site industriel en activité dans le cadre du programme CityChlor auquel l'Ineris a participé entre 2009 et 2013. Il s'agit ici de



piézomètres à intervalles crépinés courts (1,5 m). Ils ont été installés à environ 50 cm l'un de l'autre, perpendiculaires à l'écoulement et à différentes profondeurs, afin de se placer dans des horizons différents.



*Figure 9 : Piézomètres en « flûte de pan » (source : Ineris)*

#### Point d'attention

Quelles que soient les caractéristiques finales du système mis en place (avec un ou plusieurs piézomètres), celles-ci doivent être décrites dans une coupe de forage, à conserver

## 2.3 Choix relatifs au dispositif de prélèvement

Deux familles d'outils sont à considérer : les échantillonneurs passifs (sans apport d'énergie) et les échantillonneurs actifs (nécessitant une source électrique).

Au vu des pratiques actuelles, les méthodes conventionnelles sont généralement liées à un échantillonneur actif (cf. pompe immergée). En rappel, le prélèvement passif est défini comme étant basé sur le flux libre et non contraint de molécules du milieu échantillonné vers un milieu récepteur (Vrana *et al.*, 2005). En fonction de l'échantillonneur, la phase de réception peut être un solvant (par exemple l'eau), un réactif chimique, ou un adsorbant poreux (par exemple du charbon actif). Ainsi, le prélèvement ne nécessite aucune source d'énergie extérieure, mais dépend de différents paramètres tels que la température, la pression, ainsi que le gradient des concentrations entre le milieu échantillonné et le milieu récepteur (Gorecki et Namiesnik, 2002 ; Vrana *et al.*, 2005 ; ITRC 2007 ; Seethapathy *et al.*, 2008).

Sur la base de cette définition, trois catégories d'échantillonneurs passifs peuvent être définies :

- les échantillonneurs instantanés (Thief ou Grab Samplers) : dispositifs qui permettent un prélèvement ponctuel et instantané d'un échantillon d'eau sans purge préalable (résultats ponctuels) ;
- les échantillonneurs intégratifs (Integrative Samplers) : dispositifs qui permettent la diffusion et la sorption des contaminants d'intérêt sur ou dans l'échantillonneur passif (résultats intégratifs dans le temps) ;
- les échantillonneurs à l'équilibre (Diffusion Samplers) : dispositifs qui permettent un prélèvement suite à la diffusion, jusqu'à l'équilibre, des contaminants d'intérêt entre le dispositif et le milieu échantillonné (résultats ponctuels).

Tous ces échantillonneurs sont déployés dans les ouvrages à la profondeur désirée, ils sont donc en théorie adaptés à un échantillonnage multiniveau (en lien avec une mesure des flux verticaux). Ces types d'échantillonneurs ne nécessitent ni purge ni pompe. La plupart de ces échantillonneurs peuvent être mis bout à bout pour obtenir des échantillons à des profondeurs différentes hors certains systèmes instantanés.

Pour aller plus loin

L'Ineris propose une vidéo accessible sur sa chaîne YouTube « Echantillonneurs passifs »

Les échantillonneurs passifs sont encore en développement et des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années, notamment dans la conception et les méthodes de calibration. Le nombre de publications grandissant sur ces techniques prouve l'intérêt de la communauté scientifique, leur grand potentiel et témoigne de leur utilisation de plus en plus fréquente pour la surveillance environnementale de différents milieux (Zabiegala *et al.*, 2010).

En 2014, l'Ineris a publié un rapport pour l'ADEME destiné notamment à faire la synthèse de plusieurs projets menés sur le sujet (depuis METROCAP, Ineris, 2011). Ce document présente des fiches techniques opérationnelles (cf. Figure 10).

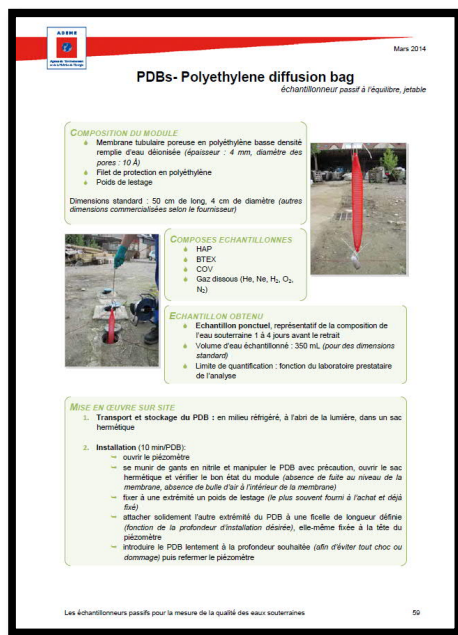


Figure 10 : Exemples de fiches techniques opérationnelles dédiées aux échantillonneurs passifs (source : ADEME, 2014)

Suite à ces travaux, l'Ineris vient de finaliser en 2019 le projet Passiflux, cofinancé par l'ADEME, et portant sur l'évaluation des échantillonneurs passifs de flux (EPF), permettant la mesure des concentrations, et des flux massiques de contaminants dans les eaux souterraines ainsi que des vitesses de Darcy des eaux souterraines. Ce projet a été mené en collaboration avec le VITO (Institut flamand de recherche technologique), l'université d'Anvers et le projet Suisse Chlorokarst, impliquant 2 bureaux d'étude Suisses (eOde et MFR) et le CHYN (Centre d'hydrogéologie et de géothermie de Neuchâtel). L'objectif du projet Passiflux était d'évaluer les échantillonneurs passifs de flux (EPF) afin de statuer, d'une part, sur leur facilité de mise en œuvre sur le terrain et, d'autre part, sur la robustesse des données qu'ils mesurent et leur capacité à fournir des résultats en multiniveau. Les essais menés ont permis de valider les données acquises via les EPF (dispositifs PFM et iFLUX) et ont montré que ces dispositifs étaient faciles à utiliser.

## Pour aller plus loin

Pour plus de détails sur les avantages et les limites des échantillonneurs passifs de flux, le lecteur pourra se référer au rapport « Les échantillonneurs passifs de flux pour la mesure de la qualité des eaux souterraines » disponible sur le site internet de l'Ineris

## Point d'attention

Quel que soit l'outil employé, l'interprétation de données acquises à différentes profondeurs à partir d'un ouvrage unique nécessite une mesure synchrone des flux verticaux (potentiels) (cf. recommandations documents ADEME et AFNOR NF X31-615)

Il convient de rappeler également que la mesure synchrone des flux horizontaux permettra de déterminer les horizons productifs et donc les niveaux où rechercher une pollution lors d'un prélèvement multiniveau

Les échantillonneurs passifs à l'équilibre et intégratifs ainsi que les échantillonneurs passifs de flux ne sont pas décrits dans le présent rapport, et notamment dans les pages qui suivent, considérant que l'information est d'ores et déjà accessible et synthétisée via deux rapports rédigés par l'Ineris (cf. ADEME 2014 et Ineris 2019). Seuls les échantillonneurs passifs instantanés sont présentés.

### **Echantillonneur commandé**

L'échantillonneur commandé, pneumatique ou encore sous pression, « Discret Interval Sampler », fonctionne sur le principe de la mise sous pression qui empêche l'eau de pénétrer dans l'échantillonneur lors de sa descente au sein de l'ouvrage. Une fois l'échantillonneur positionné à la profondeur choisie, la pression est relâchée et l'eau pénètre dans le dispositif. Une dernière mise en pression empêche toute nouvelle intrusion d'eau dans l'échantillonneur lors de sa remontée.

Ce système ne permet qu'une seule mesure par descente. Pour obtenir un profil vertical des concentrations, il convient de descendre l'échantillonneur autant de fois que nécessaire avec le risque de perturber la stratification des eaux dans le piézomètre à chaque remontée/descente de l'échantillonneur (effet piston d'autant plus marqué que les ouvrages ont un faible diamètre). Ce biais peut cependant être limité en descendant/remontant très lentement l'échantillonneur et en attendant un retour à l'équilibre des conditions hydrodynamiques. Afin de limiter l'homogénéisation des eaux souterraines les prélèvements doivent s'opérer du haut de la colonne vers le bas.

Le dispositif (cf. Figure 11) est constitué d'un échantillonneur en acier inoxydable avec joints toriques Viton® et Téflon®. Le tube en polyéthylène basse densité (LDPE) sur bobine est fixé à l'échantillonneur et à une pompe manuelle à haute pression. Le système pressurisé permet de maintenir le système fermé pendant la descente dans le piézomètre. Une fois arrivé à la profondeur cible, la pression de l'air est libérée permettant à l'échantillonneur de se remplir. Après remplissage, le système est de nouveau mis sous pression pour empêcher le mélange des eaux prélevées avec les eaux en tête du piézomètre. Une fois à la surface, l'eau est transvasée dans les flacons pour l'analyse. L'équipement doit être rincé entre les prélèvements.

La principale contrainte pour l'utilisation de cet échantillonneur est la limite de quantification du laboratoire pour l'analyse de certains éléments à l'état de traces. Les volumes requis pour l'analyse peuvent être importants selon les laboratoires d'analyses. Ainsi, comme indiqué, dans certains cas un ré-échantillonnage de la zone précédemment prélevée est nécessaire.

Ce dispositif est adapté à la recherche de la plupart des substances chimiques.

Une vidéo disponible sur Internet montre comment utiliser ce matériel (Model 425 Discrete Interval Sampler : <https://www.solinst.com/>).

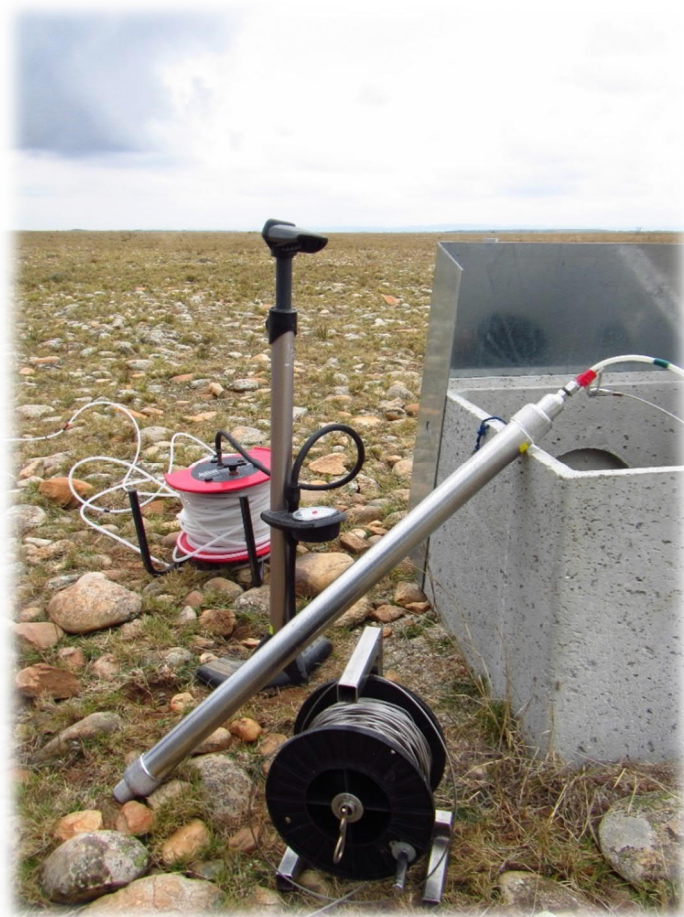


Figure 11 : Echantillonneur commandé (source : Ineris)

#### **AVANTAGES**

- Pas de purge
- Pas besoin de source d'énergie (d'électricité)
- Facile d'utilisation

#### **LIMITATIONS**

- Caractérisation impérative des flux verticaux (pour multiniveau en particulier, à noter qu'une source d'énergie est nécessaire pour utiliser un heat-pulse flowmeter)
- Le volume d'eau recueilli dans un échantillonneur peut être insuffisant pour tous les paramètres à quantifier (limites de quantification et nombre d'éléments à analyser)
- L'équipement nécessite un nettoyage, une décontamination entre les prélèvements
- Risque de mélange des eaux dans le piézomètre lors de la descente/remontée à différentes profondeurs



### ***Echantillonneur entre obturateurs***

Pour discrétiser une partie de la colonne d'eau dans un piézomètre complet (cf. 2.2.1) il est possible d'utiliser des obturateurs ou « packers » (Figure 12). Ces « boudins » gonflables permettent d'obturer le piézomètre (intérieur du tubage) et d'isoler une zone ciblée afin de réaliser des prélèvements dans cette zone (notamment à partir d'une pompe immergée). Ils peuvent être proposés en modèles simples, doubles ou triples.



*Figure 12 : Packers avec pompe à vessie (source : Ineris)*

Gonflés à l'aide d'un compresseur, les packers permettent d'obturer une partie d'un piézomètre selon les profondeurs choisies (partie crépinée du piézomètre). Plusieurs combinaisons sont possibles et sont illustrées par la Figure 13 :

- 1 packer simple utilisé pour isoler l'intervalle entre le toit de la nappe et le packer ou bien pour isoler l'intervalle entre le packer et le fond du piézomètre ;
- 2 packers permettant de prélever un niveau défini ;
- 2 packers pour prélever 3 niveaux via 3 pompes immergées par exemple, le toit de la nappe ; un intervalle central et le fond.

Plusieurs types de pompes ou échantillonneurs passifs (PDB, etc.) peuvent équiper le système. Concernant les pompes, il est cependant conseillé d'utiliser des pompes à faibles débits afin de limiter le drainage de particules au pourtour de la zone prélevée et de prélever des eaux issues d'horizons non souhaités via l'extrados (par exemple pompe avec système « low flow » ou pompe à vessie). Compte

tenu de la taille de ce type de dispositif, il est recommandé après mise en place d'attendre un retour à l'équilibre des conditions hydrodynamiques.

Initialement utilisé pour les tests de conductivité hydraulique (notamment pour la mise en place d'une barrière passive au droit des Installations de Stockages de Déchets), le système avec packers et pompe immergée permet d'échantillonner un volume important. Le mode de fonctionnement permet l'analyse de toutes les substances chimiques recherchées.

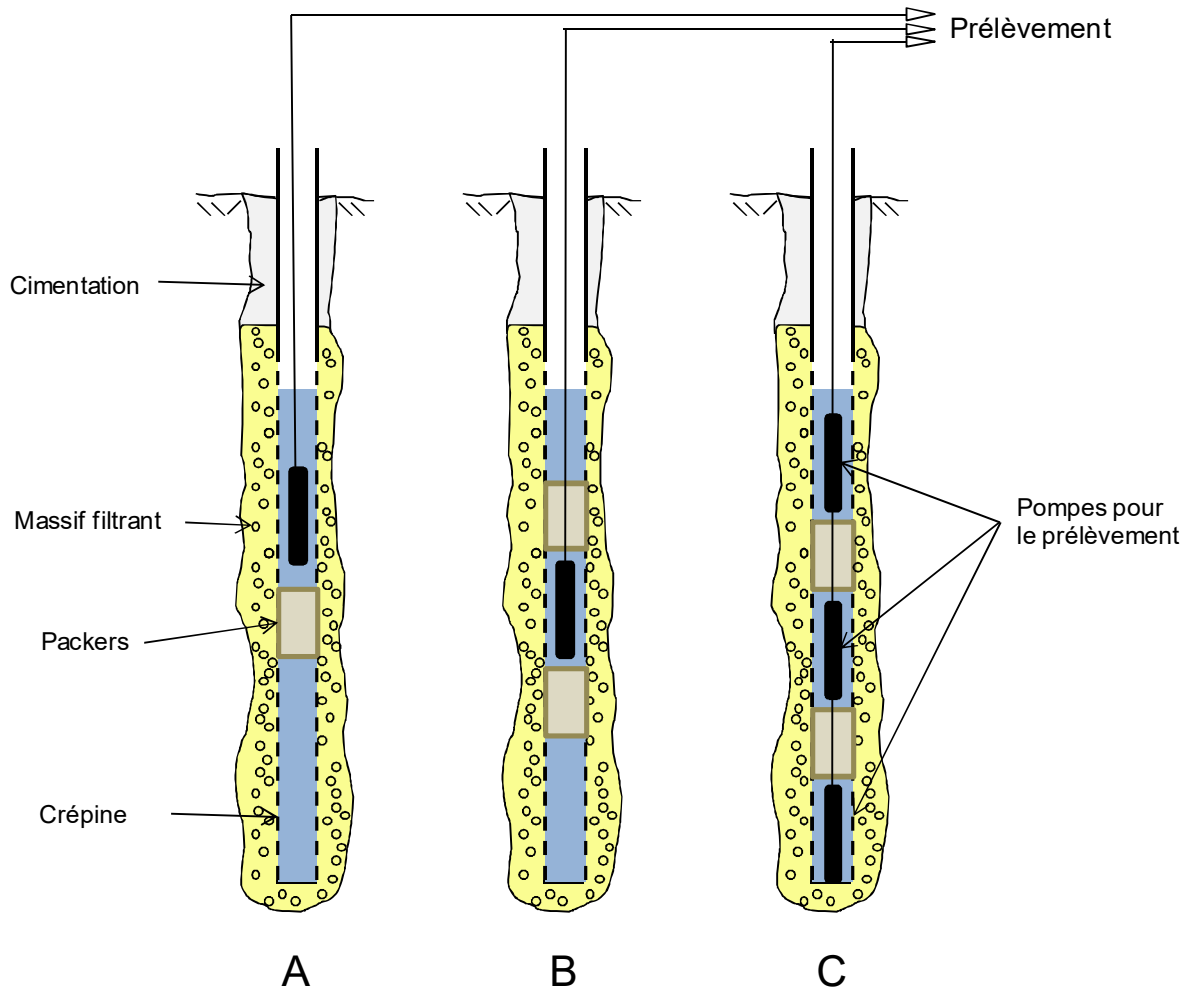


Figure 13 : Différentes configurations pour l'utilisation des packers (avec pompes immergées par exemple) ; A- Prélèvement au toit de la nappe (1 pompe) ; B – Prélèvement entre packers (1 pompe) ; C- Prélèvement de 3 niveaux (3 pompes) (source : Ineris)



### AVANTAGES

- Modulable au regard du contexte hydrogéologique et de la pollution
- Permet de s'affranchir des flux verticaux au sein du tubage (mais pas à l'extrados)

### LIMITES

- Coût, dans le cas d'un système spécifique comme avec pompe à vessie déjà installée entre deux packers
- Caractérisation impérative des flux verticaux (pour multiniveau en particulier)
- Nécessite du personnel qualifié pour sa mise en place et son utilisation
- Besoin de source d'énergie (d'électricité)
- Durée de mise en place et de prélèvement importante dans le cas d'une pompe à vessie (débit <1 L/mn)
- L'équipement nécessite un nettoyage, une décontamination entre les prélèvements
- Risque de mélange des eaux dans le piézomètre lors de la descente (avant de gonfler les packers)
- Longueur du dispositif

## Echantillonneur Kemmerer

Bien que généralement considérés comme échantillonneurs d'eau de surface, les échantillonneurs Kemmerer peuvent être utilisés pour les eaux souterraines (USGS, 2003). Cet échantillonneur vertical à clapet permet d'échantillonner les eaux souterraines à différentes profondeurs (*Practical handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring, 2005*). L'obtention d'un profil vertical nécessite de répéter autant de fois que nécessaire la descente et la remontée du système en fonction du volume à prélever. Des précautions sont à prendre afin de limiter l'homogénéisation de la colonne d'eau au cours de l'opération et notamment en ce qui concerne la vitesse de descente et remontée.

L'échantillonneur Kemmerer (cf. Figure 14) se compose d'un récipient avec bouchons, clapets. Il est attaché à une ligne et descendu à travers la colonne d'eau. À la profondeur voulue, un plomb coulisse sur la ligne entraînant l'ouverture et la fermeture des clapets pour le prélèvement. Le corps de l'échantillonneur est en acier inoxydable, polyuréthane, PTFE ou PVC et les bouchons, clapets sont en polyuréthane, en silicone ou en Téflon®. Cet échantillonneur est disponible selon différents formats (600 mL à 1,2 L).

Il est conseillé de laisser l'échantillonneur dans l'ouvrage à prélever pour une période d'équilibre (de quelques heures à plusieurs jours, fonction des conditions hydrodynamiques du milieu).

Le mode de fonctionnement (volume récupéré) et la nature variée des matériaux permettent l'analyse de la plupart des substances chimiques à rechercher.



Figure 14 : Echantillonneur vertical type Kemmerer, PTFE (source : <https://www.sdec-france.com/>)

### AVANTAGES

- Pas de purge
- Pas besoin de source d'énergie (d'électricité)
- Facile d'utilisation

### LIMITATIONS

- Caractérisation impérative des flux verticaux (pour multiniveau en particulier, à noter qu'une source d'énergie est nécessaire pour utiliser un heat-pulse flowmeter)
- Le volume d'eau recueilli dans un échantillonneur peut être insuffisant pour tous les paramètres à quantifier selon le format retenu (nombre d'éléments à analyser)
- L'équipement nécessite un nettoyage, une décontamination entre les prélèvements
- Risque de mélange des eaux dans le piézomètre lors de la descente/remontée à différentes profondeurs
- Risque de défaut d'étanchéité entre joint téflon et corps en acier inoxydable

## HydraSleeve™

Ce dispositif peut être utilisé dans les eaux souterraines, les eaux de surfaces et les réservoirs. Pour l'eau souterraine il n'est pas nécessaire de purger l'ouvrage. Le dispositif est positionné à la profondeur souhaitée. Différentes dimensions sont disponibles afin de prélever un volume d'échantillon plus ou moins grand, selon la taille du piézomètre et les nécessités par rapport aux analyses programmées. La mise en place de plusieurs Hydrasleeves bout à bout permet un prélèvement multiniveau.

Les échantillonneurs Hydrasleeve sont conçus pour s'adapter à plusieurs diamètres de piézomètres. La prise d'échantillon est comprise entre 200 mL et 2 L. L'Hydrasleeve comprend les 3 constituants (cf. Figure 15) suivants :

- une poche de polyéthylène flexible et imperméable, fermée au niveau de son extrémité inférieure, et ayant un diamètre compris entre 2,5 et 6,6 cm. Cette poche adopte une forme cylindrique lorsqu'elle est pleine, mais est plate dans le cas contraire. Elle fait généralement 76,2 cm de long, mais des poches de dimensions différentes peuvent être fabriquées. Cette poche est terminée au sommet par une valve flexible de contrôle de chargement, qui fonctionne sur le principe de la pression hydrostatique ;
- une ficelle de suspension pour maintenir la poche (souvent en polyéthylène) ;
- un poids réutilisable en acier inoxydable.



Figure 15 : Hydrasleeve™ type "SKINNY SuperSleeve 2"  
(source : Ineris)

Lors du déploiement en multiniveau, les échantillonneurs accrochés les uns aux autres (cf. Figure 16) sont lentement descendus dans l'ouvrage à prélever (15 cm/s) pour minimiser les perturbations. Étant donné que le dispositif fonctionne sur le principe de la pression hydrostatique, il ne s'ouvre pas lors de la descente. Après avoir atteint la profondeur cible (haut de l'échantillonneur en dessous de la profondeur cible), les échantillonneurs sont attachés à la tête de l'ouvrage pendant une durée fonction des composés à analyser et des conditions hydrodynamiques du milieu. Il est recommandé d'attendre au moins 24 h pour retrouver les conditions initiales avant la mise en place du dispositif. Après cette

période d'atteinte de l'équilibre, l'Hydrasleeve doit être tiré vers le haut sur une distance de 1,5 à 2 fois la longueur de l'échantillonneur, de manière à le placer au sein de l'intervalle de prélèvement. Les échantillonneurs sont remontés à la surface à une vitesse de 30 cm/s afin que la pression hydrostatique ouvre la soupape flexible permettant l'échantillonnage de l'eau. Arrivée à la surface, la soupape flexible du sommet de l'échantillonneur se ferme afin d'éviter tout échange (perte ou apport) avec le milieu extérieur à pression atmosphérique. Une fois que l'échantillonneur est à la surface, l'échantillon doit être immédiatement transféré dans des flacons adaptés.

Une vidéo disponible sur Internet montre comment utiliser ce matériel (<https://www.hydrasleeve.com/>).

Les échantillonneurs HydraSleeve sont des préleveurs ponctuels à des profondeurs définies et ils sont adaptés à la plupart des substances classiquement recherchées, dans la limite du volume d'échantillon disponible. Avant de choisir les dimensions de l'Hydrasleeve, il est important de connaître le volume d'échantillon requis pour réaliser les analyses, le diamètre du piézomètre ainsi que la longueur et la position des sections crépinées.

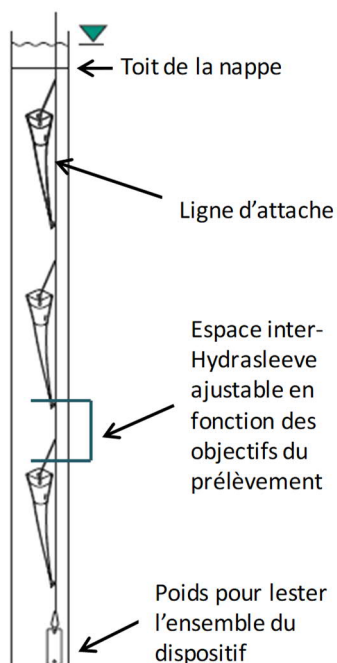


Figure 16 : Représentation d'Hydrasleeves placés bout à bout pour un prélèvement multiniveau (source : Ineris)

### **AVANTAGES**

- Faible coût
- Pas de purge
- Pas besoin de source d'énergie (d'électricité)
- Facile d'utilisation
- Facile à transporter

### **LIMITATIONS**

- Caractérisation impérative des flux verticaux (pour multiniveau en particulier, à noter qu'une source d'énergie est nécessaire pour utiliser un heat-pulse flowmeter)
- Nécessite un temps d'équilibre (durée de 24h recommandée, voir encart ci-après)
- Le volume d'eau recueilli dans un échantillonneur peut être insuffisant pour tous les paramètres à quantifier (limites de détection et nombre d'éléments à analyser)

### **Point d'attention**

Une version plus récente a été développée, le « Speedbag », permettant de s'affranchir de la durée d'équilibre de 24h (<https://www.hydrasleeve.com/>)

## Snap Samplers

Le Snap Sampler est un dispositif qui peut être adapté et configuré en fonction du cas d'étude et notamment pour un prélèvement multiniveau (volumes, profondeurs, paramètres physico-chimiques tels que pH, température, conductivité, etc.).

Ce dispositif est constitué de trois composants : le corps de l'échantillonneur, une bouteille, une ligne de suspension. La bouteille est à double ouverture et possède un diamètre de 4,2 cm. Deux types de bouteilles sont disponibles :

- en verre de 20,3 cm, permettant de prélever un volume de 40 mL ;
- en polyéthylène de 26,7 cm, permettant de prélever un volume de 125 mL.

Un autre échantillonneur en polyéthylène est proposé pour le prélèvement de 350 mL, et dans ce cas, la bouteille mesure 26,7 cm de longueur pour un diamètre de 7,5 cm (vérifier le diamètre du piézomètre avant de retenir ce format).

Le Snap Sampler (cf. Figure 17) est attaché à la ligne de suspension par un tube en polyéthylène haute densité (HDPE) creux dans lequel se trouve un câble de retrait en acier inoxydable enrobé de propylène éthylène fluoré (FEP). Plusieurs échantillonneurs peuvent être associés sur la verticale. Une période de mise à l'équilibre est conseillée et au moment de collecter l'échantillon, le câble de retrait est activé en tirant sur la détente, ce qui ferme la bouteille et permet la collecte d'eau dans les conditions *in situ*.

Le Snap Sampler ne requiert pas le transfert de l'échantillon dans des récipients de laboratoire et de ce fait limite les pertes de composés volatils.

Cet outil est adapté à toutes les substances classiquement recherchées, dans la limite du volume d'échantillon disponible.

Une vidéo disponible sur Internet montre comment utiliser le snap Sampler (<http://snapsampler.com/>).



Figure 17 : Echantillonneur Snap Sampler composé de plusieurs bouteilles de prélèvements (source : <http://snapsampler.com/>)

### AVANTAGES

- Pas de purge
- Pas besoin de source d'énergie (d'électricité)
- Limite le risque de perte de volatils ou de contamination croisée (bouteilles scellées)
- Modulable au regard du contexte hydrogéologique et de la pollution
- Dispositif réutilisable car pouvant rester dans le piézomètre dans certains cas et être prêt à l'emploi pour la prochaine campagne de prélèvement

### LIMITATIONS

- Caractérisation impérative des flux verticaux (pour multiniveau en particulier, à noter qu'une source d'énergie est nécessaire pour utiliser un heat-pulse flowmeter)
- Le volume d'eau recueilli dans un échantillonneur peut être insuffisant pour tous les paramètres à quantifier (nombre d'éléments à analyser)
- Conception spécifique à chaque site (nécessite connaissances préalables)
- Nécessite du personnel qualifié pour sa mise en place voire son utilisation

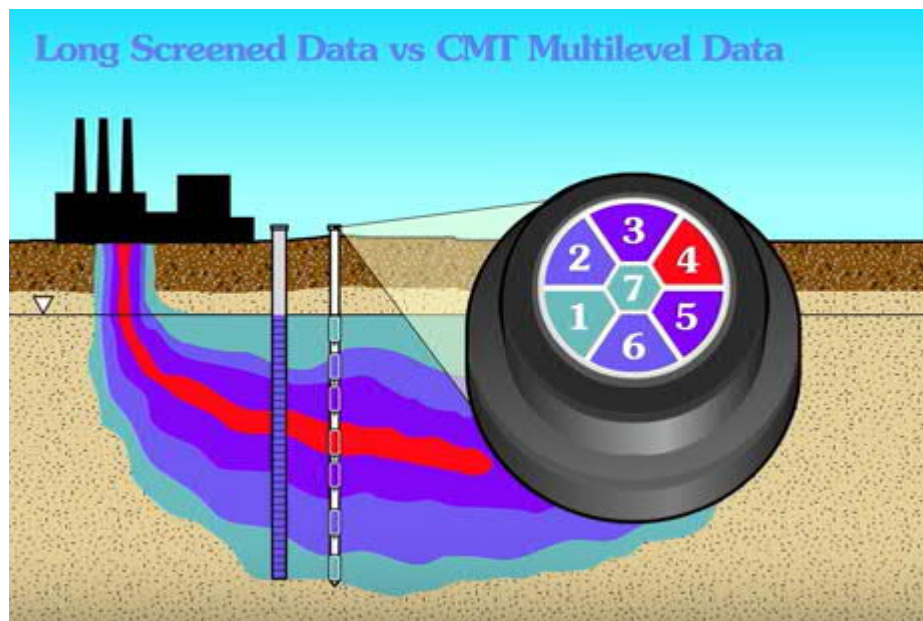
## Systeme CMT

Le système CMT pour « Continuous Multichannel Tubing » est un système de surveillance des eaux souterraines à plusieurs niveaux, jusqu'à 7 zones distinctes au sein d'un seul ouvrage. Réalisable en 3 ou 7 canaux, il est équivalent à 3 ou 7 piézomètres captant des niveaux différents (piézomètres en « flûte de Pan » cf. 2.2.2).

Le dispositif (cf. Figure 18) est constitué d'un tube suffisamment rigide et léger pour être facilement manipulé à la main. Avant d'insérer le tube dans le trou de forage, les compartiments sont créés en fonction du nombre de zones à prélever. Les zones sont isolées de façon permanente par packers ou bentonites par exemple. Les canaux sont équipés de pompes, de capteurs de pressions ou de capteurs pour la mesure des paramètres physico-chimiques.

Le mode de fonctionnement permet l'analyse de la plupart des substances chimiques à rechercher.

Une vidéo disponible sur Internet montre comment utiliser ce matériel (Model 403 CMT Multilevel System : <https://www.solinst.com/>). Il semble au regard des informations disponibles que la mise en place de ce dispositif nécessite l'appui de spécialistes (à notre connaissance il existe quelques CMT implantés en France hors cadre R&D).





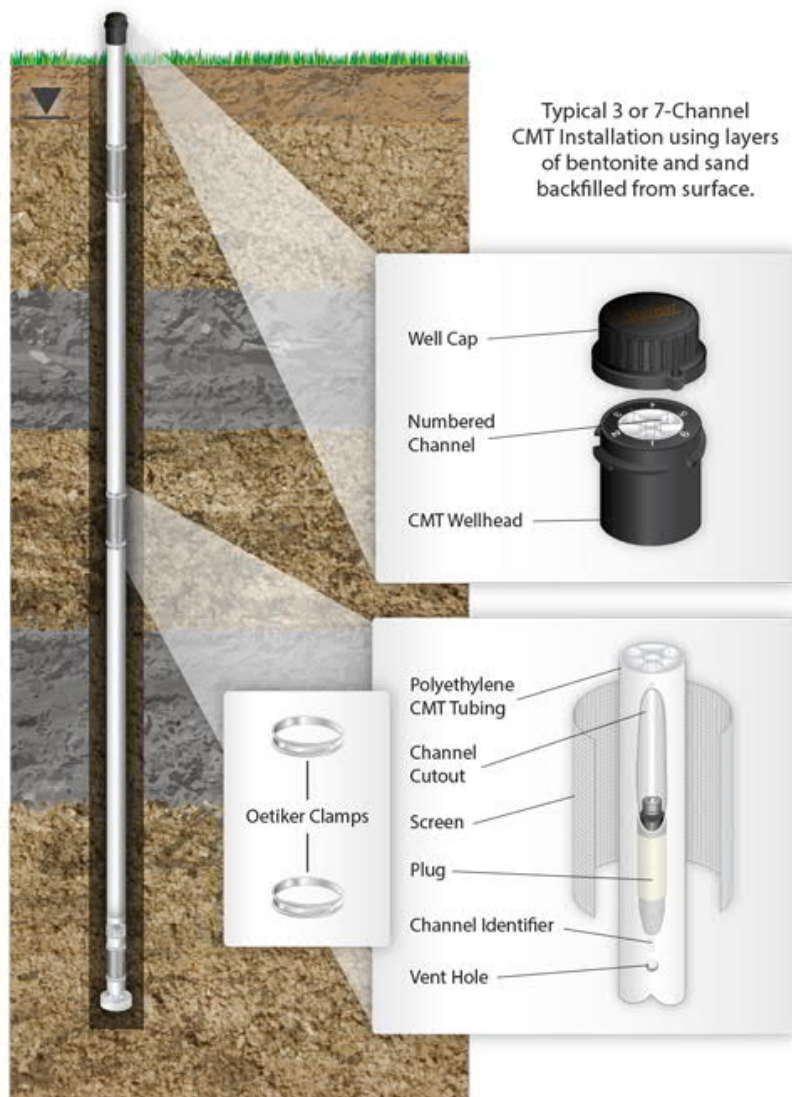


Figure 18 : Système CMT (source : <https://www.solinst.com/>)

### AVANTAGES

- Faible volume de purge
- Système à demeure
- Modulable au regard du contexte hydrogéologique et de la pollution
- Permet de limiter voire de s'affranchir des flux verticaux (cf. mise en place dans trou nu avec zones isolées)

### LIMITES

- Coût (conception, montage, etc.)
- Nécessite du personnel qualifié pour sa mise en place voire son utilisation
- Conception spécifique à chaque site (nécessite connaissances préalables)
- Longueur du dispositif

### Point d'attention

Une comparaison avec le système Waterloo mis à disposition sur <https://www.solinst.com/> indique que le CMT est plutôt adapté à des milieux peu profonds (entre 6 et 50 m)



## Système Waterloo

Le système de surveillance multiniveau « Waterloo » est un système modulaire utilisé pour le prélèvement d'eau souterraine à différentes profondeurs, notamment dans le cadre d'aquifères multicouches, dans les milieux fracturés.

Initialement développé par des chercheurs de l'Université de Waterloo (Cherry et Johnson, 1982), ce dispositif est constitué d'une série de ports de surveillance placés à intervalles spécifiques au sein de l'aquifère.

Le système Waterloo se compose d'un boîtier de contrôle et de différents modules de mesures et de prélèvements (cf. Figure 19). Chaque module de prélèvement est disponible en acier inoxydable, en nylon ou en Téflon®. Chaque section est reliée à la surface (boîtier) par des tubes de petits diamètres. Le nombre maximal de compartiments varie de 2 à 24 en fonction de l'installation. Les zones sont isolées de façon permanente par packers ou bentonites par exemple, et chaque port est connecté individuellement à la surface. Le dispositif est assemblé selon les besoins dans une colonne de tubage en PVC ou en acier inoxydable ou directement implanté dans un trou nu.

Le système modulaire Waterloo permet une installation entièrement personnalisée selon les besoins de l'étude. Les systèmes peuvent être mis en place de biais (sondages inclinés) ou verticalement.



Figure 19 : Système Waterloo (source : <https://www.solinst.com/>)

Le mode de fonctionnement permet l'analyse de la plupart des substances chimiques.

Des documents disponibles sur Internet montrent comment utiliser ce matériel (Model 401 Waterloo Multilevel System : <https://www.solinst.com/>).

### **AVANTAGES**

- Faible volume de purge
- Système à demeure
- Modulable au regard du contexte hydrogéologique et de la pollution
- Permet de limiter voire de s'affranchir des flux verticaux (cf. mise en place dans trou nu avec zones isolées)

### **LIMITES**

- Coût (conception, montage, etc.)
- Nécessite du personnel qualifié pour sa mise en place voire son utilisation
- Conception spécifique à chaque site (nécessite connaissances préalables)
- Longueur du dispositif

#### Point d'attention

Une comparaison avec le système CMT mis à disposition sur <https://www.solinst.com/> indique que cet outil est plutôt adapté à des milieux profonds (> 30 m)

## Système Westbay

Ce système d'instrumentation modulaire permet l'échantillonnage et la mesure à plusieurs niveaux de la nappe. Le système Westbay est utilisé depuis 1978 dans le cadre de projets et de contextes géologiques variés : <https://www.westbay.com/>. Il est composé (cf. Figure 20) :

- d'un boîtier de contrôle pour commander les différents équipements situés aux différentes profondeurs (prélèvements d'échantillons, mesures hydrauliques). Chaque compartiment est hermétiquement isolé ;
- de sondes/équipements installés de façon permanente.

Une large gamme d'équipements peut être utilisée, avec la possibilité d'un suivi temporel de plusieurs paramètres (pH, Eh, oxygène dissous, température, conductivité, etc.). Les sondes sont positionnées entre des packers. Il existe différentes formes et tailles de packers permettant de s'adapter aux différents forages et objectifs.

Les compartiments ont une longueur de 0,5 m, 1,5 m ou 3,0 m et sont disponibles en 38 mm et 55 mm de diamètre. Les orifices à valve s'ouvrent pour mesurer la pression du fluide, pour prélever des échantillons ou pour tester les paramètres hydrodynamiques.

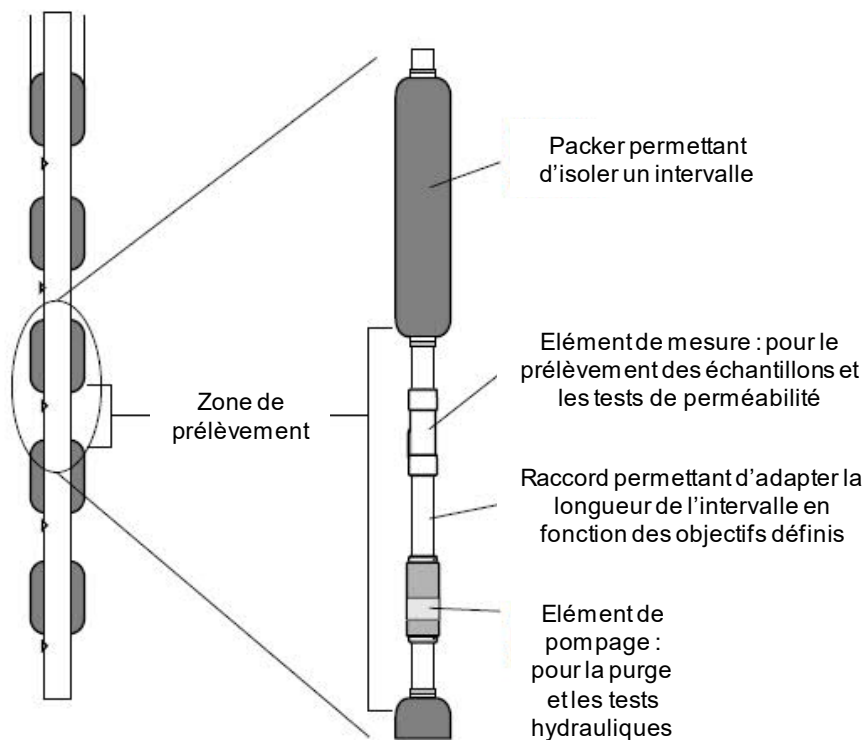


Figure 20 : Système Westbay (source: *Practical Handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring*, 2005)

Chaque piézomètre de surveillance doit être conçu spécifiquement. L'installation de ce système nécessite une connaissance fine du site et de la problématique.

Le mode de fonctionnement permet l'analyse de la plupart des substances chimiques.

### **AVANTAGES**

- Pas de purge
- Système à demeure
- Modulable au regard du contexte hydrogéologique et de la pollution
- Permet de limiter voire de s'affranchir des flux verticaux (cf. mise en place dans trou nu avec zones isolées)

### **LIMITATIONS**

- Coût (conception, montage, etc.)
- Nécessite du personnel qualifié pour sa mise en place voire son utilisation
- Conception spécifique à chaque site (nécessite connaissances préalables)
- Longueur du dispositif

## 2.4 Dispositifs en cours de développement

Lors de récentes journées techniques « sites et sols pollués », co-organisées par le BRGM et l'Ineris en concertation avec le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES), l'importance que peut avoir dans certains contextes le prélèvement multiniveau a été rappelée. Ce fut notamment le cas lors de présentations liées à la rédaction puis la diffusion du guide portant sur la surveillance du milieu eau souterraine (cf. Guide DGPR « Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués » dans sa version en vigueur). En outre, à l'issue d'un colloque organisé par l'ADEME en mai 2017 afin de présenter les travaux financés notamment via l'appel à projets GESIPOL, ce point avait également été mis en exergue.

C'est pourquoi un projet cofinancé par l'ADEME (HRSC : High resolution site characterization) est en cours et que BRGM et Ineris y sont associés. Ce projet vise à faciliter la reconnaissance d'outils innovants permettant une caractérisation multiniveau de la qualité des eaux souterraines. En effet, partant du constat que des outils existent ou sont en cours de développement sans que leurs domaines de fonctionnement ne soient toujours suffisamment établis et/ou reconnus par l'ensemble des acteurs des sites et sols pollués, l'objectif final est de parvenir à une diffusion plus large (s'ils s'avèrent pertinents). A noter que ce projet n'intègre pas l'aspect ouvrage présenté à la section 2.2.

D'autres travaux sont également envisagés par BRGM et Ineris afin d'intégrer l'aspect ouvrage à un exercice de comparaison dédié à cet aspect multiniveau.

### 3 Conclusion et perspectives

Ce document vise à recenser les méthodes existantes ou à venir pour mener à bien un prélèvement à plusieurs niveaux dans un aquifère. Il se base sur le retour d'expérience de l'Ineris, sur la consultation de guides techniques, normes, publications ou encore sur des échanges avec des développeurs et distributeurs de matériels.

Deux aspects sont traités, d'une part, les options envisageables concernant les ouvrages (ou piézomètres) donnant accès à un prélèvement à différentes profondeurs et, d'autre part, les principaux dispositifs (outils et protocoles) existants.

A ce jour, il est admis que tout piézomètre complet (en particulier si la crépine > 3 m de long) peut être le siège de courts-circuits hydrauliques entre des couches à charges hydrauliques différentes (de la charge la plus élevée vers la moins élevée). La pollution qui migre dans le milieu suit le cheminement de l'eau. La solution qui paraît en théorie la plus adaptée consiste à mettre en place plusieurs piézomètres en flûte de pan ou à réaliser plusieurs cimentations afin de garantir la représentativité du prélèvement multiniveau. Toutefois, cette solution a un coût important, et la question qui perdure est de savoir s'il existe une solution intermédiaire, apportant des résultats similaires, compte tenu des incertitudes inhérentes à tout prélèvement (terrain, laboratoire).

A ce stade, la mesure des flux verticaux semble indispensable pour garantir la représentativité dans le cas d'un forage unique et complet, même si le prélèvement a lieu entre packers. Il apparaît également que des dispositifs, encore très peu employés en France, tels que le CMT, présentent un intérêt. Il paraît nécessaire dans le cadre de futurs travaux d'intégrer *a minima* ce dispositif CMT ainsi que l'aspect ouvrage à un exercice de comparaison dédié spécifiquement au prélèvement multiniveau.

## 4 Références

- ADEME (2014). « Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués ». Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par J. Michel (Ineris) avec la participation de M. Lemoine (Ineris). Projet Passcitychlor.
- AFNOR (2017). NF X 31-615 « Qualité des sols - Méthodes de détection, de caractérisation et de surveillance des pollutions en nappe - Echantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance ».
- AFNOR (2017). NF X31-614 « Qualité des sols - Méthode de détection et de caractérisation des pollutions - Réalisation d'un forage de contrôle ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué ».
- Cherry, J.A. and Johnson P.E., 1982. A multi-level device for monitoring in fractured rock, *Ground-Water Monitoring Review*, 2(3), 41–44.
- Church, P.E. and Granato G.E., 1996. Bias in ground-water data caused by well-bore flow in long-screen wells, *Ground Water*, 34(2), 262–273.
- Dumble P., 2006. Groundwater monitoring and sampling – Newresearch and the Importance of borehole construction Papers from the 2006 North American Field Conference & Exposition, January 10 to 12.
- Environment Agency, 2005. Guidance on the design and installation of groundwater quality monitoring points.
- Gorecki T. and Namiesnik J., 2002. Passive Sampling. *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 21, (4), 276-290.
- Metcalf, M.J., and G.A. Robbins. 2007. Comparison of water quality profiles from shallow monitoring wells and adjacent multilevel samplers. *Ground Water Monitoring & Remediation* 27, no. 1: 84–91.
- McDonald & Smith, 2009. Concentration Profiles in Screened Wells under Static and Pumped Conditions. *Ground Water Monitoring & Remediation* 29, (2), 78–86.
- Ministère de la transition écologique et solidaire – DGPR. « Surveillance de la qualité des eaux souterraines appliquée aux ICPE et sites pollués » dans sa version en vigueur.
- Practical handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring, second edition / edited by David M. Nielsen.-2nd ed 2005.
- Seethapathy S., Gorecki T., Li X., 2008. Passive sampling in environmental analysis. *Journal of Chromatography A* 1184, 234-253.
- Ineris, 2019. « Les échantillonneurs passifs de flux pour la mesure de la qualité des eaux souterraines ». Rapport DRC-20-153805-00298A.
- Ineris, 2018. « Contamination des eaux souterraines dans le contexte des ICPE et des sites pollués ». Rapport DRC-17-164249-11465A.
- Ineris, 2017. « Comparaison entre outils et protocoles d'échantillonnage des eaux souterraines sur le site atelier de la Crau – BIODÉPOL ». Rapport DRC-15-140314-11768A.
- Ineris, 2011a. Rapport INERIS-DRC-11-105722-05324A, «Projet Metrocap - Synthèse bibliographique relative aux capteurs passifs utilisés pour la mesure de la qualité des eaux souterraines » du 29/05/2011.
- Ineris, 2011b. Rapport DRC-11-105722-02621A, « Projet Metrocap - Synthèse de l'enquête réalisée auprès des bureaux d'études quant à leur utilisation de capteurs passifs pour le prélèvement d'eaux souterraines », du 28/02/2011.
- Ineris, 2011c. Rapport DRC-11-105722-04595A, « Projet Metrocap - Recommandations pour l'utilisation des capteurs passifs pour la mesure de la qualité des eaux souterraines » du 29/05/2011.
- Ineris, 2011d. Rapport DRC-11-105722-05328A, « Projet Metrocap - Synthèse de tests exploratoires sur sites de mesures de COHV dans les eaux souterraines par capteurs passifs » du 29/05/2011.
- Interstate Technology and Regulatory Council Diffusion/Passive samplers Team, 2007. Protocol for Use of Five Passive Samplers to sample for a variety of contaminants in groundwater, ITRC Technical and Regulatory Guidance.

USGS, 2003. National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data: Techniques of Water-Resources Investigations Book 9 Handbooks for Water-Resources Investigations (Chapter 2), 28.

Varljen M.D., Barcelona M.J., Obereiner J., and Kaminski D. 2006. Numerical simulations to assess the monitoring zone achieved during low-flow purging and sampling, *Ground-Water Monitoring and Remediation*, in press.

Vrana B., Mills G.A., Allan I.J., Dominiak E., Svensson K., Knutsson J., Morrison G., Greenwood R., 2005. Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. *Trends Analytical and Chemistry* 24, 845-868.

Zabiegała B., Kot-Wasik A., Urbanowicz M., Namieśnik J., 2010. Passive sampling as a tool for obtaining reliable analytical information in environmental quality monitoring. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 396, 273-296.



