



# LES ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS A L'ÉQUILIBRE

## OUTILS POUR LA CARACTÉRISATION DES EAUX SOUTERRAINES

### DESCRIPTION DU PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

Les échantillonneurs passifs sont des dispositifs d'échantillonnage servant, entre autres, à la caractérisation hydrodynamique ou chimique des eaux souterraines à **une profondeur donnée dans un piézomètre** (voir fiches HRSC-1 et HRSC-2). Pour la caractérisation chimique, ils permettent de **prélever les polluants sans source d'énergie extérieure et sans purge de l'ouvrage** et permettent aussi d'abaisser les coûts liés au traitement de l'eau de purge. Les prélèvements conventionnels donnent une concentration moyenne sur toute la colonne d'eau, en réalisant un prélèvement d'eau à l'aide d'une pompe après la purge de l'ouvrage, ce qui engendre des déplacements d'eau, une turbidité et peut perturber les conditions du milieu lors du prélèvement. Les **échantillonneurs passifs permettent, au contraire, un échantillonnage sans perturber le milieu** et donc d'obtenir des **concentrations plus représentatives des conditions du milieu à une profondeur donnée**.

Il existe trois catégories d'échantillonneurs passifs, à sélectionner selon l'objectif de l'étude, qui reposent sur différents principes de fonctionnement et qui fournissent différentes informations :

- **les échantillonneurs passifs instantanés (EPI)** qui permettent, à travers un échantillon d'eau instantané et sans purge, de déterminer la concentration en polluants à un instant donné et à une profondeur donnée (ponctuel).
- **les échantillonneurs passifs à l'équilibre (EPE)** qui sont basés sur la diffusion des polluants d'intérêt du milieu étudié vers le milieu d'échantillonnage durant sa période d'exposition. Ces échantillonneurs passifs permettent de déterminer la concentration en polluants représentative du milieu à la fin de la phase d'exposition **sans prélèvement d'eau**.

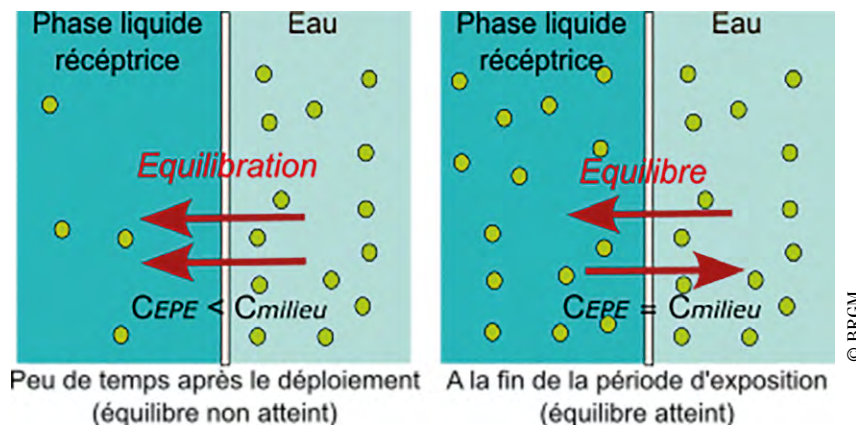
- **les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP)** qui sont basés sur la diffusion et la sorption des polluants d'intérêt sur/dans l'échantillonneur durant sa période d'exposition. Ils permettent de déterminer la concentration moyenne en polluants pendant leur durée d'exposition **sans prélèvement d'eau** (voir PASSIF-2).

**Cette fiche se concentre sur le cas des échantillonneurs passifs à l'équilibre (EPE).**

La technique des EPE repose sur la mise en équilibre des concentrations entre 2 milieux. Les EPE se composent d'une **phase réceptrice** (eau déionisée ou air) entourée d'une membrane de diffusion perméable aux polluants d'intérêt. Durant **l'exposition dans l'eau, les polluants ciblés diffusent à travers la membrane jusqu'à atteindre un équilibre entre les concentrations en polluants** dans l'eau et dans la phase réceptrice. L'échantillonneur doit être déployé jusqu'à ce que l'équilibre thermodynamique soit atteint.

Chaque couple EPE/polluant se caractérise par le **temps nécessaire pour atteindre l'équilibre**, le coefficient de distribution du polluant entre l'eau et la phase réceptrice ( $K_{EPE}$ ), et le volume de phase réceptrice ( $V_{ex}$ ). Certains de ces paramètres dépendent **du type et de l'épaisseur de la membrane** utilisée par l'EPE et des paramètres physico-chimiques du milieu (pH, température, salinité, bioencrassement, ...).

Les EPE peuvent donner plusieurs types d'informations : un seul EPE déployé donne la concentration ponctuelle à une profondeur et un instant donné (au moment du retrait) ; le déploiement d'une série d'EPE dans un puits permet de donner la distribution verticale du polluant à un instant donné.



Principe de fonctionnement des EPE

# LES ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS À L'ÉQUILIBRE

## CONTEXTE D'UTILISATION

Certains EPE permettent l'échantillonnage des eaux de surface, des sols ou de l'air, mais peu sont encore disponibles sur le marché. Seuls les EPE adaptés pour l'échantillonnage des eaux souterraines sont présentés dans cette fiche.

Comme pour l'ensemble des échantillonneurs passifs, chaque EPE permet de **cibler spécifiquement une famille de polluants**; ils sont donc adaptés au suivi et à la surveillance des **sites ayant déjà fait l'objet d'une première caractérisation** et où la nature et les gammes de concentrations des polluants présents sont connues.

## POLLUANTS CONCERNÉS

La plupart des échantillonneurs à l'équilibre permettent l'échantillonnage des COV dans les eaux souterraines, mais d'autres types de polluants peuvent être recherchés selon l'EPE choisi : cations, anions majeurs, métaux, perchlorates, composés émergents comme le 1,4-dioxane ou les PFAS.

Les échantillonneurs passifs ne peuvent pas être utilisés

## MATÉRIEL NÉCESSAIRE

Le matériel nécessaire se compose des **EPE pré-remplis de leur phase réceptrice** (consommable) et des **supports de fixation et de déploiement** pour maintenir les échantillonneurs dans la colonne d'eau (cages, filets en acier inoxydable ou plastiques, cordes et lestés selon les modèles). Ces supports sont réutilisables et sont souvent fournis avec l'EPE. Il est préférable de privilégier des systèmes de déploiement et de fixation non métalliques pour la mesure des ETM, et métalliques pour la mesure des composés organiques.

L'ensemble du matériel doit être propre pour éviter la contamination des EPE et de l'eau.

## MÉTHODOLOGIE

### Étude préalable

Le **choix de l'EPE** est à considérer avec attention et dépend :

- Des caractéristiques des ouvrages (diamètre du piézomètre),
- Des familles de **polluants ciblés**,
- De la **durée d'exposition** nécessaire à l'EPE pour que l'équilibre avec le milieu soit atteint,
- De la **disponibilité de données de calibration spécifiques** au couple polluant/EPE utilisé pour déterminer les temps d'équilibre.

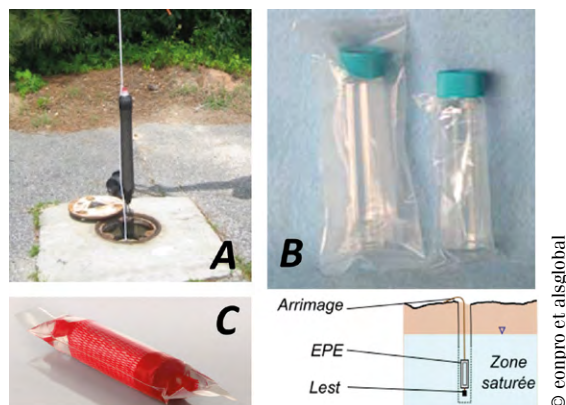
Avant l'installation, les caractéristiques de la nappe et des piézomètres dans lesquels les échantillonneurs sont installés doivent être connues (position et longueur de l'intervalle crépiné, flux verticaux naturels dans l'ouvrage, horizons plus ou moins productifs, variations du niveau statique de la nappe, ...). À partir de ces informations et des objectifs de l'étude, la position des EPE est déterminée, de manière à ce qu'ils **restent immergés durant toute leur exposition** :

- Dans les piézomètres à intervalles crépinés inférieurs à 1,5 m, l'échantillonneur est généralement positionné au centre de la crépine, qu'il y ait présence ou non de flux verticaux naturels.
- Pour les intervalles crépinés supérieurs à 1,5 m, plusieurs

### À quelle étape ?

Les échantillonneurs passifs à l'équilibre peuvent être utilisés en remplacement ou en complément des méthodes de prélèvement classiques lors du **diagnostic avancé**, de la **dépollution des milieux** et/ou de la **surveillance** afin de rechercher et mesurer ponctuellement et spécifiquement la concentration de certaines familles de polluants.

pour détecter des phases de flottant ou de plongeant. Il est possible **d'utiliser simultanément plusieurs types d'EPE** pour suivre plusieurs familles de polluants, à condition de les placer à des profondeurs différentes pour éviter les risques de contamination croisée entre les EPE (les supports de certains EPE peuvent contaminer les autres EPE).



Exemples d'EPE de type A) PDB avec support de fixation, B) PVD et C) RPP (voir tableau ci-dessous).

EPE peuvent être installés en série à différentes profondeurs sur toute la hauteur crépinée pour obtenir des informations sur la distribution verticale des contaminants d'une nappe, seulement si aucun flux vertical naturel n'est présent dans l'ouvrage. Sinon seul un EPE suffit pour obtenir la concentration imposée par le flux et l'origine de l'eau, à un instant  $t$ , moyennée le long de l'intervalle crépiné.

**La connaissance des flux verticaux** ou des différences de charges (horizons plus ou moins productifs) dans l'ouvrage lors de l'utilisation des EPE est également nécessaire pour évaluer la représentativité des concentrations mesurées. Ils peuvent être mesurés à l'aide d'un flowmètre.

Pour certains EPE en développement, une **phase de calibration au laboratoire** peut s'avérer nécessaire pour définir certains paramètres dans les conditions environnementales du site (**temps nécessaire pour atteindre l'équilibre**, coefficient de distribution du polluant entre l'eau et la phase réceptrice  $K_{EPE}$ , volume de phase d'extraction Vex). Cependant, pour les EPE disponibles sur le marché, ces informations sont très souvent déjà disponibles et fournies par le constructeur.

OUTILS	DESCRIPTION	MILIEU (ESO : eaux souterraines. ESU : eaux de surface)	DURÉE D'EXPOSITION	POLLUANTS	PRIX (Les EPE sont consommables, les supports incluent le boîtier et les fixations et sont réutilisables)
PDB (Passive Diffusion Bag Samplers)	Sac en PEBD (50 cm x Ø <sub>int</sub> : 2,5 cm) rempli d'eau déionisée qui agit comme une membrane semi-perméable, entouré d'un filet de protection.	ESO	14 j	COV	EPE : 18-35 € Supports réutilisables et solutions consommables : 2-25 €
DMPDB (Dual Membrane Passive Diffusion Bags)	Sacs (40 à 60 cm x Ø <sub>int</sub> 4,4 cm) rempli d'eau déionisée et entouré d'un filet de protection combinant un PDB en polyéthylène avec une membrane poreuse supplémentaire (nylon, cellulose régénérée ou autre).	ESO	7-21 j	COV, COVS, métaux en trace, anions, cations majeurs, substances inorganiques et composés émergents préoccupants, (1,4 dioxane et les PFAS).	EPE : 30-40 € Supports réutilisables et solutions consommables : 20-150 €
PVD (passive vapor diffusion samplers)	Flacon de verre vide de 20 à 40 mL, non fermé et à l'extrémité fileté Ou fiole VOA (fiole adaptée à l'analyse des COV) incluse dans deux couches de PEBD ayant une forme de tube ou dans deux sachets plastiques à glissière.	ESO	7-21 j	COV	EPE : 10-20 € Supports réutilisables : 10-50 €
Préleveurs de type « Peeper »	Structures rigides en acrylique de taille variable contenant une ou plusieurs ouvertures menant à des volumes d'eau séparés recouvertes d'une membrane ou d'un filet perméable. Ou tube rigide (Ø <sub>ext</sub> : 5 cm x longueur variable) recouvert aux extrémités par une membrane flexible en polysulfone (PsMS).	ESO	7-14 j	COV, métaux et anions majeurs	EPE : 100-350 € Supports réutilisables : 10-50 €
Préleveurs en polyéthylène rigide poreux (RPP)	Cylindre fait de fines feuilles en PEHD poreux (Ø <sub>int</sub> 3,8 cm x 12,7 à 17,8 cm) rempli d'eau déionisée et entouré d'un filet de protection.	ESO	14 j	Composés volatils, semivolatils, anions, métaux, perchlorates, chrome VI.	EPE : 40-50 € Supports réutilisables : 10-50 €

*Caractéristiques des principaux EPE disponibles sur le marché.  
PEBD : polyéthylène basse densité, PEHD : polyéthylène haute densité.*

### Mise en œuvre

Les EPE doivent être transportés dans leur conditionnement d'origine (ou dans des contenants hermétiques), dans une enceinte réfrigérée et à l'abri de la lumière. Les EPE sont descendus aux **profondeurs d'exposition définies** et laissés pendant le **temps d'exposition adapté** pour atteindre l'équilibre. Les **durées d'exposition peuvent varier, en moyenne, de 7 à 21 jours** selon l'outil.

À la fin de la période d'exposition, au moment du retrait, les EPE sont transportés au laboratoire pour analyse, dans les mêmes conditions que lors du déploiement et dans des contenants hermétiques pour éviter tous risques de contamination. Pour les PDB et DMPDB, la phase réceptrice aqueuse contenue dans l'échantillonneur doit être prélevée sur site au moment du retrait et placée dans des flacons adaptés aux polluants échantillonnés. Les flacons sont gérés de la même façon qu'un échantillon d'eau classique.

### Analyse des résultats

Le principe des EPE repose sur l'équilibre des concentrations entre la phase réceptrice et le milieu échantillonné. La concentration dans la phase réceptrice de l'EPE est donc égale à la concentration dans l'eau du forage à un instant t. Si les concentrations évoluent dans le temps, seule la concentration à l'équilibre au moment du retrait de l'EPE est mesurée.

### Points de vigilance :

- Une bonne connaissance de l'hydrogéologie locale, des ouvrages et des substances recherchées est nécessaire afin d'assurer une bonne mise en œuvre. De même, les temps d'exposition doivent être suffisants pour atteindre l'équilibre avec le milieu.
- La connaissance des flux verticaux naturels ou des différences de charges (horizons plus ou moins productifs) dans l'ouvrage lors de leur utilisation doit être connue pour l'interprétation des résultats.



## AVANTAGES – INCONVÉNIENTS – MATURITÉ DE LA TECHNIQUE

### AVANTAGES

#### Polluants

- Différentes techniques applicables selon les polluants,

#### Mise en œuvre

- Facilité à les déployer et à les récupérer,
- Peu coûteux (matériel et pas d'eaux de purges à éliminer),
- Pas de limite de profondeur,
- Adapté aux milieux peu productifs,
- Pas d'équipement supplémentaire ni de source d'énergie nécessaire,

#### Résultats d'interprétation

- Concentrations en polluants à l'équilibre,
- Possibilité d'obtenir des profils verticaux de concentrations.

### INCONVÉNIENTS

#### Échantillonnage

- Nécessite des piézomètres bien entretenus,
- Nécessite deux déplacements sur le terrain (pose et reprise),
- Temps de déploiement parfois long rendant l'ouvrage indisponible,

#### Polluants

- Pas d'EPE applicable pour tous les types de polluants,

#### Interprétation des résultats

- Variations de concentration au cours du temps non prises en compte,
- Nécessite une bonne connaissance de l'hydrogéologie locale (flux verticaux naturels et horizons productifs),
- Difficulté d'interprétation de l'influence d'une phase émulsionnée,
- Nombre limité de fournisseurs.

### MATURITÉ DE LA TECHNIQUE



Ces techniques, toujours en développement, sont largement utilisées pour la recherche mais encore peu utilisées dans le contexte des sites pollués. Plusieurs projets ont démontré les capacités et le type de résultats obtenus avec les différents outils.

## DÉLAIS DE MISE EN ŒUVRE

Les EPE doivent être commandés à des fournisseurs spécifiques en tenant compte de leur délai d'approvisionnement. La phase de déploiement sur site est rapide : il faut compter moins de 30 minutes pour la préparation, la pose mais aussi le retrait de l'EPE. Selon l'outil et les objectifs visés, le temps d'exposition est compris entre 7 et 21 jours. L'ensemble des

phases réceptrices est ensuite envoyé aux laboratoires usuels pour analyse avec un résultat obtenu généralement sous une à deux semaines. Il est important de noter que pour certains outils, la disponibilité peut être limitée, il est donc conseillé d'anticiper les demandes auprès des fournisseurs.

### PHASE

### INVESTIGATIONS

### ANALYSE ET TRAITEMENT

Délai associé

⌚ ⌚ ⌚ > ⌚ ⌚ ⌚

⌚ ⌚ ⌚ > ⌚ ⌚ ⌚

⌚ : jour / ⌚⌚ : semaine / ⌚⌚⌚ : mois

## ÉLÉMENTS DE COÛTS

Les coûts de l'échantillonnage sont variables selon l'outil. Il faut prévoir entre 20 et 350 € pour l'achat d'un EPE et moins de 30 € pour l'achat du matériel de fixation (souvent une corde et un lest suffisent). Le coût d'une analyse et du traitement

des résultats en laboratoire est du même ordre de grandeur que pour l'analyse de prélèvements classiques d'eau et varie de 10 € à 500 € par échantillon selon l'outil et les familles de polluants recherchés.

### PHASE

### INVESTIGATIONS

### TRAITEMENT

Coût associé

€€€ > €€€

€€€ > €€€

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

## POUR EN SAVOIR PLUS – RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Guide BRGM - Applicabilité des échantillonneurs passifs pour la surveillance d'une eau souterraine - essais sur site - 2010

[2] Rapport Aquaref - Applicabilité des échantillonneurs passifs dans le cadre de la DCE - 2011

[3] Rapport ADEME - Mode Opérateur pour l'utilisation d'échantillonneurs passifs - Projet ATTENA - Phase 2 - 2013

[4] Rapport ADEME - Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués - Projet PassCityChlor - 2014

[5] Rapport ADEME - Synthèse bibliographique relative aux capteurs passifs utilisés pour la mesure de la qualité des eaux souterraines - Projet Metrocap - 2011