



Actualités sur les travaux concernant la gestion des eaux souterraines dans le domaine des sites et sols pollués

Geoffrey BOISSARD (brgm), Valérie GUÉRIN (brgm),
Fabrice QUIOT (INERIS)

Actualité Eaux Souterraines

- **Révision FD X31-614 et FD X31-615 (AFNOR)**
- **Evolution et optimisation de la surveillance (outils statistiques)**
- **Echantillonnage : travaux en cours et points d'attention**

Actualité Eaux Souterraines

- > **Révision FD X31-614 et FD X31-615 (AFNOR)**
- > Evolution et optimisation de la surveillance (outils statistiques)
- > Echantillonnage : travaux en cours et points d'attention

Révision FD X31-614 et FD X31-615

> Résumé du processus

- Enquête publique du 6 mai au 15 juin 2015 - 6 répondants
- **Passage statut de fascicule de documentation à norme homologuée**
- X31-614 : 2 réunions de dépouillement des commentaires réalisées : 29 juin et 6 juillet
- X31-615 : 1 réunion de dépouillement réalisée (18 septembre) et 3 autres prévues : 1^{er} octobre, 14 octobre, 9 novembre
- Diffusion des deux projets amendés auprès des membres de la commission AFNOR X31 EF
- 2^e enquête publique en fin d'année

X31-614

> Champ d'application

- « Réalisation d'un forage de caractérisation ou de suivi de la qualité de l'eau souterraine au droit et autour d'un site potentiellement pollué »

> Principes retenus

- Mise en conformité avec NF X10-999 (août 2014)
- Accord avec le guide « Maîtrise et gestion des impacts des polluants sur la qualité des eaux souterraines » (MEDDE, 2009)
- Intégration de l'évolution des techniques et connaissances



X31-614

> Principales modifications

- Précisions techniques sur la mise en place du massif filtrant et du bouchon d'argile
- Précisions sur la procédure de cimentation
- Définition d'un ouvrage multiniveau
- Détails sur le positionnement des crépines en cas de présence de phases pures
- Précisions sur le comblement des ouvrages
- Ajout de la méthode sonique comme méthode de foration



X31-615

> **Champ d'application**

- « Qualité des sols : Méthodes de **caractérisation** et de surveillance des pollutions en nappe : Echantillonnage des eaux souterraines dans des **forages** »

> **Principes retenus**

- Accord avec le guide « Maîtrise et gestion des impacts des polluants sur la qualité des eaux souterraines » (MEDDE, 2009)
- Intégration de l'évolution des techniques, REX et des résultats de travaux de recherche (étude Ademe 2000-2005)
- En accord avec les échanges DREAL mis en place et avec le guide sur la surveillance



X31-615

> Principales modifications

- Séparation de la norme selon 2 approches différenciées : échantillonnage pour la caractérisation et pour le suivi
- Limitation de l'utilisation des bailers à l'échantillonnage des premiers mètres d'eau après purge dynamique
- Utilité des profils physico-chimiques et des campagnes micro-moulinet pour la caractérisation des panaches et la compréhension des écoulements



X31-615

> Principales modifications...suite

- Rappel de l'obligation de filtrer sur site pour les métaux (en accord avec travaux GT labo et autres normes en cours de révision)
- Ajout de nouveaux outils d'échantillonnage dont introduction à l'utilisation des échantillonneurs passifs (et conditions d'utilisation)
- Lien vers normes actualisées et technologies disponibles pour la conservation des échantillons



Actualité Eaux Souterraines

- > Révision X31-614 et X31-615 (AFNOR)
- > **Evolution et optimisation de la surveillance (outils statistiques)**
- > Echantillonnage : travaux en cours et points d'attention

Evolution de la surveillance - Optimisation

> Evaluation « qualitative » du suivi mené :

- Questionnement sur le suivi et informations à acquérir

> Evaluation « quantitative » :

- Evaluation temporelle basée sur des tests statistiques (Mann-Kendall, etc.)
- Evaluation spatiale (krigeage, triangle de Delaunay, etc.)

Cette approche quantitative nécessite un minimum de données

 Outils d'aide à la décision

Hype :

- > Outil de caractérisation et d'évaluation des tendances d'évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines**
- > Contexte**
 - Développé dans le cadre d'une convention / ONEMA à destination des agences de l'eau
 - Méthodes statistiques applicables au domaine de la qualité des eaux souterraines (faible fréquence d'échantillonnage, distribution non normale, autocorrélation des données, nombreuses données < limites de quantification)
 - Testé dans le contexte des SSP dans le cadre d'une convention BRGM / MEDDE
 - Tests sur 3 sites : pollution métallique après travaux, pollution organique avec une longue chronique, opération de dépollution

Logiciel libre développé avec un logiciel de statistiques open-source

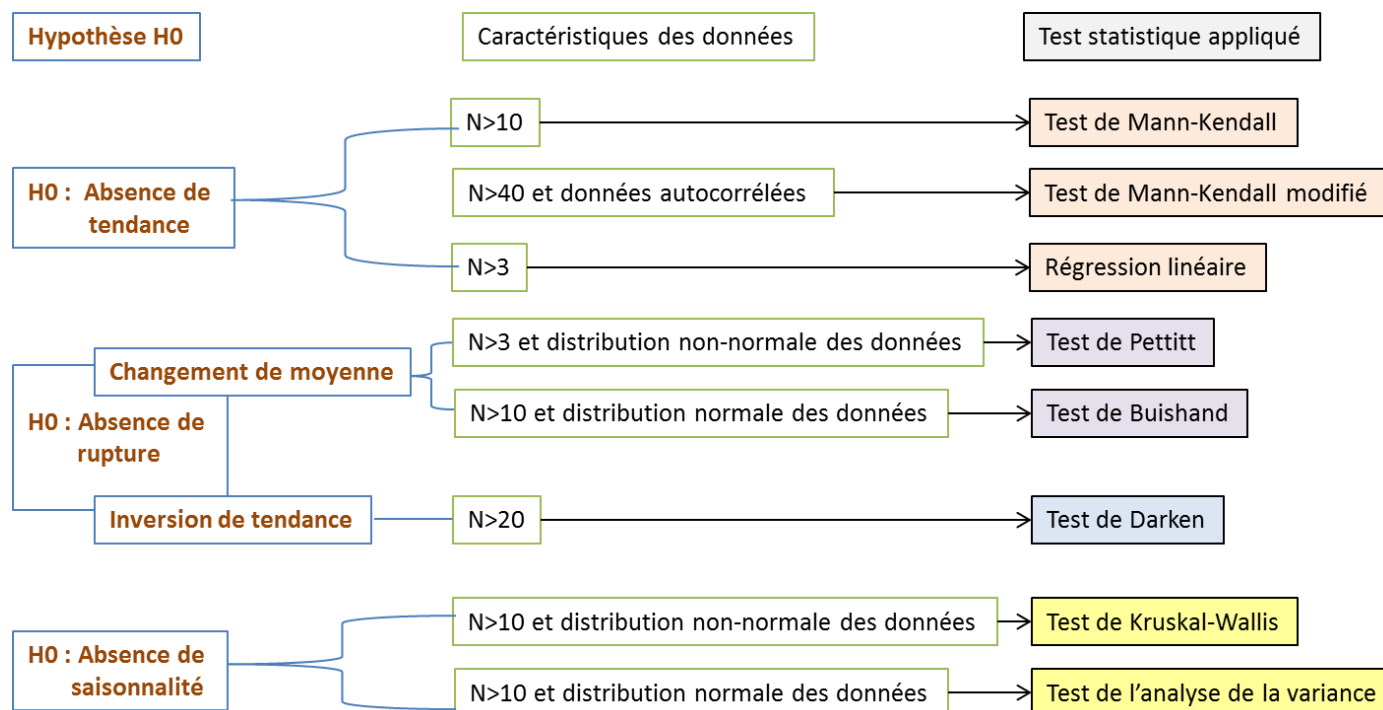
pour un développement durable



Hype :

> Capacité de l'outil

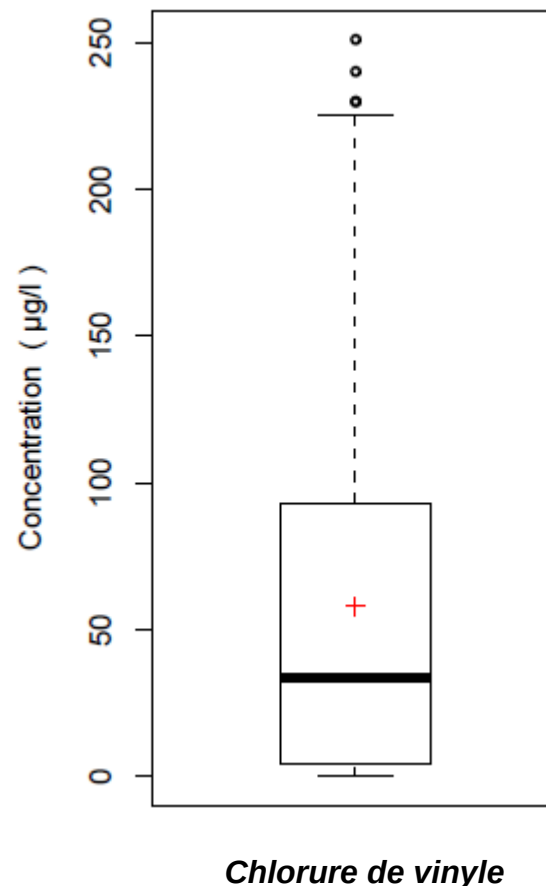
- Application automatique d'un schéma décisionnel pour le traitement statistique des chroniques d'évolution de la qualité des eaux souterraines



Hype :

> Capacité de l'outil

- Statistiques classiques :
 - Moyenne, médiane, percentile 10 et 90, « outliers »
- Module principal :
 - Tendances et ruptures : application de tests statistiques de détection de tendances et de ruptures sur les chroniques
- Module complémentaire :
 - Saisonnier : application du test de tendance Kendall saisonnier



Hype :

> Restitution

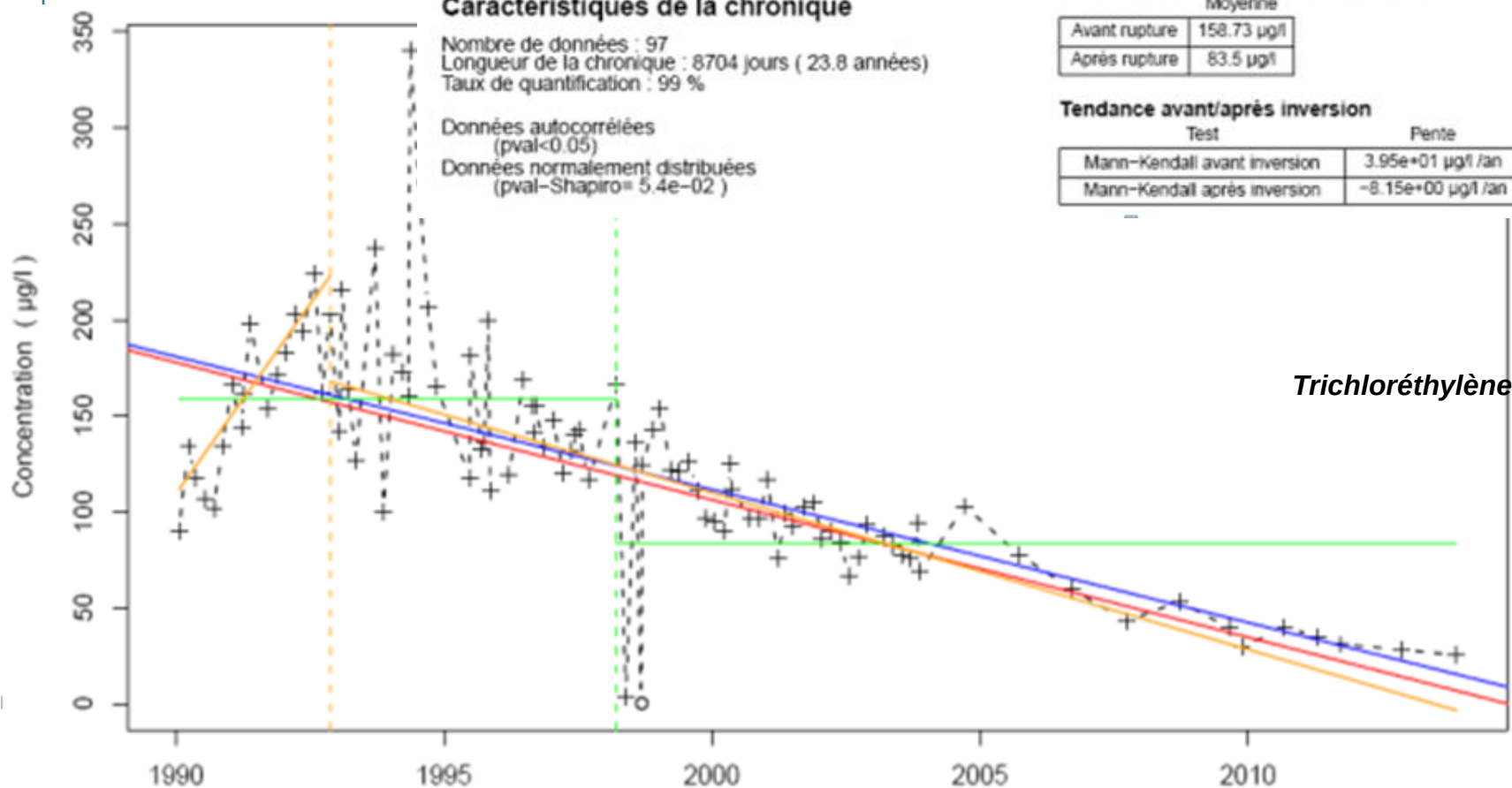
Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendance (Mann-Kendall)
- Tendance (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Caractéristiques de la chronique

Nombre de données : 97
Longueur de la chronique : 8704 jours (23.8 années)
Taux de quantification : 99 %

Données autocorrélées
($p\text{-val} < 0.05$)
Données normalement distribuées
($p\text{-val-Shapiro} = 5.4e-02$)



Trichloréthylène

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-7.15e+00 µg/l /an	4.6e-18
Mann-Kendall modifié		2.7e-09
Régression linéaire	-6.92e+00 µg/l /an	9.7e-17

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	24/03/1998	<0.05
Inversion de tendance	19/11/1992	3.9e-13

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	158.73 µg/l
Après rupture	83.5 µg/l

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	3.95e+01 µg/l /an	6.8e-05
Mann-Kendall après inversion	-8.15e+00 µg/l /an	1.2e-19

Hype :

> Avantages

- En fonction des caractéristiques des chroniques, l'outil applique automatiquement le test le plus adapté
- Création de statistiques sur les données
- Visualisation qui intègre les valeurs < LQ

> Inconvénients

- Besoin d'un minimum de données
- Dans certains contextes ne trouve pas de tendances (d'un point de vue statistique) : les biais de prélèvement et erreur de protocole n'obéissent à aucune statistique

- **Permet de se poser des questions sur les ruptures proposées par l'outil : explications d'origine anthropique ou naturelle**
- **Appui lors de l'établissement des bilan quadriennaux : élément d'aide à la décision pour alléger ou renforcer une surveillance**

Hype :

- **Manuel d'utilisation du logiciel Hype**
 - 2013 – Rapport BRGM/RP-63066-FR
- **Description des méthodes statistiques utilisées dans l'outil**
 - 2013 – Rapport BRGM/RP-61855-FR
- **Méthodes statistiques de recherche de tendances applicables à des chroniques de qualité des eaux souterraines**
 - 2011 – Rapport BRGM/RP-59515-FR

Fiche d'information disponible sur demande

BRGM HYPE: un outil très « tendance »
Calcul de tendances et ruptures dans les chroniques de qualité des eaux souterraines

Disponibilité du logiciel
Le logiciel est librement distribué.
Contacter les auteurs pour recevoir la dernière version du logiciel.
Le manuel d'utilisation est téléchargeable sur : <http://velos.brgm.fr/rapports/RP-63066-FR.pdf>

Contacts
Nelson Crobert
n.crobert@brgm.fr
02 38 04 38 09
Benjamin Lopez
b.lopez@brgm.fr
02 38 04 34 30
www.brgm.fr

Applications
Initialement développé pour aider les Agences de l'Eau à répondre aux exigences réglementaires, HYPE est également utilisé dans des domaines variés (surveillance de sites et sols pollués, étude de l'impact de mesures environnementales...).

BRGM
Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillémoin
BP 31000
45060 Orléans Cedex 2
www.brgm.fr

Les modules de HYPE

HYPE présente différents modules :

- **caractérisation :** calcul des statistiques de base de la chronique représentation graphique associée ;
- **tendances et ruptures :** identification de tendances, d'inversions de tendances et de ruptures significatives dans les chroniques et représentation graphique associée ;
- **tendances régionales :** identification de tendances cohérentes à l'échelle d'un ensemble de points ;
- **tendances saisonnières :** identification de tendances dans des chroniques présentant une saisonnalité marquée ;
- **rééchantillonnage :** transformation des chroniques avec un pas de temps régulier défini par l'utilisateur.

Caractéristiques des données et tests statistiques appliqués

- Les données de qualité des eaux souterraines ont des caractéristiques qui altèrent la puissance et la robustesse des nombreux tests statistiques :
 - faible nombre d'analyses ;
 - pas de temps d'échantillonnage irrégulier ;
 - beaucoup de résultats inférieurs à une limite de quantification.
- Plusieurs années de travaux sur l'applicabilité des méthodes statistiques au domaine de la qualité des eaux souterraines et de tests sur des données théoriques et réelles ont permis de construire un arbre décisionnel aboutissant à la méthode statistique la plus adaptée aux caractéristiques de la série à traiter.
- Il permet d'éviter des erreurs liées à l'utilisation de tests statistiques en dehors des conditions d'applicabilité.

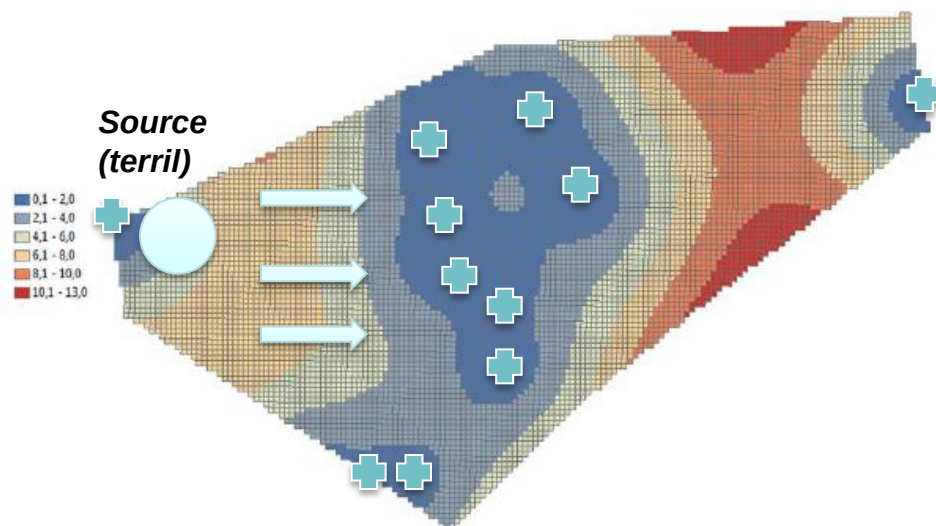
Caractéristiques du logiciel

- Développé dans le langage open-source R, largement utilisé dans la communauté scientifique
- Très simple d'utilisation, ne demande aucune compétence en programmation
- Format des données traitées : extraction de la base nationale sur les eaux souterraines ADES (www.ades.saufrance.fr) ou fichiers texte personnels.
- Traitement possible en chaîne de plusieurs points de prélèvement et/ou plusieurs paramètres.

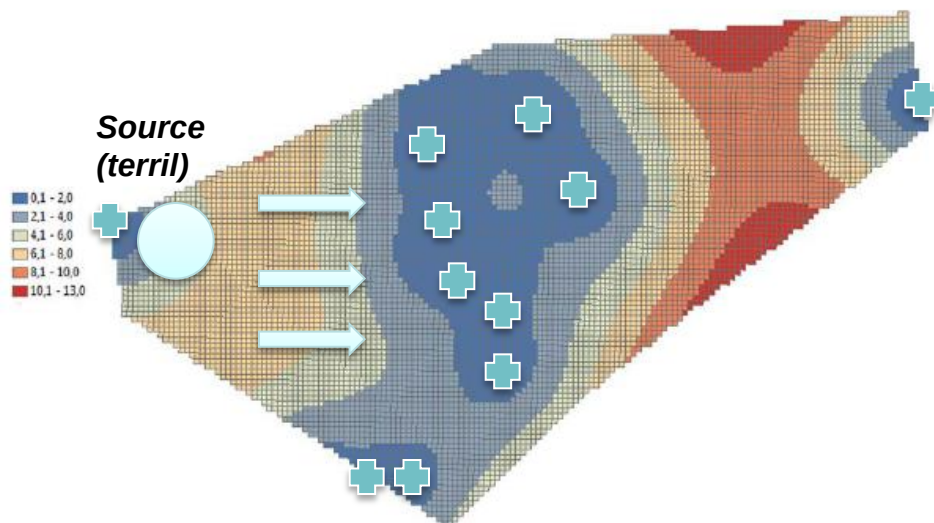
Optimisation spatiale de la surveillance à long terme

- **Recours aux méthodes d'interpolation géostatistique par krigeage**
- **Etude de la variance de krigeage**
- **Comparaison de la moyenne des variances permet de tester des scénarios d'évolution du réseau en terme de points de suivi : ajout / suppression de points de suivi**

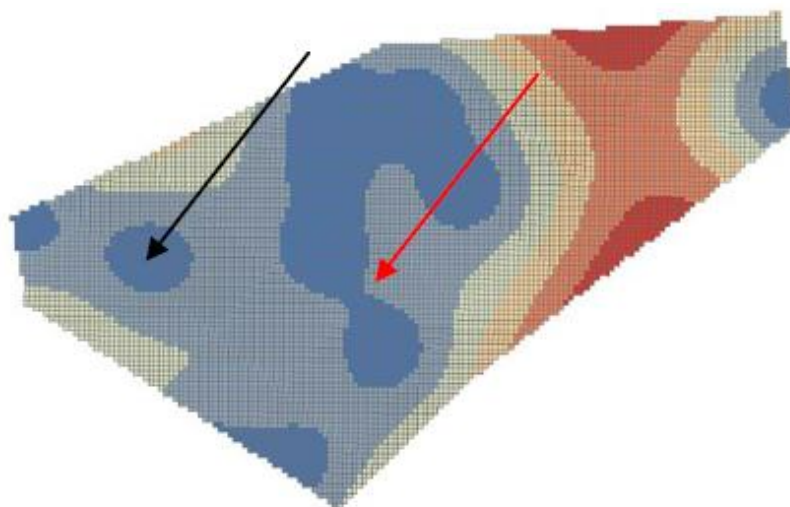
➤ **En 2014, application sur site réel : utilisation des résultats de concentrations en chlorures dans la partie supérieure d'une nappe**



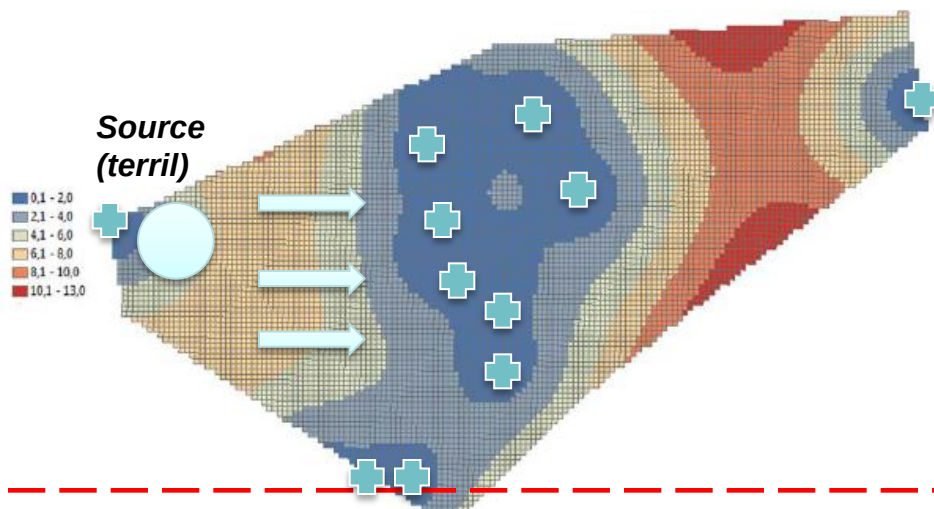
ANALYSE DES DONNEES
(prérequis) et estimation de
la variance sur les mailles de
la zone d'étude (situation
initiale des points de suivi)



ANALYSE DES DONNEES
(prérequis) et estimation de
la variance sur les mailles
de la zone d'étude
(situation initiale des points
de suivi)

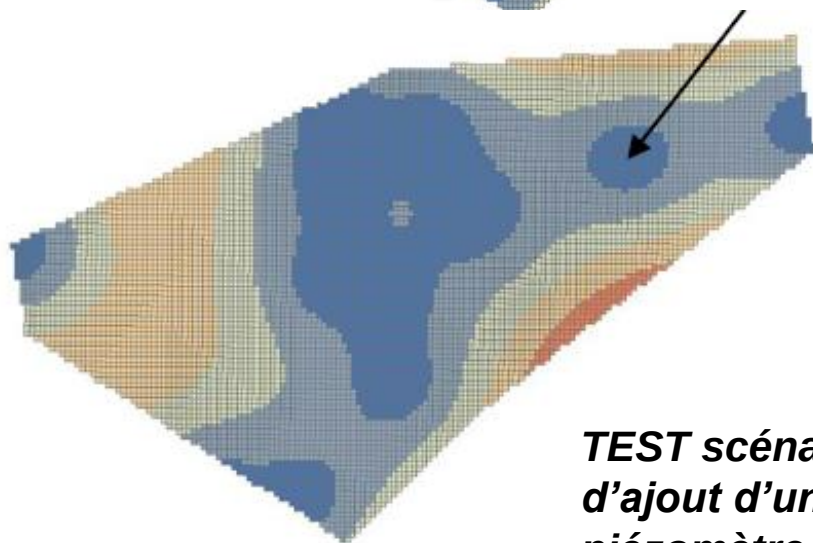


TEST scénario d'ajout
(flèche noire) et de
suppression (rouge) d'un
piézomètre
(ici la variance moyenne
passe de 4,7 à 4,1)



ANALYSE DES DONNEES
(prérequis) et estimation de
la variance sur les mailles
de la zone d'étude
(situation initiale des points
de suivi)

Rapport INERIS, juin 2015
Tests (...) méthode
géostatistique pour optimiser un
réseau de surveillance (...)



TEST scénario
d'ajout d'un
piézomètre (ici la
variance moyenne
passe de 4,7 à 3,7)

Permet de justifier
nombre et position
d'ouvrages, évolutions

Actualité Eaux Souterraines

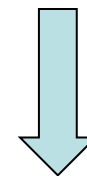
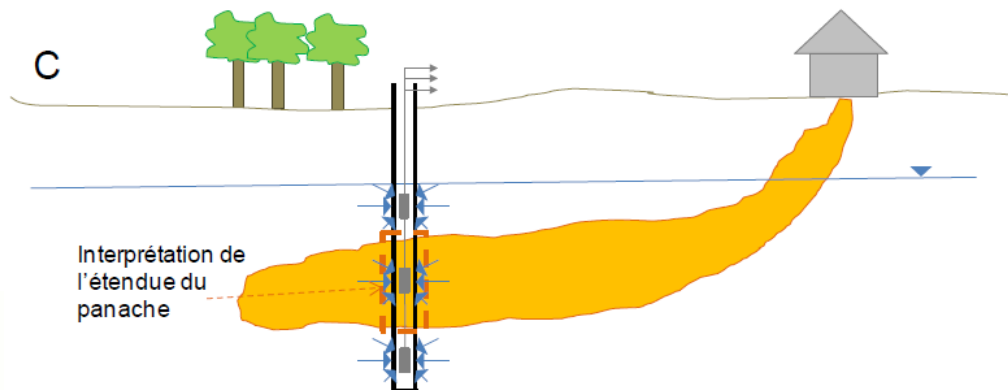
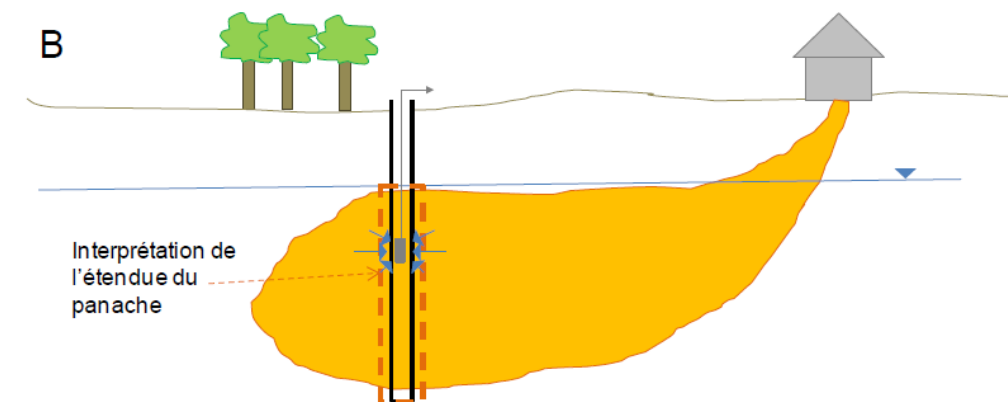
- > Révision X31-614 et X31-615 (AFNOR)
- > Evolution et optimisation de la surveillance (outils statistiques)
- > **Echantillonnage : travaux en cours et points d'attention**

Echantillonnage : travaux en cours et points d'attention

Outils et protocoles

Arrêt de la vente de la pompe MP1 (souvent utilisée), développement des passifs, etc.

À quel niveau réaliser le prélèvement (nécessité du multiniveaux) ? Y a-t-il une perte par volatilisation ?



**Travaux en cours
BRGM, INERIS**

Focus sur l'échantillonnage multiniveaux

Définir avec précision la distribution verticale de la pollution dans la colonne d'eau et in fine la délimitation du panache de polluants dissous - composante non négligeable de la gestion d'un impact sur les eaux souterraines d'une ICPE et/ou d'un site pollué

**Cas d'une pollution
« historique » avec
« plongeurs »**

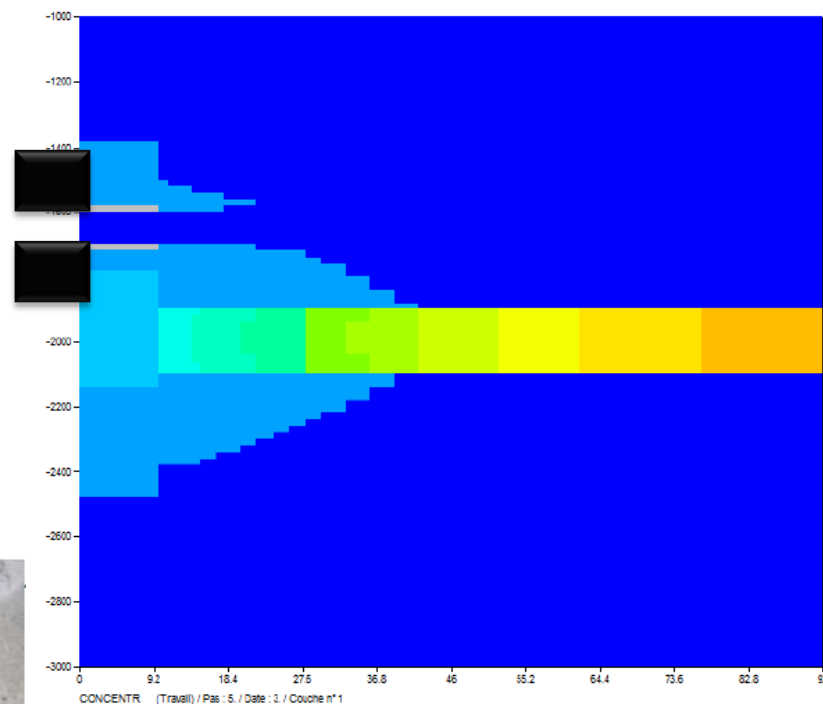
Actualisation travaux antérieurs (ADEME, 2005 ; MACAOH, etc.) : Rapport INERIS, avril 2015

Échantillonnage multi-niveaux des eaux souterraines : **recensement des méthodes et matériels disponibles**

Multiniveaux : utilisation d'obturateurs (ou packers)

> Isole portions d'aquifère

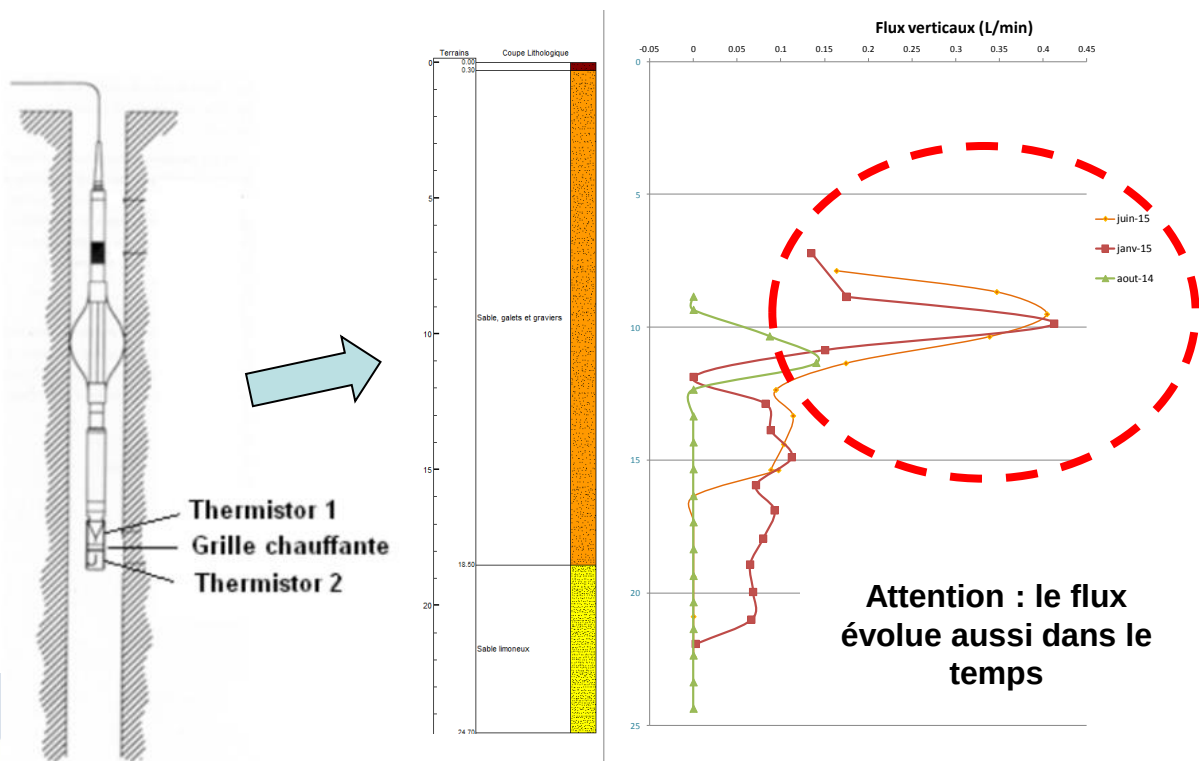
La simulation de pompage (faible débit) entre obturateurs montre que ce mode d'échantillonnage permet bien de collecter l'eau de la nappe au droit de l'intervalle



Champ de concentration après 3 h de pompage à 0,7 L/mn entre packers (Barthélemy et al., 2015)

Multiniveaux : utilisation d'échantillonneurs passifs

- Pas de purge, usage unique, simple à déployer MAIS pour multiniveaux les flux verticaux naturels doivent être mesurés (ex. outil flowmeter) et renouvellement de l'ouvrage démontré

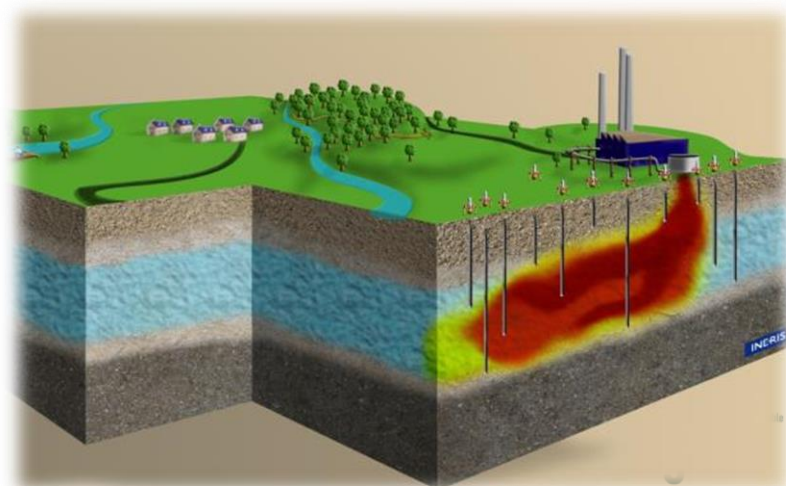


INERIS (ADEME), mars 2014 Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués

Intercomparaison d'outils et protocoles

Travaux multipartenaires :
avec notamment BE et
laboratoires pour garantir
l'opérationnalité et le transfert
des connaissances acquises

BIODéPOL et VOICE

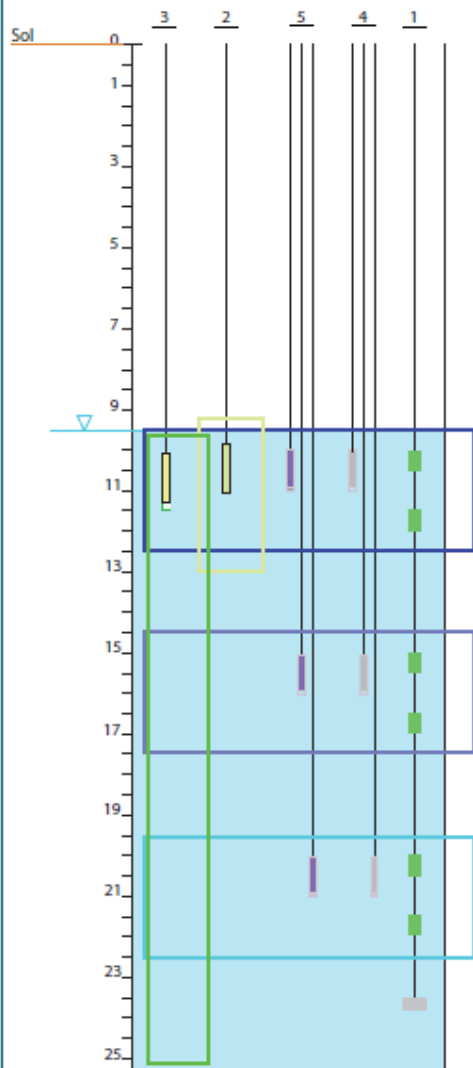


Intercomparaison d'outils et
protocoles à différentes échelles,
dans différents contextes (1 cuve
expérimentale, 3 sites réels) et
sur plusieurs mois

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable

Intercomparaison d'outils et protocoles

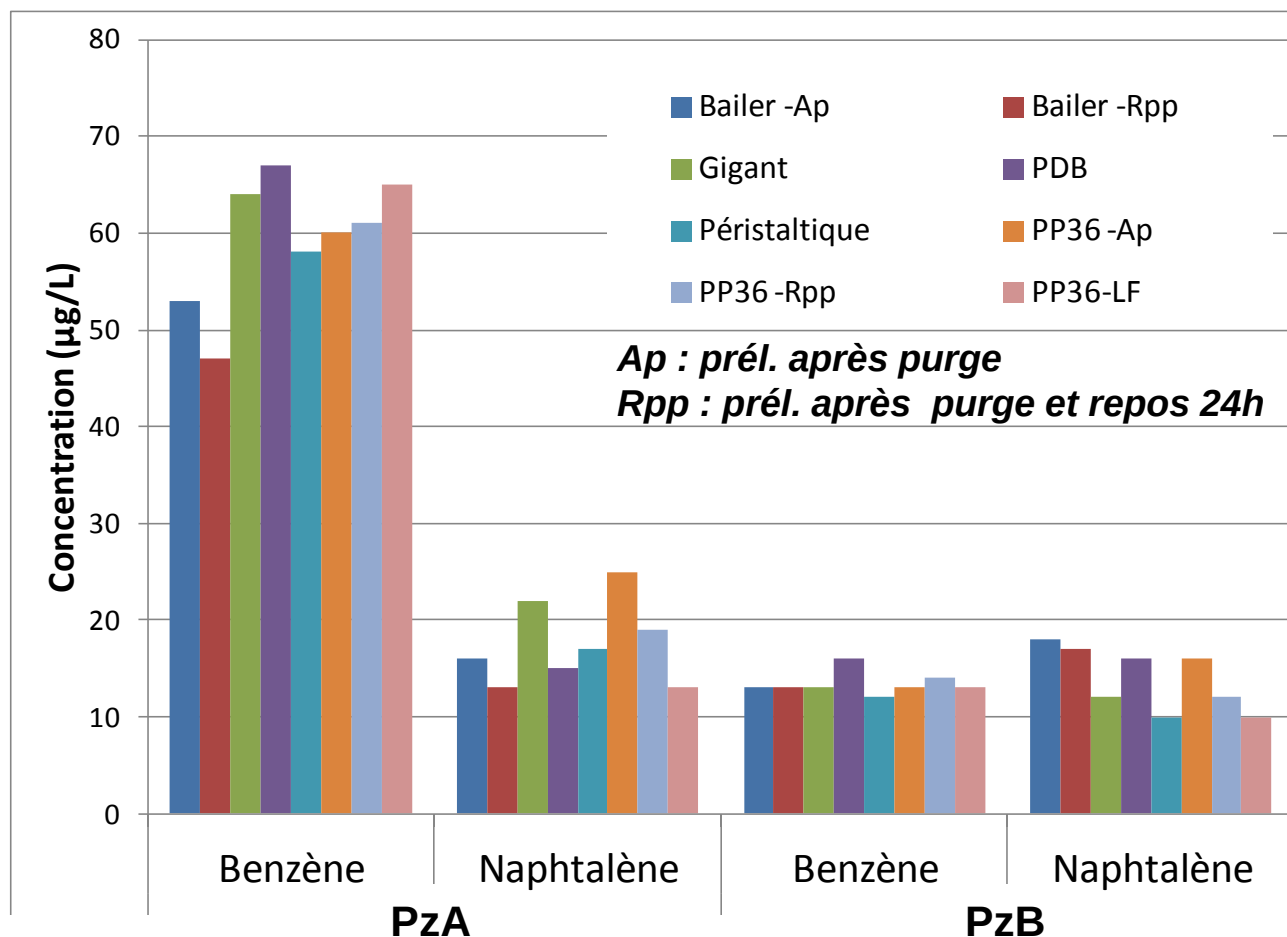


Test de l'influence :

- *purge suivi de prélèvement /
purge et prélèvement après 24h*
- *outils actifs / passifs*
- *un niveau / multiniveaux*
- *faible débit*
- ...
- *Quid des outils « classiques » /
outils peu employés (packers,
etc.) ?*



Intercomparaison / prél. unique zone supérieure

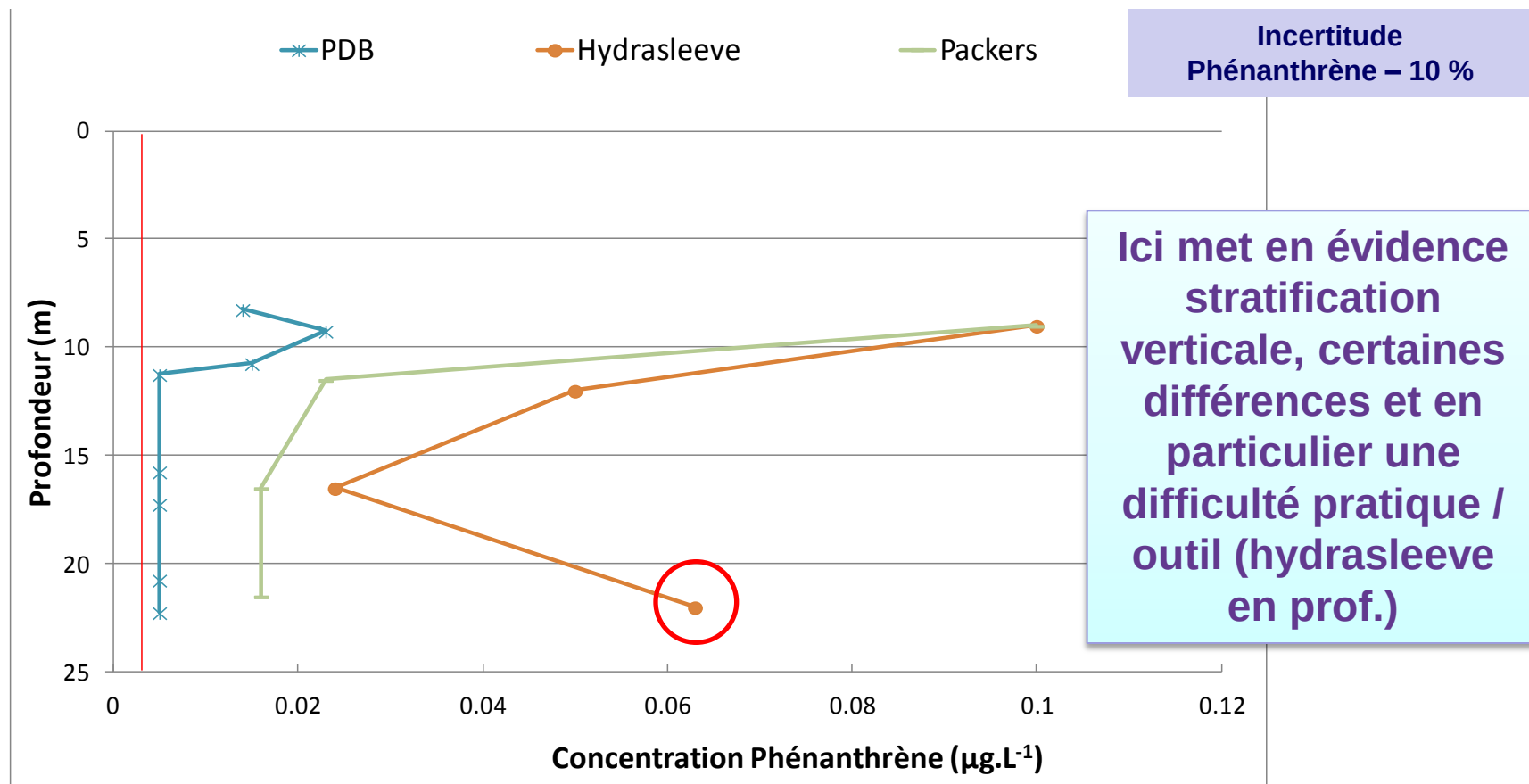


Essais dans
des conditions
réelles sur site
nappe
alluviale, poll.
hydrocarbures



Peu de
différences...

Intercomparaison / prél. multiniveaux



Intercomparaison / TRAVAUX EN COURS

- > Premiers résultats liés à une pollution « récente » aux hydrocarbures**
- > Tendance à confirmer dans le temps, selon différents contextes et gammes de concentrations, et également à l'échelle de la cuve**
- > Autres sites :**
 - Pollution historique aux hydrocarbures
 - Installation de stockage de déchets, lixiviats



Plus de résultats lors de la JT 2016...

Merci de votre attention