

Échantillonnage des eaux souterraines

L'art de la science

AQVE
21e Colloque annuel
Centre Mont-Royal, Montréal

Serge Delisle, ing., M.Sc., Hydrogéologue



Section 1

Notions de base



Notion #1 - Temps de résidence

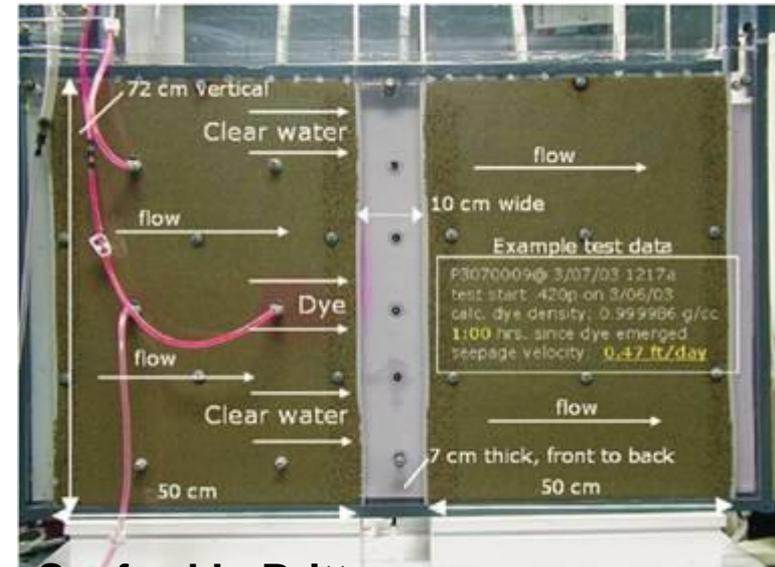
	Conductivité hydraulique (cm/s)	Porosité	Gradient hydraulique (m/m)	Vitesse d'écoulement (cm/a)	Temps de résidence Puits diamètre 5 cm
Sable moyen	1.00E-02	0.25	0.01	12614.4	3.5 heures
	1.00E-02	0.25	0.05	63072.0	40 minutes
Sable fin	1.00E-03	0.25	0.01	1261.4	1.4 jours
	1.00E-03	0.25	0.05	6307.2	7 heures
Sable silteux	1.00E-04	0.2	0.01	157.7	11.6 jours
	1.00E-04	0.2	0.05	788.4	2.3 jours
Silt	1.00E-05	0.2	0.01	15.8	116 jours
	1.00E-05	0.2	0.05	78.8	23 jours
Silt argileux	1.00E-06	0.2	0.01	1.6	1157 jours
	1.00E-06	0.2	0.05	7.9	231 jours

Notion #2 - Gradient vertical

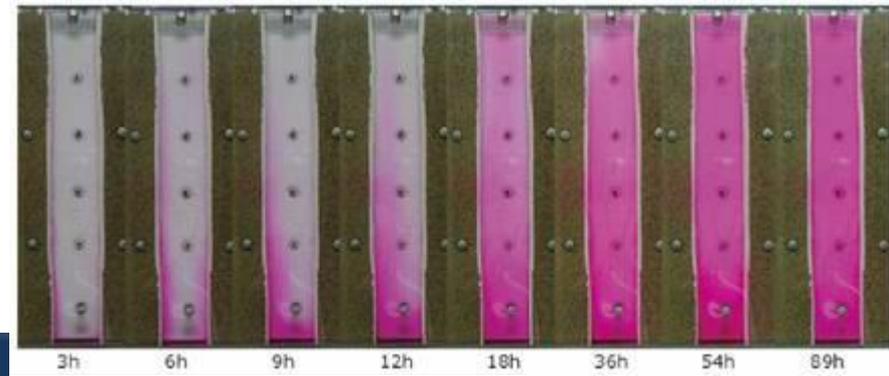
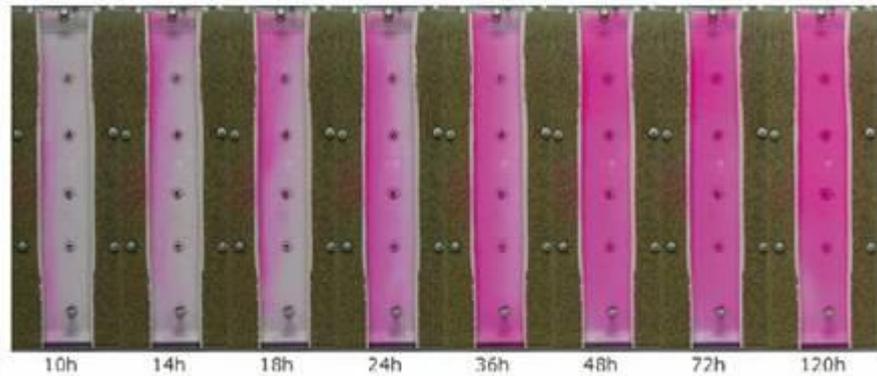
- Le gradient d'écoulement de l'eau est un vecteur avec des composantes x , y et z .
- ☛ **Gradient d'écoulement horizontal : On devrait utiliser des puits ayant leur crépine à la même élévation;**
- ☛ **Gradient d'écoulement vertical : 2 puits installés près l'un de l'autre et ayant des crépines à deux élévations différentes;**
- ☛ **Le gradient vertical influence le comportement des contaminants dissous.**

Notion #3 - Mélange/dilution

- Mélange des contaminants dans le puits;
- Stratification de la contamination dans le puits \neq formation;
- Installation des puits influence la stratification dans l'aquifère.

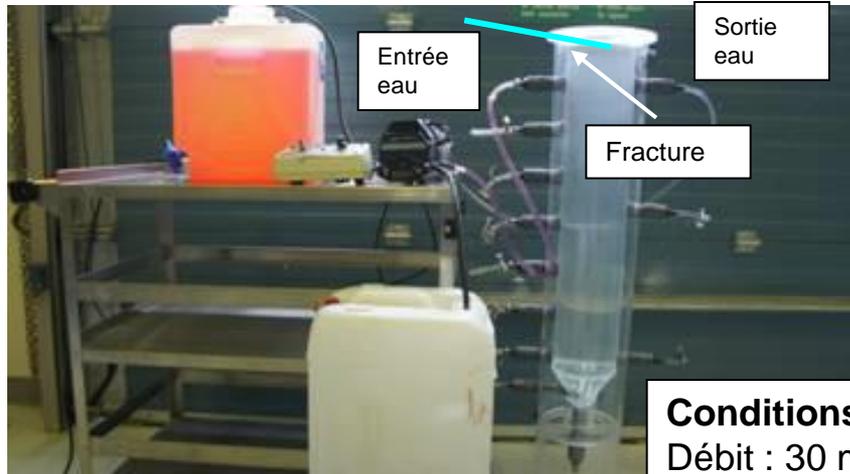


Sanford L. Britt
(2005)

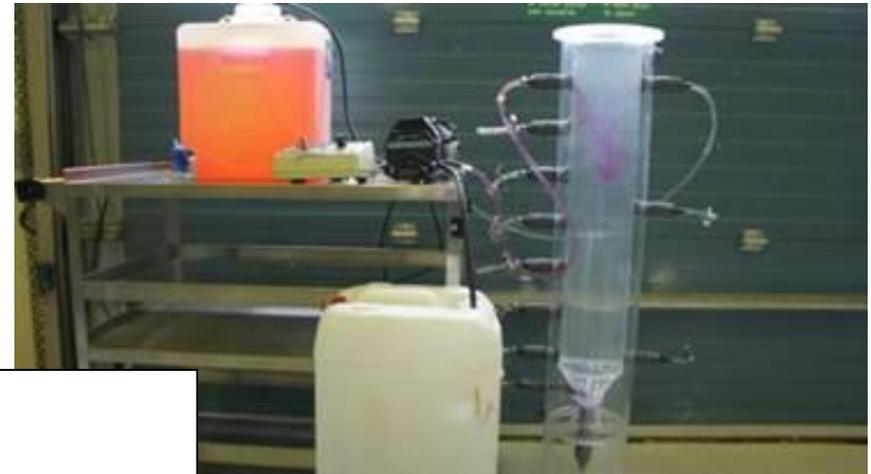


Notion #3 - Mélange/dilution

T = 0 minute



T = 2 minutes



T = 13 minutes



T = 35 minutes

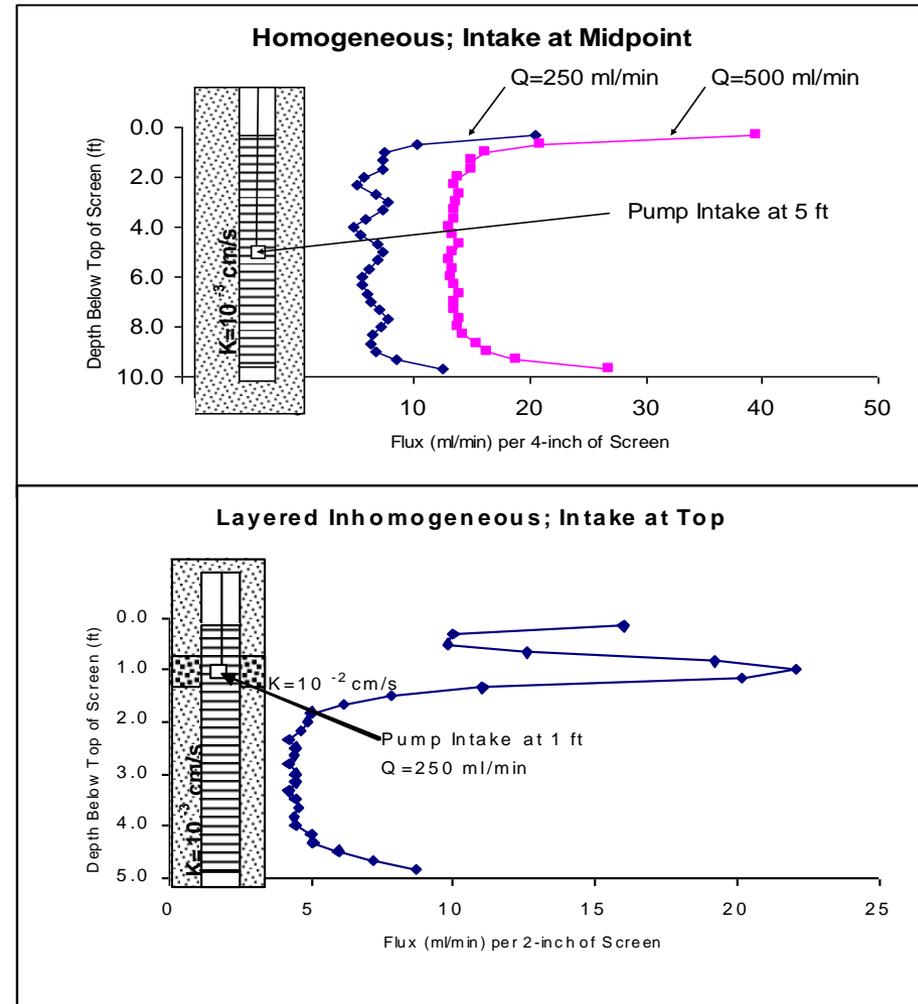


Notion #4 - Composé vs ponctuel

- Écoulement de l'eau le long de la crépine lors du pompage à faible débit;
- Échantillon est un mélange de la zone visée par la crépine.

Empirique : Puls and Paul (1998)
Modélisation : Varljen et al (2003)

Varljen, et al. (2003)



Section 2

Installation de puits d'observation



Installation de puits

Objectifs

- La conception d'un puits d'observation doit tenir compte des objectifs poursuivis;
- De l'emplacement de la source de contamination;
- Des caractéristiques hydrogéologiques du milieu;
- Des propriétés physicochimiques des contaminants.

Un mauvais positionnement peut entraîner une interprétation erronée de l'étendue et de la nature de la contamination.

Matériaux du puits Ciment/bentonite

- L'espace restant entre le tubage et la paroi du forage doit être rempli d'un mélange de ciment/bentonite ou de bentonite;
- Les résidus de forage ne doivent jamais remplir l'espace annulaire;
- Un bouchon de coulis de ciment expansif partant de la surface jusqu'à la ligne de gel (au moins 2 m) empêche l'infiltration d'eau de ruissellement;
- Pour éviter l'accumulation de l'eau de précipitation, le coulis de ciment formera un petit monticule en surface qui ne doit pas excéder le diamètre du forage.

Matériaux du puits Ciment/bentonite

Cahier 3, page 5 (note de bas de page)

Lorsque c'est techniquement possible, le coulis doit être injecté au moyen d'un tube d'injection à partir du fond jusqu'à la surface. Ce mélange minimise le retrait à la prise pour former un coffrage expansif, retarde le temps de prise pour permettre l'injection et réduit le risque de filtration d'eau hors du ciment pouvant altérer la qualité de l'eau échantillonnée. Le coulis est préparé dans un mélangeur à haute vitesse pour que le ciment, l'eau et la bentonite forment un liquide visqueux qui peut être injecté au moyen d'une pompe. La mise en place par la surface et par gravité d'un coulis de ciment-bentonite peut résulter en une mauvaise mise en place du coulis et créer des vides entre les parois du forage et du tubage.

Section 3

Échantillonnage de l'eau souterraine



Échantillonnage de l'eau souterraine

- Choix des équipements;
- Méthodes avec purge:
 - Volume déterminé;
 - Purge à faible débit;
 - Purge minimale.
- Méthodes sans purge (ou passives).

Choix des équipements

- La méthode d'échantillonnage varie en fonction de nombreux facteurs:
 - Type de contaminants recherchés;
 - Conductivité hydraulique du sol (ou du roc);
 - Profondeur du niveau de l'eau souterraine;
 - Accessibilité des lieux;
 - Etc.

Choix des équipements

Équipements à usage unique (jetables)

- Avantages :
 - Évitent la contamination croisée (d'un puits à l'autre);
 - Évitent les procédures de lavage.
- Inconvénients :
 - Peuvent être contaminés, même neuf;
 - Génèrent plus de matières résiduelles.

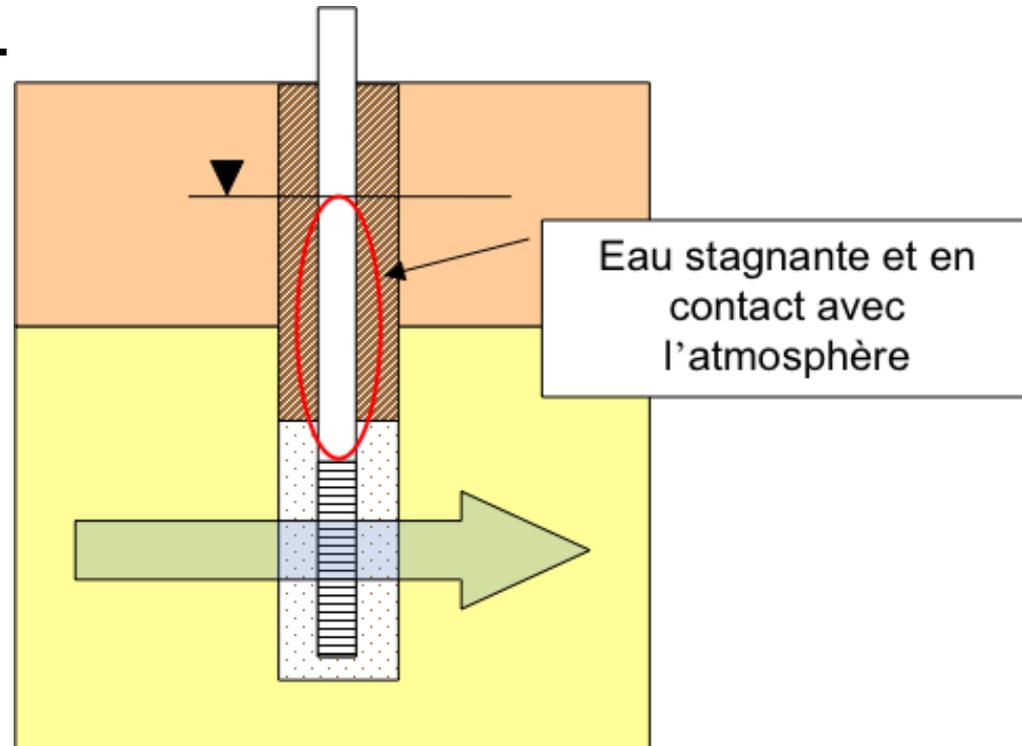
Méthodes avec purge

- Volume déterminé;
- Purge à faible débit;
- Purge minimale.

Méthodes avec purge

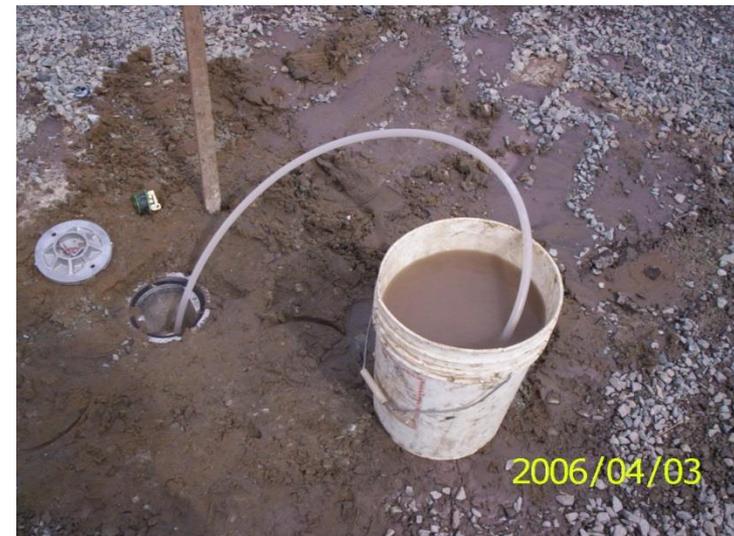
Objectif de la purge:

« Permettre le renouvellement de l'eau dans le puits afin d'obtenir un échantillon représentatif de l'eau de la formation souterraine environnante ».



Méthodes avec purge – Purge à volume prédéterminé

- Méthode traditionnelle (US EPA 1977);
- Vider 3 à 5 fois le volume d'eau contenu dans le puits et dans le massif filtrant;
- Le plus souvent : le plus rapidement possible.



Méthodes avec purge – Purge à volume prédéterminé

Avantages :

- Simple;
- Souvent rapide;
- Peut être effectuée avec plusieurs types de pompes, écope à bille, etc.

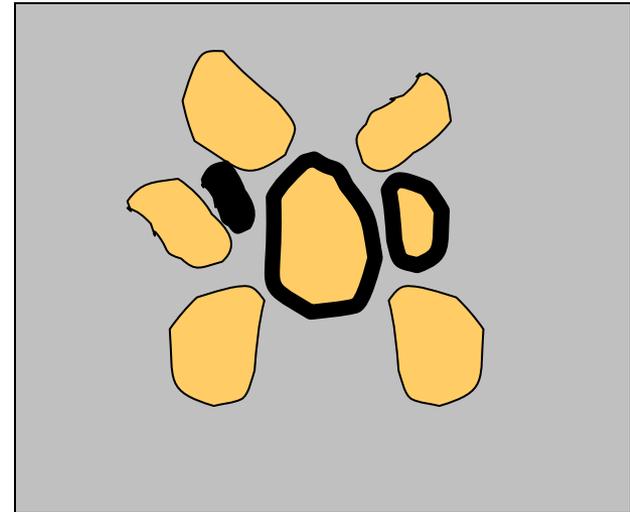
Méthodes avec purge – Purge à volume prédéterminé

Inconvénients :

- Grand volume d'eau à purger et à gérer (\$\$\$);
- Méthode empirique qui ne permet pas de démontrer que la purge a été suffisante;
- Possibilité d'un biais en pompant de l'eau en dehors de la zone d'intérêt;
- Dénoyage de l'aquifère (oxygénation et dégazage);
- Création d'une turbidité artificielle (ou induite).

Méthodes avec purge – Purge à volume prédéterminé

- Une turbidité induite élevée fausse les résultats, surtout pour les contaminants hydrophobes (ex. HAP) et certains ions;
- La filtration n'élimine pas tous les problèmes liés à la turbidité induite.



Méthodes avec purge – Purge à volume prédéterminé

Cahier 3 (version 2011)

- **Nouveau** : mesurer et minimiser *le plus possible* le rabattement du niveau d'eau afin d'éviter les débits excessifs et, du coup, les biais, le dénoyage et la turbidité induite;
- Débit de pompage inférieur au débit de recharge du puits (typiquement de l'ordre de 100 à 500 ml/min.);
- Difficultés d'application dans les formations peu perméables et impossible dans les formations très peu perméables.

Méthodes avec purge

- Volume déterminé;
- Purge à faible débit;
- Purge minimale.

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement

Méthode pas vraiment nouvelle

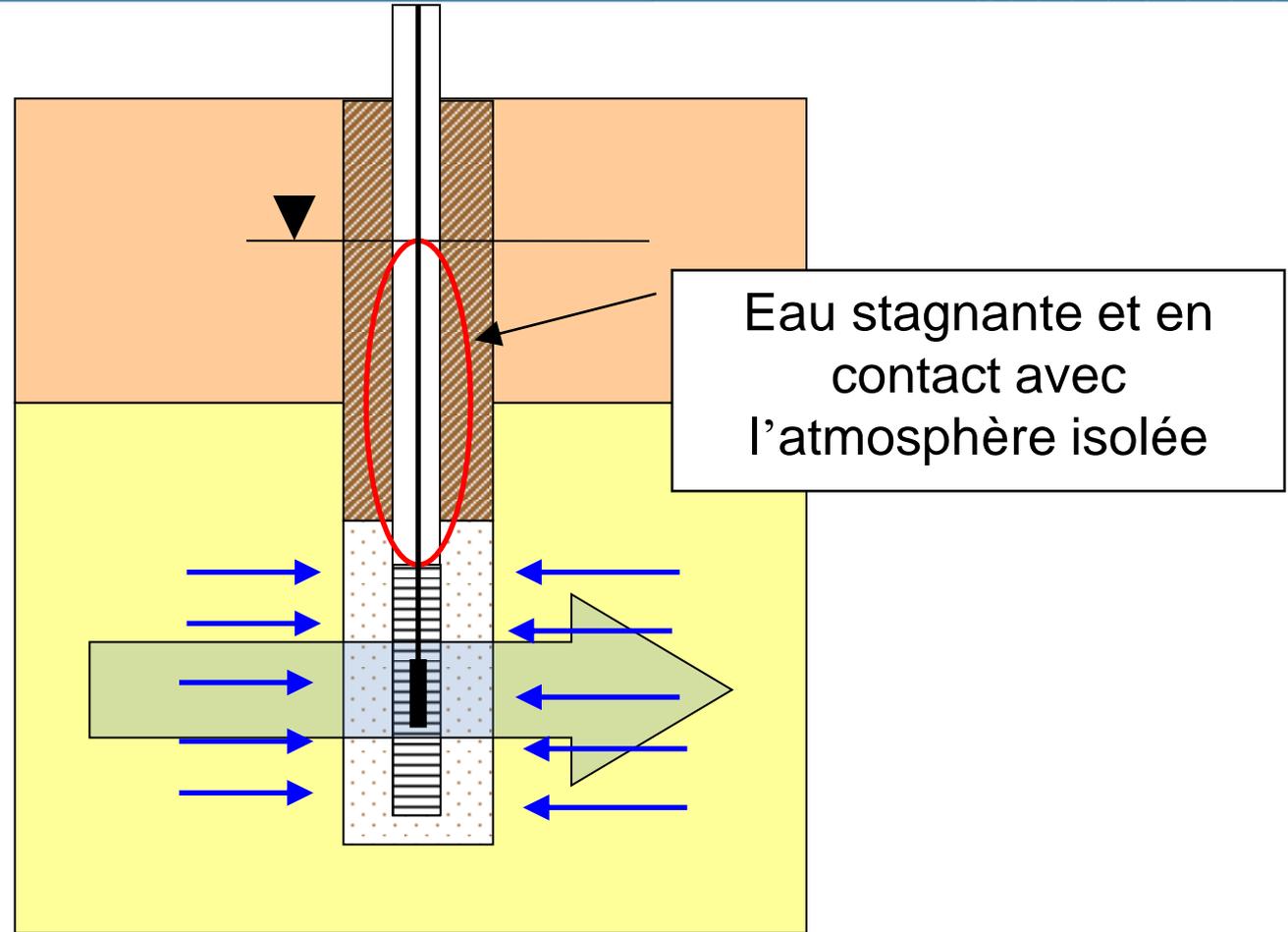
- Travaux pionniers par Gillham et coll., 1985 et Robin et Gillham, 1987;
- Premières mentions par l'US EPA Puls et Barcelona, 1989;
- Nombreuses recherches entre 1990 et 1996 - Publication majeure de l'US EPA en 1992 (EPA/530-R-93-001), 1995 (EPA Workshop) et 1996 (Puls et Barcelona);
- Norme ASTM D-6771 (1^{ere} édition en 2002).

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement

Méthode différente :

- Basée sur l'observation du fait que l'eau souterraine circule suffisamment dans la plupart des puits pour permettre un échange constant avec le milieu aquifère;
- Vise à induire un écoulement laminaire afin d'isoler l'eau stagnante qui n'est pas sollicitée;
- Mesure en continu de certains paramètres physico-chimiques jusqu'à stabilisation.

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement



Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement

- Entrée de la pompe près du milieu de la crépine (cas d'une crépine totalement immergée) ou entre le niveau d'eau et le fond du puits (puits conçus pour la détection de LIL) - nécessite une connaissance du puits;
- Débit de pompage inférieur au débit de recharge du puits (rabattement faible et constant – typiquement de l'ordre de 100 à 500 ml/min.);
- Mesure continue du niveau d'eau et de certains paramètres indicateurs.

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement

Le choix des équipements est primordial :

- Les équipements qui provoquent un écoulement turbulent et une turbidité induite sont à proscrire.

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement



- Pompe submersible à haute vitesse : débit trop grand, augmente la température de l'eau.



- Écope à bille « bailer » : turbidité élevée, oxygénation, dégazage, etc.

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement



- Pompe à inertie : sauf exception - turbidité élevée, oxygénation, dégazage, etc.



- Pompe péristaltique : dégazage (biais pour la mesure des gaz dissous, des COV, des métaux, etc.).

Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement



Pompes à vessie



Méthodes avec purge – Purge à faible débit et à faible rabattement

Sonde multiparamètres et cellule de mesure fermée



Débitmètre



Méthodes avec purge

- Volume déterminé;
- Purge à faible débit;
- Purge minimale.

Méthodes avec purge – Purge minimale

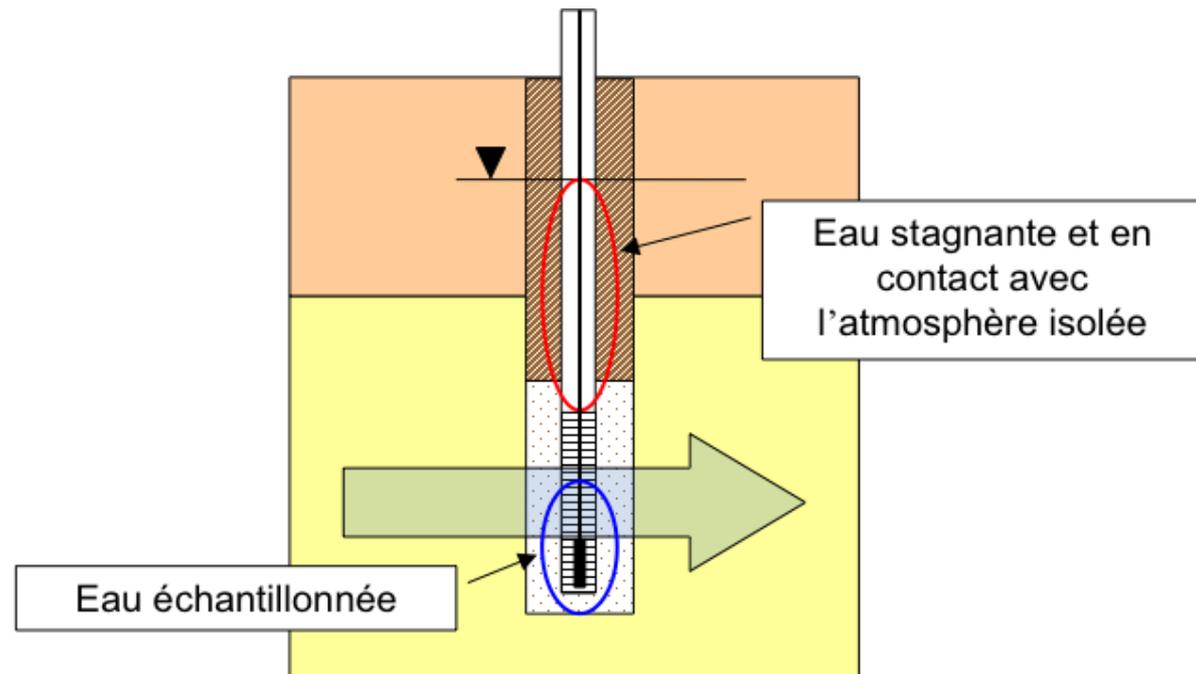
Méthode pas vraiment nouvelle :

- Travaux pionniers par Giddings, 1983, Gillham et coll., 1985 et Robin et Gillham, 1987, Powell et Puls, 1993;
- Premières mentions par l'US EPA, 1995;
- Supportée par des recherches de l'USGS de 1996-2001;
- Revue détaillée par Interstate Technology & Regulatory Council, 2007.

Méthodes avec purge – Purge minimale

Objectif différent :

- Vise à permettre l'échantillonnage de l'eau dans la crépine (représentative de l'eau dans la formation).



Méthodes avec purge – Purge minimale

Méthode différente :

- Nécessite un équipement dédié ou mis en place longtemps à l'avance;
- Vise à pomper l'eau contenue dans la pompe et la tubulure;
- Aucune mesure des paramètres physico-chimiques (mesure du rabattement du niveau de l'eau uniquement);
- Le pompage doit être arrêté avant que l'eau stagnante dans le puits soit pompée (crépine totalement immergée) ou avant de commencer à pomper de l'air (crépine partiellement immergée).

Méthodes avec purge – Purge minimale

Avantages :

- Permet l'échantillonnage dans les formations très peu perméables (méthode à utiliser en dernier recours);
- Faible volume d'eau à purger et à gérer (\$).

Méthodes avec purge – Purge minimale

Inconvénients :

- Nécessite un délai parfois important entre l'installation de la pompe et le début de la purge;
- Le volume de l'échantillon peut être insuffisant pour l'exécution du programme analytique retenu;
- **Méthode plus controversée : néglige les phénomènes d'équilibration dans les puits installés dans les formations très peu perméables.**

Méthodes avec purge – Purge minimale

Est-ce que l'échantillon est représentatif de l'eau de la formation souterraine environnante?

Solutions...

À SUIVRE.....

Méthodes sans purge ou passives

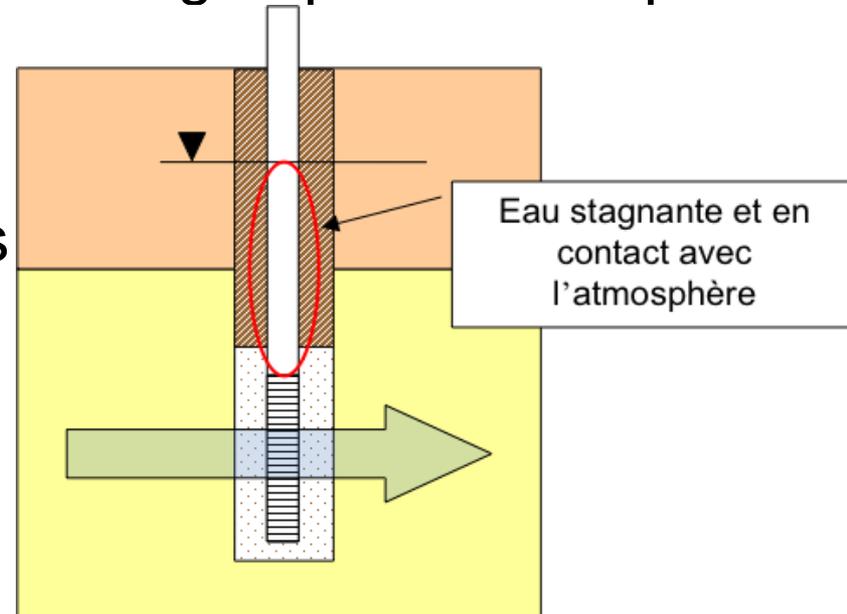
Méthodes sans purge ou passives

Méthodes pas vraiment nouvelles :

- Travaux pionniers par Giddings, 1983, Gillham et coll., 1985 et Robin et Gillham, 1987, Powell et Puls, 1992;
- Premières mentions par l'US EPA Puls et Barcelona, 1995;
- Supportées par des recherches de l'USGS de 1996-2001;
- Revue détaillée par Interstate Technology & Regulatory Council, 2007;

Méthodes sans purge ou passives

- Méthodes d'échantillonnage basées sur l'observation du fait que l'eau souterraine circule suffisamment dans la plupart des puits pour permettre un échange constant avec le milieu aquifère;
- Méthodes qui impliquent l'échantillonnage après un temps d'équilibration;
- Méthodes de prélèvement d'échantillons représentatifs dans des conditions d'écoulement naturel (non induit), sans purge au préalable.



Méthodes sans purge ou passives

Procédure :

- Installer un équipement d'échantillonnage passif (sans purge);
- Laisser équilibrer pendant quelques heures à quelques semaines (généralement 2 semaines sont largement suffisantes);
- Récupérer l'échantillon.

Méthodes sans purge ou passives

Avantages :

- Permet l'obtention de résultats représentatifs et reproductibles;
- Risques d'erreurs réduits (peu ou pas de perturbation de la colonne d'eau, équipements à usage unique, etc.);
- Simple, rapide et peu coûteux;
- Fonctionne bien dans les puits à faible rendement;
- Discret.

Méthodes sans purge ou passives

Quelques exemples :

- Échantillonneur passif à prise directe - ex.: Hydrasleeve® et Snap Sampler®;
- Le sac à diffusion;
- Échantillonneur passif par adsorption - ex.: Gore Module®;
- Etc.

Méthodes sans purge ou passives

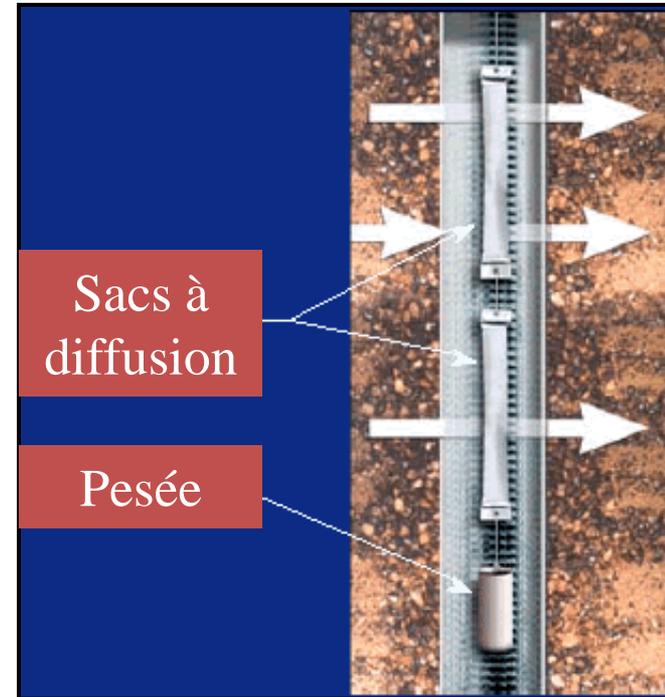
Inconvénients

- Délai d'équilibration (la première fois seulement);
- Volume d'échantillon restreint:
 - Hydrasleeve® : 625 ml à 1 L;
 - Snap Sampler® : 40 ml à 350 ml;
 - Sac à diffusion : 200 ml à 350 ml.

Méthodes sans purge ou passives

Notion erronée

- Dans un même puits, on peut prélever des échantillons d'eau à diverses profondeurs afin d'obtenir un profil de la contamination;
- Non applicable lorsque:
 - Présence d'un gradient hydraulique vertical;
 - Faible vitesse d'écoulement.



Notions erronées



- Les méthodes avec purge (purge à volume déterminé, purge à faible débit et purge minimale) et les méthodes sans purge (passives) sont toutes équivalentes.



Quelle méthode utiliser ?

Il n'y a pas une seule méthode parfaite dans toutes les circonstances.



Merci

Serge Delisle, Ing. M.Sc., Hydrogéologue

Chef de programme

Tél : 514-496-3124

Serge.delisle@cnrc-nrc.gc.ca

www.cnrc-nrc.gc.ca

