



MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
Direction de l'Eau

Document public

Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines

A. LALLEMAND-BARRÈS

Juin 1993
R 37390

BRGM
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département C3G
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél.: (33) 38.64.34.34

Guide pratique d'échantillonnage des eaux souterraines

A. Lallemand-Barrès

RÉSUMÉ

L'objectif de toute campagne de prélèvements d'eau souterraine pour contrôle de sa qualité est l'obtention d'échantillons représentatifs de cette qualité à un instant donné.

Un protocole d'échantillonnage détaillé et scrupuleusement suivi est donc nécessaire pour remplir cet objectif.

Les différentes phases de ce protocole, de la conception des puits au transport des échantillons vers le laboratoire, sont analysées dans ce rapport, et des recommandations sont formulées quant au choix des matériaux, du matériel et des techniques, compte tenu du polluant recherché.

Ce rapport a été réalisé sur crédits du Ministère de l'Environnement.

Rapport BRGM n° R 37390
Auteur : A. Lallemand-Barrès
Programme Service Public : 1992-1993
Financement : Ministère de l'Environnement
Nombre de pages : 95 + Annexe
Nombre de figures : 36
Nombre de tableaux : 24

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	7
2. CONCEPTION DU PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE	9
3. CONCEPTION DES OUVRAGES	11
3.1. LOCALISATION	11
3.2. MISE EN PLACE DES PUIITS DE CONTRÔLE.....	14
3.2.1. Méthode de foration	14
3.2.2. Construction des puits.....	17
3.2.3. Développement du puits	27
3.2.4. Documentation sur la construction des puits.....	27
4. DESCRIPTION DES APPAREILS DE PRÉLÈVEMENT D'EAU DANS UN PUIITS	29
4.1. CHOIX D'UN APPAREIL DE PRÉLÈVEMENT	29
4.2. MÉCANISMES TYPE "ÉCOPE"	31
4.2.1. Bouteilles à clapets	31
4.2.2. Seringues	33
4.3. MÉCANISMES A ASPIRATION-SUCCION	36
4.3.1. Pompes centrifuges	36
4.3.2. Pompes péristaltiques	36
4.4. MÉCANISMES A DÉPLACEMENT.....	37
4.4.1. Dispositifs à déplacement par le gaz	37
4.4.2. Pompes à membrane, actionnées par le gaz.....	39
4.4.3. Pompes électriques immergées	42
4.4.4. Pompes à piston	44
4.5. POMPES A INERTIE.....	45
4.6. MATÉRIEL DE PRÉLÈVEMENT POUR POLLUANTS ORGANIQUES	48
4.7. COMPARAISON DES APPAREILLAGES	53
5. APPAREILS POUR PRÉLÈVEMENTS RAPIDES SANS PUIITS.....	56
5.1. HYDROPUNCH	56
5.2. SYSTÈME BAT (BENGT-ARNE-TORSTENSSON)	59
5.3. SYSTÈME BOTESAM	61
5.4. SYSTÈME A POINTES FILTRANTES	62
6. PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	64
6.1. MESURES PRÉLIMINAIRES	66
6.1.1. Paramètres hydrauliques du puits.....	66
6.1.2. Mesure du niveau d'eau	66
6.2. PURGE.....	67
6.2.1. Généralités	67
6.2.2. Volumes de purge.....	67
6.2.3. Purge dans les puits à remontée lente.....	70
6.2.4. Appareillage utilisé	72
6.2.5. Méthodes de purge.....	72
6.3. COLLECTE DES ÉCHANTILLONS	72
6.4. FILTRATION.....	73
6.5. CONSERVATION.....	74
6.6. DÉTERMINATION SUR LE TERRAIN	74

6.7. ASSURANCE QUALITÉ - CONTRÔLE QUALITÉ	78
6.8. STOCKAGE ET TRANSPORT	79
6.9. DÉCONTAMINATION DU MATÉRIEL	81
7. PROTOCOLE RECOMMANDÉ	82
7.1. CAS D'UN CONTRÔLE POUR DÉTECTION D'UNE POLLUTION	82
7.2. CAS D'UN CONTRÔLE POUR ÉVALUATION D'UNE POLLUTION	84
7.3. FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	84
7.4. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	86
8. CONCLUSION	91
9. BIBLIOGRAPHIE.....	92

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Transfert d'effluent dans un aquifère simple, homogène (Nielsen, 1991)
- Figure 2 - Mouvement d'effluent dans un aquifère stratifié (Nielsen, 1991)
- Figure 3 - Principales techniques de forage (Keely et Boateng, 1987)
- Figure 4 - Eléments d'un puits de contrôle type (Nielsen, 1991)
- Figure 5 - Types de crépines utilisées dans les puits de contrôle et sections de la crépine à fentes en continu (Nielsen, 1991)
- Figure 6 - Variabilité des longueurs de crépines dans les puits de contrôle (Nielsen, 1991)
- Figure 7 - Exemple de mauvais dimensionnement de la crépine (Fetter, 1983)
- Figure 8 - Puits de contrôle - Crépine sur plusieurs niveaux (Nakamoto, 1986)
- Figure 9 - Finition du puits (Nielsen, 1991)
- a) Au-dessus du sol
 - b) Au ras du sol
- Figure 10 - Bouteille à clapet (d'après Nielsen et Yeates, 1985)
- Figure 11 - Schéma d'une seringue de type médical adaptée pour prélever l'eau (Gilham, 1982)
- Figure 12 - Pointe filtrante pour prélèvement à l'aide de gaz (Morrison et Brewer, 1981)
- Figure 13 - Pompe à membrane (d'après Nielsen, 1985)
- Figure 14 - Pompe électrique à rotor hélicoïdal (Nielsen et Yeates, 1985)
- Figure 15 - Pompe à piston (Scalf et al., 1981)
- Figure 16 - Installation d'une pompe manuelle à inertie (Rannie et Nadon, 1988)
- Figure 17 - Clapets pour pompe à inertie (décrits dans le tableau 15)
- Figure 18 - Prélèvement de composés organiques (Pettyjohn et al., 1981)
- Figure 19 - Colonnes adsorbantes pour échantillonnage en continu (d'après Pettyjohn et al., 1981)
- Figure 20 - Pompe aspirante pour débit continu (Pettyjohn et al., 1981)
- Figure 21 - Détail de deux pompes pour aspiration à débit continu (d'après Pettyjohn et al., 1981)
- Figure 22 - Dispositif avec seringue pour prélèvement de polluants organiques (d'après Pankow et al., 1984)
- Figure 23 - Schéma de l'Hydropunch
- Figure 24 - Appareil en état de prélèvement d'eau
- Figure 25 - Utilisation d'Hydropunch pour prélèvement d'hydrocarbures ou d'eau (Cordry, 1991)
- Figure 26 - Eléments du système BAT
- Figure 27 - Fonctionnement du BAT (d'après Berzins, 1992)
- Figure 28 - Mise en place du BOTESAM
- Figure 29 - Exemple de fiche pour informations sur la purge et le prélèvement
- Figure 30 - Pourcentage d'eau provenant de l'aquifère en fonction du temps pour différentes transmissivités (Gibb et al., 1981)
- Figure 31 - Pourcentage d'eau de l'aquifère en fonction du temps pour différents diamètres de tubage (Gibb et al., 1981)
- Figure 32 - Variations des concentrations en composés organiques volatils, en fonction du temps de recharge dans un puits à recharge lente (Herzog, 1988, d'après Nielsen, 1991)
- Figure 33 - Variations des concentrations en As pour échantillons filtrés ou non filtrés
- Figure 34 - Variations des concentrations en chromate pour différentes tailles de pores de filtre
- Figure 35 - Bordereau de suivi des échantillons
- Figure 36 - Diagramme général des étapes de l'échantillonnage des eaux souterraines (Barcelona et al., 1985)

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 - Résumé des processus de conception du dispositif de contrôle
- Tableau 2 - Effets de méthodes de foration sur les échantillons d'eau (d'après Nielsen, 1991)
- Tableau 3 - Techniques de forage recommandées pour différents types de formations géologiques (Barcelona et al., 1985)
- Tableau 4 - Matériaux à utiliser pour les appareils de prélèvement d'eau souterraine (matériaux rigides)
- Tableau 5 - Matériaux recommandés pour utilisation dans les appareils de prélèvement (matériaux flexibles)
- Tableau 6 - Avantages et inconvénients des tubes à clapets
- Tableau 7 - Avantages et inconvénients des seringues à prélever l'eau
- Tableau 8 - Avantages et inconvénients des mécanismes à succion
- Tableau 9 - Pression hydrostatique à différentes profondeurs (Nielsen et Yeates, 1985)
- Tableau 10 - Avantages et inconvénients des appareils à déplacement par le gaz
- Tableau 11 - Avantages et inconvénients des pompes à membrane
- Tableau 12 - Avantages et inconvénients des pompes submersibles à engrenages
- Tableau 13 - Avantages et inconvénients des pompes à rotor hélicoïdal
- Tableau 14 - Avantages et inconvénients des pompes à piston
- Tableau 15 - Clapets de fond, sélectionnés pour utilisation dans les pompes à inertie
- Tableau 16 - Avantages et inconvénients de la pompe à inertie
- Tableau 17 - Comparaison des différents systèmes de prélèvement d'eau dans une nappe (Nielsen et Yeates, 1985 ; Nielsen, 1991)
- Tableau 18 - Matrice de l'aptitude de différents appareils de prélèvement à la mesure de différents paramètres de l'eau souterraine (Pohlmann, Hess, 1988)
- Tableau 19 - Caractéristiques des appareils à prélèvement rapide
- Tableau 20 - Protocole général d'échantillonnage de l'eau souterraine (d'après Barcelona et al., 1985)
- Tableau 21 - Conteneurs, techniques de conservation et temps de conservation (EPA, Barcelona et al., 1985)
- Tableau 22 - Paramètres analytiques recommandés pour la détection d'une pollution
- Tableau 23 - Méthodes recommandées pour la collecte d'échantillons dans un programme de contrôle pour la détection d'une pollution
- Tableau 24 - Procédures de traitement recommandées pour un programme visant à la détection d'une pollution (selon Scalf et al., 1981)

1. INTRODUCTION

L'objectif d'un programme de contrôle de la qualité de l'eau souterraine peut être de répondre à une réglementation (ex : Directive Nitrate) ou le contrôle d'un site industriel ou d'une décharge, un objectif de recherche sur la qualité de la nappe, ou la recherche ou la mise en évidence d'une pollution.

Chaque objectif conduit à la mise en oeuvre d'un protocole d'échantillonnage différent. Cependant, tous les programmes de contrôle de la qualité de l'eau souterraine ont le même but, qui est d'obtenir un échantillon représentatif de la qualité de l'eau souterraine à l'instant considéré.

Ce but ne doit pas être perdu de vue, car toutes les opérations engagées, depuis la mise en place des puits ou forages jusqu'à l'échantillonnage et l'analyse, ont une influence sur la validité et l'interprétation des données obtenues.

Un échantillonnage mal conduit peut perturber la qualité chimique de l'eau, de sorte que des analyses bien faites soient dénuées de signification et que leur utilisation conduise à des interprétations erronées. Un mauvais protocole d'échantillonnage peut aboutir à un échantillonnage coûteux et inutile.

Le protocole d'échantillonnage inclut des facteurs variés, tels que :

- détermination du diamètre du puits,
- choix des matériaux utilisés pour la construction des puits et pour les appareils de prélèvement,
- type d'appareil de prélèvement utilisé,
- détermination de la quantité d'eau à extraire des puits avant recueil de l'échantillon,
- détermination de la profondeur à laquelle l'échantillon est prélevé,
- détermination de la fréquence d'échantillonnage,
- filtration des échantillons sur le terrain,
- sélection du type de flacon pour recueillir l'échantillon, et sa composition,
- conditionnement des flacons,
- mode de remplissage des flacons,
- conservation des échantillons,
- suivi et transport des échantillons.

Un changement de méthodologie d'échantillonnage entre deux puits construits identiquement, ou en cours de l'étude, peut altérer les résultats.

Le protocole d'échantillonnage doit aussi préciser le nom du laboratoire, le mode de transport au laboratoire et toutes les procédures d'emballage nécessaires pour le transport.

Quel que soit le protocole choisi, il doit conduire à l'obtention d'échantillons représentatifs.

Un contrôle qualité est important au laboratoire, mais il l'est encore plus sur le terrain, en raison de la difficulté de contrôler les conditions de terrain.

Le protocole d'échantillonnage doit enfin prendre en considération les mesures de sécurité nécessaires pour protéger les opérateurs et les préleveurs, et empêcher une propagation de la pollution.

Les différents éléments du protocole sont considérés successivement dans ce qui suit.

2. CONCEPTION DU PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

La mise en place d'un programme de contrôle de l'eau souterraine, que ce soit pour des considérations environnementales, de santé, ou réglementaires, doit prendre en compte plusieurs options (Nacht, 1983).

On s'attachera en particulier à définir les objectifs du contrôle, les constituants à contrôler, les critères pour choisir le laboratoire, et les autres considérations permettant d'obtenir des données représentatives.

Différents facteurs doivent être pris en compte, parce qu'ils conditionnent certains éléments du protocole d'échantillonnage tels que fréquence de prélèvement, constituants à mesurer, ...

Ces facteurs sont les suivants :

❶ *Quand doit-on contrôler ?*

Un contrôle de qualité peut être demandé par une réglementation, c'est le cas des réseaux qualité de la Santé, ou des dispositifs de surveillance des taux de nitrate dans les nappes par exemple.

Un contrôle peut apparaître nécessaire même s'il n'est pas obligatoire, autour d'un site industriel sur lequel des produits dangereux sont traités ou stockés.

Dans ces cas, on a affaire à un contrôle destiné à la détection d'une pollution accidentelle ou d'une pollution diffuse.

Dans d'autres cas, il s'agit de mettre en place un contrôle destiné à l'évaluation d'une pollution établie. C'est le cas lors de pollutions accidentelles, déversements, fuites ou autres accidents entraînant une pollution de la nappe.

❷ *Quels sont les objectifs du programme de contrôle ?*

Les objectifs peuvent être :

- ne pas dépasser les normes en vigueur,
- déterminer la qualité chimique d'un aquifère,
- déterminer l'origine de problèmes concernant la qualité chimique dans une zone de la nappe,
- déterminer l'impact d'une activité sur l'environnement.

Les objectifs peuvent varier au cours du temps.

③ *Quels constituants doivent être contrôlés ?*

Les constituants chimiques à mesurer dépendent du type de produits fabriqués ou traités sur le site industriel, ou du bruit de fond de la qualité de l'eau, ou de réglementations sur l'environnement ou la santé, de l'utilisation de l'aquifère et de la géologie du site.

Les groupes de paramètres suivants doivent permettre de couvrir la plupart des paramètres à mesurer :

- paramètres de contrôle de qualité de l'eau potable considérés dans la loi sur l'eau de 1989,
- constituants ayant un effet sur la santé,
- constituants ou polluants identifiés localement,
- constituants identifiés dans les déchets ou rejets d'une usine et présentant un caractère de toxicité.

Souvent, le nombre de paramètres analysés peut être diminué quand les conditions du site sont bien connues.

④ *Quel laboratoire d'analyses choisir ?*

Un certain nombre de questions se posent concernant le laboratoire à choisir pour réaliser les analyses : A-t-il un programme contrôlé qualité/assurance qualité ? Est-ce un laboratoire certifié ? Quels sont les niveaux de détection des différents paramètres ? Etc.

⑤ *Nombre de puits nécessaires pour déterminer l'extension d'une pollution*

Ceci peut se déterminer à l'aide d'études préliminaires de géophysique, d'hydrogéologie, voire de modélisation du déplacement des polluants.

Il faut une certaine expérience professionnelle pour déterminer le nombre de puits de prélèvement nécessaire.

Un minimum de trois puits ou piézomètres est nécessaire pour déterminer la pente de la nappe. Il en faut plusieurs pour définir les conditions hydrogéologiques du site.

⑥ *Doit-on contrôler la zone non saturée ?*

Ce contrôle est très utile, car il permet de diminuer les coûts si la pollution n'a pas encore atteint la nappe.

Ce point ne sera pas développé dans ce qui suit, où on se limite strictement aux prélèvements d'eau dans les nappes.

3. CONCEPTION DES OUVRAGES

3.1. LOCALISATION

L'obtention d'échantillons représentatifs d'une pollution est conditionnée par la localisation judicieuse, dans l'espace et sur un profil, des points de prélèvement.

On suppose ici qu'une étude du site à contrôler a été faite, utilisant la géophysique, les analyses de gaz du sol s'il s'agit de contrôler une pollution, une étude hydrogéologique complète, et que le gradient et la direction d'écoulement de la nappe sont déterminés préalablement à la conception du réseau de contrôle. Un minimum de trois puits est indispensable pour déterminer la pente de la nappe mais, sur les sites très étendus, il est souvent nécessaire de disposer de 6 à 9 puits pour définir les conditions hydrogéologiques du site ou la configuration du panache.

L'interception du panache de pollution est liée à l'importance de ce panache et aux conditions propres au milieu, telles qu'hétérogénéité du terrain et variations de perméabilité.

On donne ici l'illustration pour le cas d'un aquifère simple, homogène, et pour un aquifère stratifié. La figure 1 illustre le mouvement d'effluent sous une décharge non recouverte. Le choix des profondeurs d'implantation des crépines est relativement facile dans ce cas, si l'on a toutes les données nécessaires sur l'aquifère : épaisseur, perméabilité, niveau de la nappe, et un modèle conceptuel de la nappe.

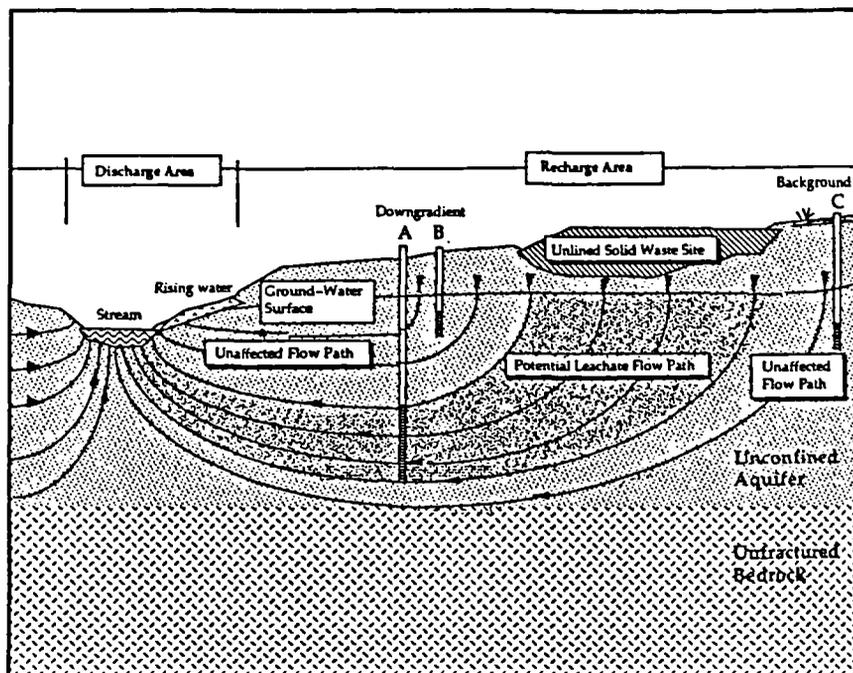


Figure 1 - Transfert d'effluent dans un aquifère simple, homogène (Nielsen, 1991)

Des différences de perméabilité en profondeur sont à prendre en considération ; le panache de pollution suivra la direction de plus grande perméabilité.

La figure 2 montre un panache de pollution issu d'une décharge, dans les sables et les graviers. Les puits de contrôle seront placés dans le sable, dans le gravier, ou dans les deux formations. Selon Barcelona et al. (1983), on peut proposer une localisation optimale des puits de contrôle en disposant des puits de prélèvement à différents intervalles sur toute l'épaisseur de la nappe.

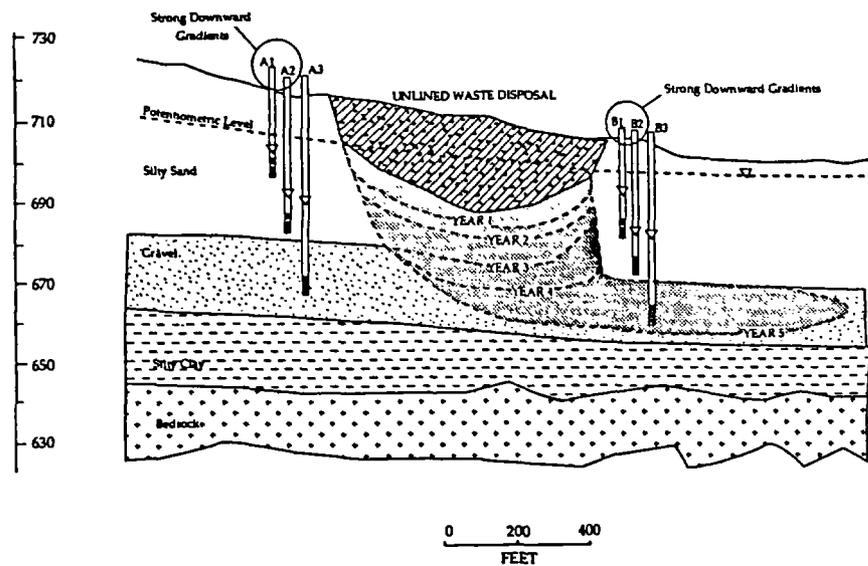


Figure 2 - Mouvement d'effluent dans un aquifère stratifié (Nielsen, 1991)

On se s'étendra pas davantage ici sur le problème de la localisation des puits de contrôle, l'objet de ce rapport étant plus précisément le protocole d'échantillonnage, mais il est indispensable d'attirer l'attention sur le fait qu'une étude hydrogéologique détaillée est fondamentale avant implantation des puits de contrôle de la qualité.

Différents cas de figure sont présentés dans l'ouvrage de Nielsen (1991).

A noter également que la connaissance des vitesses d'écoulement est essentielle pour déterminer si les localisations des puits de contrôle sont à des distances raisonnables des sources potentielles de pollution. Enfin, les temps de transfert peuvent être utilisés pour calculer les fréquences d'échantillonnage. Ceci est important pour contrôler la migration possible à partir d'une source de pollution intermittente.

Le tableau 1 résume la conception de la mise en place du système de contrôle de la nappe.

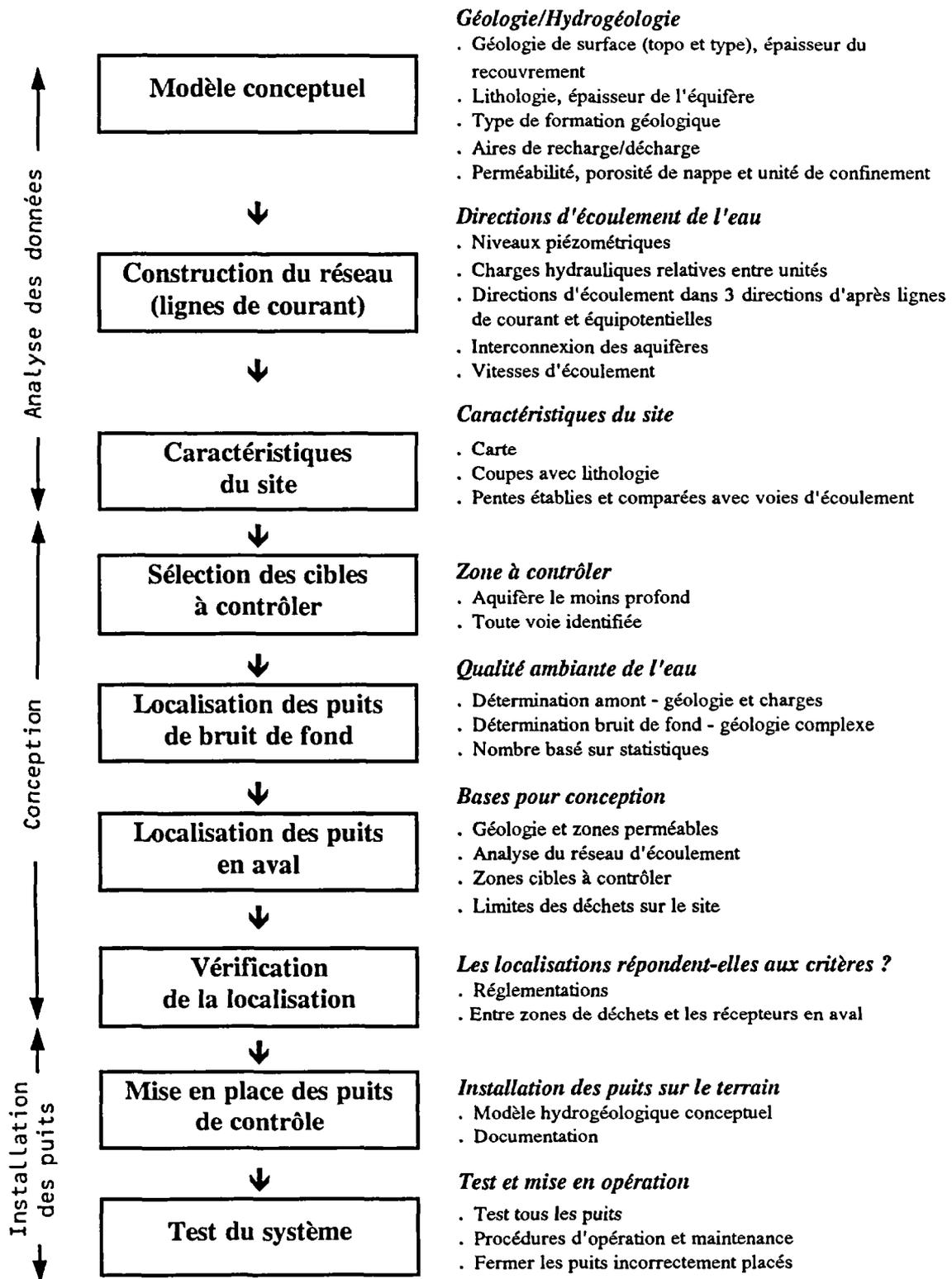


Tableau 1 - Résumé des processus de conception du dispositif de contrôle

3.2. MISE EN PLACE DES PUIXS DE CONTRÔLE

3.2.1. Méthode de foration

Les techniques de forage utilisées pour les puits de contrôle de qualité sont les mêmes que celles utilisées pour les forages d'exploration, mais avec quelques différences dans les objectifs.

Pour les puits de contrôle, la principale considération est l'obtention d'échantillons représentatifs des conditions existantes et aptes pour les analyses chimiques.

L'échantillon ne doit pas être pollué par le fluide de foration ou par les procédés de foration.

En effet, il est possible que, par l'utilisation de certaines techniques de forage, on introduise des polluants tels que fuel, lubrifiants, fluide hydraulique. Une contamination peut se produire également par les outils ou la boue. Etant donné la multitude des sources de pollution potentielle, il est impossible d'implanter un puits de contrôle stérile.

Les trois techniques de forage les plus populaires sont le forage rotary au fluide, le forage à la tarière et le forage à percussion (Fig. 3).

Le tableau 2 présente une liste d'avantages et d'inconvénients des différentes méthodes de foration, élaborée après consultation de nombreuses publications : Barcelona et al. (1985), Fetter (1983), Scalf et al. (1981).

Comme le montre ce tableau, l'utilisation de fluides est nécessaire pour certaines méthodes. Ces fluides à base d'eau sont de l'eau, de l'eau avec des additifs tels que bentonite ou polymères, ou bentonite et polymères. Les fluides à base d'air comprennent l'air sec, la buée, la mousse (avec un surfactant), ou mousse avec polymères et bentonite.

La bentonite utilisée dans les fluides de foration et aussi comme joint dans les puits peut avoir plusieurs effets sur la chimie de l'eau. Elle peut masquer la présence de métaux dans l'eau souterraine, en raison de sa capacité d'échange de cations importante en adsorbant les métaux.

Les additifs organiques, biodégradables, peuvent interférer avec les analyses bactériologiques. Pour cette raison, Barcelona et al. (1985) recommandent plutôt des fluides avec bentonite que des fluides organiques pour le forage. En fait, l'eau pure est préférable à tous ces fluides.

La qualité de l'eau doit être contrôlée pendant le développement du puits, par la demande chimique en oxygène (DCO) pour déterminer le retour aux conditions de bruit de fond.

Finalement, les techniques recommandées par l'EPA sont le forage à la tarière et le forage par battage. La technique recommandée dépend du type de formation géologique (tableau 3).

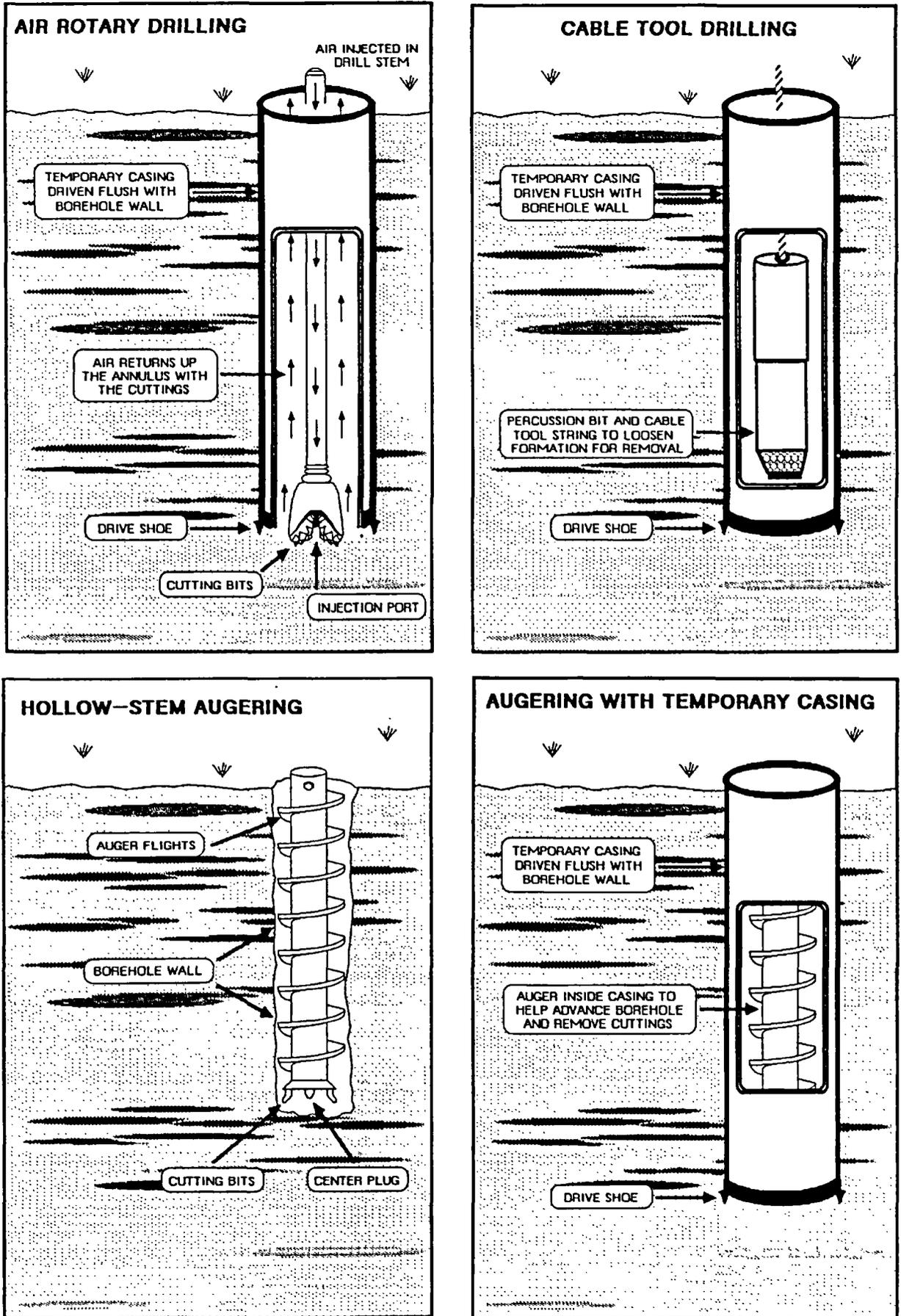


Figure 3 - Principales techniques de forage (Keely et Boateng, 1987)

MÉTHODE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
ROTARY A L'AIR	<ul style="list-style-type: none"> On n'utilise pas toujours de fluide, ce qui minimise la contamination et la dilution 	<ul style="list-style-type: none"> Quand il y a plusieurs nappes avec des pressions hydrostatiques différentes, il se produit un écoulement entre les zones avant que le trou ne soit tubé et cimenté De l'huile du compresseur peut être introduite dans la formation géologique L'utilisation d'additifs en mousse contenant des produits organiques peut interférer avec les analyses d'organiques et de minéraux
ROTARY A LA BOUE		<ul style="list-style-type: none"> Le fluide de forage qui se mélange à la formation est difficile à éliminer et peut polluer La circulation du fluide peut produire un mélange des polluants sur une verticale Les fluides et additifs peuvent interférer sur les analyses d'eau
TARIÈRE A GODET	<ul style="list-style-type: none"> On n'utilise pas de fluide, d'où moins de pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Les trous sont de grand diamètre, difficiles à cimenter Il faut ajouter de l'eau dans les formations meubles
TARIÈRE A TIGE PLEINE	<ul style="list-style-type: none"> On n'utilise pas de fluide, d'où moins de pollution On peut éviter l'utilisation de lubrifiants 	<ul style="list-style-type: none"> Comme il faut retirer la tarière avant installation du puits, il peut y avoir mélange entre les nappes Peut produire mélange entre eaux et matériaux
TARIÈRE A TIGE CREUSE	<ul style="list-style-type: none"> On n'utilise pas de fluide, d'où moins de pollution Peut éviter l'utilisation de lubrifiants Les eaux de la formation peuvent être prélevées pendant la foration Le puits peut être installé quand on retire la tarière, évitant les interactions avec eau d'autres formations 	<ul style="list-style-type: none"> Peut provoquer un mélange des matériaux sur la verticale Peut causer mélange des eaux si la tarière est retirée avant installation du puits
BATTAGE AU CABLE	<ul style="list-style-type: none"> Peu ou pas de fluide nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> Contamination possible si on utilise un fluide Eventuellement, léger mélange quand on place le tubage
INJECTION	<ul style="list-style-type: none"> Ne peut être qu'une alternative 	<ul style="list-style-type: none"> De grandes quantités d'eau ou de fluide sont introduites dans et au-dessus de la formation échantillonnée On ne peut isoler la zone avec un joint de ciment

Tableau 2 - Effets de méthodes de foration sur les échantillons d'eau (d'après Nielsen, 1991)

FORMATION GÉOLOGIQUE	TECHNIQUE DE FORAGE RECOMMANDÉE
Matériaux meubles < 45 m	1. Tarière à tige creuse 2. Tarière à tige pleine 3. Battage au câble
Matériaux meubles > 45 m	1. Battage au câble
Roches consolidées peu ou pas fissurées < 150 m	1. Battage au câble 2. Rotary à air 3. Rotary à circulation inverse
Roches consolidées très fissurées < 150 m	1. Battage au câble 2. Rotary à air
Roches consolidées peu ou très fissurées > 150 m	1. Rotary à air

Tableau 3 - Techniques de forage recommandées pour différents types de formations géologiques (Barcelona et al., 1985)

3.2.2. Construction des puits

3.2.2.1. Facteurs à considérer

La conception de base d'un puits de contrôle est adaptable à la plupart des situations de contrôle. Il convient d'abord d'identifier les problèmes rencontrés lors de la conception et de la construction des puits, les plus fréquents étant les suivants :

- utilisation de matériaux pour les tubages et les crépines, incompatibles avec le contexte hydrogéologique, ou les polluants présents, d'où altération des échantillons,
- utilisation de crépine non standard, ou mauvaise taille des fentes de la crépine, d'où des échantillons à turbidité élevée,
- longueur et emplacement impropres des crépines, d'où impossibilité d'acquisition d'échantillons de zones discrètes,
- sélection et emplacement impropres des matériaux du massif filtrant, d'où sédimentation, colmatage, ou altération des échantillons,
- sélection et emplacement impropres des matériaux de scellement, d'où altération de la qualité de l'échantillon, colmatage du massif filtrant ou des crépines,
- mesures de protection en surface inadéquates, d'où entrée d'eau de surface dans le puits.

Chacun de ces facteurs peut aboutir à la conception de puits de contrôle ne permettant pas d'obtenir des échantillons représentatifs.

Une conception et une installation bien conçues nécessitent une bonne connaissance des conditions locales, et notamment des points suivants :

- objectif du programme de contrôle,
- conditions de surface (topographie, drainage, variations saisonnières, accès au site),
- conditions hydrogéologiques (milieu consolidé/non consolidé, porosité, perméabilité, type d'aquifère, conditions de recharge et d'écoulement, relations eaux souterraines/eaux de surface),
- caractéristiques des polluants connus ou supposés, dont chimie, densité, viscosité, réactivité, concentration,
- influences anthropogènes,
- réglementations applicables sur le site.

Il n'est pas aisé de décrire un puits de contrôle "typique", mais on peut décrire les éléments qui le composent :

- tubages du puits,
- crépines,
- massifs filtrants,
- scellement de l'espace annulaire,
- protection en surface.

La figure 4 présente les différents composants d'un puits de contrôle.

La mise en place doit permettre d'éviter une pollution du forage et un accès facile à partir de la surface pour prélever les échantillons d'eau.

Les puits construits pour la production d'eau ne sont pas satisfaisants comme puits de contrôle. Ces puits sont construits avec de grandes longueurs de crépines, donc intègrent la qualité de toutes les sections de l'aquifère, ou entraînent une dilution du nuage de polluant.

A noter que les puits décrits ici et dans la littérature citée sont mis en place dans des matériaux géologiques meubles, car toutes les techniques développées sont applicables à des matériaux aquifères.

Certains réseaux de contrôle comportent des puits de contrôle et des piézomètres. **Les piézomètres sont à l'origine destinés à mesurer le niveau d'eau. Ils sont souvent de diamètre inférieur à 2,5 cm et ne sont pas conçus pour des prélèvements d'eau. Ils sont parfois utilisés pour prélever des échantillons, du fait que certains appareils de prélèvement adaptés à de petits diamètres ont été mis au point.**

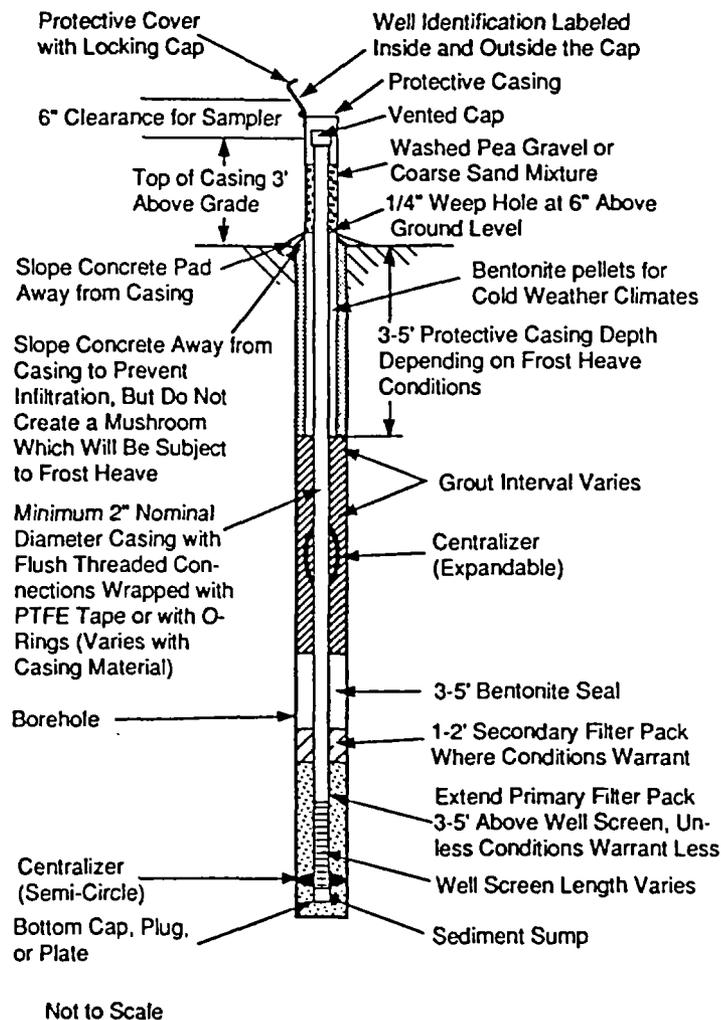


Figure 4 - Eléments d'un puits de contrôle type (Nielsen, 1991)

3.2.2.2. Profondeur

Pour bien définir le mouvement des polluants verticalement et horizontalement, il est important de collecter des échantillons discrets à des niveaux bien différenciés.

La zone perméable la plus proche du sol donnera des indications sur la direction verticale de l'écoulement de l'eau souterraine ; les puits les moins profonds sont placés dans cette zone. Les niveaux d'eau de ces puits donneront des indications sur les directions horizontales d'écoulement.

Des puits plus profonds aux mêmes emplacements permettent de compléter les données sur le mouvement vertical de l'eau et, par conséquent, des polluants. Ces puits peuvent atteindre la zone perméable suivante. Si l'aquifère a une épaisseur supérieure à 3 m, on peut utiliser des puits avec plusieurs niveaux de prélèvement.

3.2.2.3. Diamètre

Les forages destinés à l'alimentation en eau ont en général un diamètre de 10 cm pour pouvoir recevoir une pompe immergée.

Le diamètre des puits de contrôle est également déterminé par la taille de la pompe ou du système de prélèvement à mettre en place. Selon Barcelona et al. (1984), étant donné qu'il existe des pompes pouvant être introduites dans des forages de petit diamètre (5 cm), il n'est pas toujours nécessaire de recourir à des puits de plus gros diamètre, qui sont plus coûteux et nécessitent la vidange d'un volume d'eau plus important avant prélèvement, comme on le verra par la suite.

Cet avis a été en fait largement débattu par les auteurs, certains étant favorables au diamètre 10 cm, d'autres au diamètre 5 cm. Hunkin et al. (1984) recommandent plutôt des forages de 10 cm de diamètre, parce qu'ils sont développés plus rapidement et acceptent tous les dispositifs de prélèvement.

Schalla et Landick (1986) ont mis au point un procédé de développement des forages de petit diamètre (5 cm) à l'aide d'un piston à trous d'air.

3.2.2.4. Matériaux des tubages

A l'origine, la sélection du matériau de tubage pour les puits de production et autres puits était basée sur la résistance du matériau, la facilité de le manipuler et la durabilité à long terme. Cependant, comme les analyses chimiques de l'eau portent sur des niveaux de concentration de l'ordre du ppb pour certains éléments, il y a lieu de tenir compte des interactions possibles du matériau avec l'eau analysée. Le choix des matériaux pour les tubages, de même que pour les crépines, doit être basé sur trois caractéristiques : la résistance physique, la résistance chimique et le potentiel d'interférences chimiques.

Nielsen (1991) présente les résistances à la traction et à l'écrasement pour les matériaux PVC, acier inox, ABS, PTFE (polytétrafluoroéthylène) et fibre de verre.

Les tubages en métal (acier galvanisé, acier inox, acier au carbone) sont plus rigides et moins sensibles à la température que les matériaux thermoplastiques (PVC, ABS), que les matériaux fluoropolymères (exemple PTFE : téflon, fluon, ...) ou que la fibre de verre. Cependant, tous les matériaux métalliques sont sujets à la corrosion et peuvent avoir une interférence chimique ; le tubage galvanisé apporte du Fe, Mn, Zn et Cd dans les eaux, le tubage acier apporte du Fe, Mn et des sous-produits de développement bactérien. Le tubage PVC peut libérer et adsorber des traces de constituants organiques.

Selon Barcelona et al. (1984), le téflon et le verre seraient les matériaux les plus inertes. Cependant, une étude de Reynolds et Gilham (1985) a mis en évidence une absorption importante du tétrachloroéthène par le téflon. Ceci est confirmé par Hunkin (1986).

Selon Hunkin (1986) et Nielsen (1991), le tubage en fibre de verre renforcée combine les meilleures caractéristiques des matériaux métalliques et des matériaux thermoplastiques. Il est à peu près aussi solide que l'acier inox, mais son poids est identique à celui du PVC. Bien que peu utilisé pour les puits de prélèvement d'eau, il est très conseillé. Ce matériau est inerte dans la plupart des contextes.

On signalera pour conclure ce chapitre que le dilemme pour l'utilisateur sur le terrain est la relation coût et précision. En effet, le coût du PVC est 1/10 du coût d'un tubage en fluoropolymère de même diamètre, tandis que l'acier inox 304 a un coût qui est le 1/3 de celui du fluoropolymère, ce qui est important si l'on a plusieurs puits de contrôle à implanter.

On peut utiliser un matériau moins performant mais moins coûteux, en prenant soin par exemple d'implanter un puits identique dans une partie non polluée de la nappe et pouvant fournir des "blancs" pour comparaison, ainsi que le suggèrent Scalf et al. (1981).

3.2.2.5. Crépines

❖ Type

L'efficacité hydraulique d'une crépine dépend principalement de l'importance de la surface des ouvertures par unité de longueur de crépine. Il existe plusieurs types de crépines utilisées dans les puits de production. Pour les puits de contrôle, on utilise principalement les deux types de crépines à fentes de la figure 5, parce qu'elles sont disponibles en petit diamètre, 5 et 10 cm. La configuration de la crépine à fentes en continu lui confère une surface d'ouverture par unité de longueur beaucoup plus grande que dans les autres types de crépines, et une moins grande aptitude au colmatage.

Les matériaux sont, comme pour les tubages : PVC, ou fluoropolymères comme téflon, acier inox, ou fibre de verre renforcée.

Les crépines à fentes en continu peuvent être fabriquées dans tout matériau pouvant être soudé, acier et PVC ou ABS.

Les crépines ont une position qui les met en contact avec les polluants. Pour éviter les réactions chimiques et la corrosion, les matériaux des crépines doivent être choisis avec le même soin que les matériaux des tubages.

❖ Surface d'ouverture

Différentes opinions ont été avancées concernant la surface minimale d'ouverture des crépines. Les études les plus récentes indiquent que la surface d'ouverture d'une crépine doit être au moins égale à la porosité efficace du matériau de la formation et du massif filtrant. Ceci signifierait qu'une surface de 10 à 30 % est nécessaire dans les puits de contrôle et nécessiterait l'utilisation exclusive des crépines à fentes en continu (Nielsen, 1991).

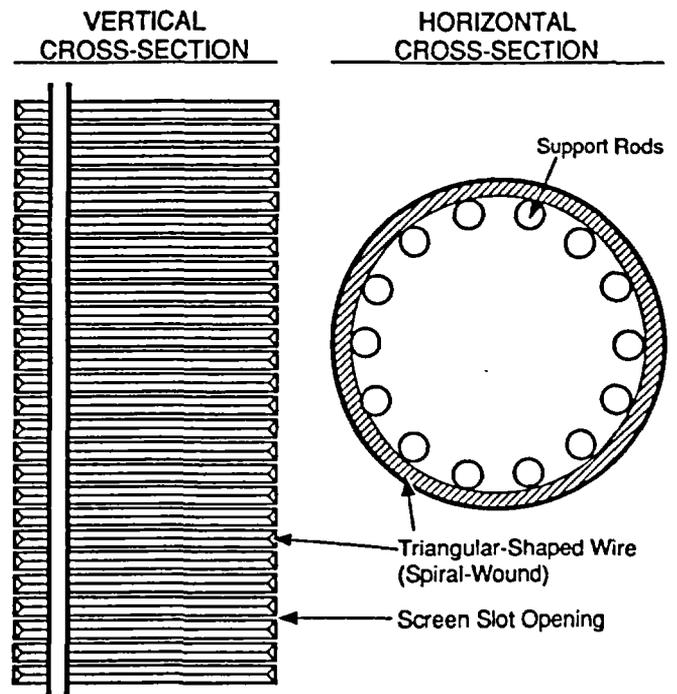
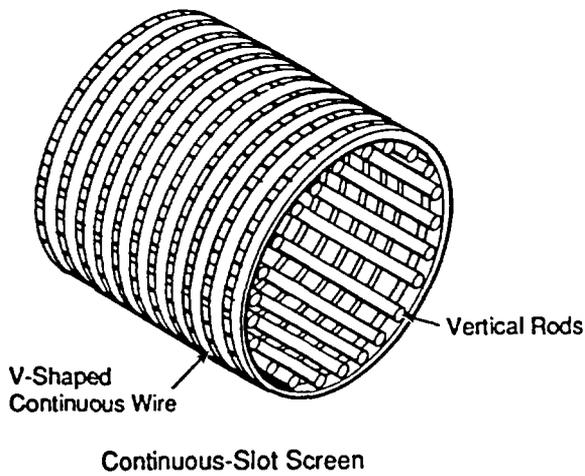
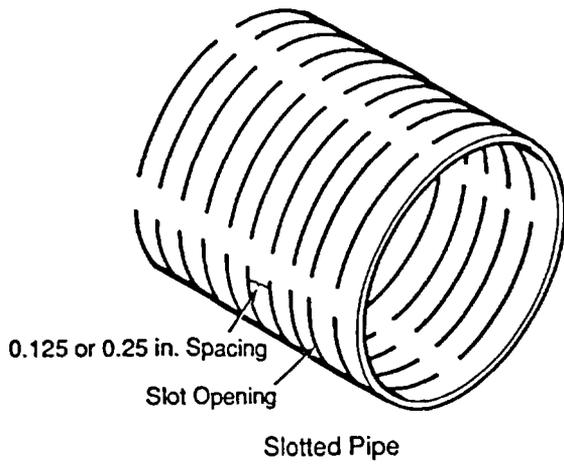


Figure 5 - Types de crépines utilisées dans les puits de contrôle et sections de la crépine à fentes en continu (Nielsen, 1991)

Lors du choix d'un type de crépines, il faut également considérer la vitesse et l'efficacité du développement du puits.

Des expériences sur le terrain avec des puits de grand diamètre et des puits de faible diamètre montrent que l'utilisation de crépines avec un pourcentage élevé de surface ouverte réduit considérablement le temps nécessaire au développement du puits (Schalla, Landick, 1986).

❖ **Longueur des crépines**

L'objectif étant le prélèvement d'échantillons, les crépines en général doivent être courtes, c'est-à-dire entre 60 cm et 3 m, et très rarement de 6 m (Fig. 6). Les crépines courtes donnent une meilleure information sur une stratification de l'eau souterraine ; par contre, une crépine intégrant tout l'aquifère peut être choisie, si l'on veut une information sur la qualité moyenne de l'eau de l'aquifère.

Dans d'autres cas, une crépine sur toute l'épaisseur de l'aquifère ne fournira pas un échantillon représentatif, comme indiqué en figure 7. Dans cet exemple, on voit que la crépine intercepte le panache de pollution, mais aussi de l'eau non polluée, ce qui aura pour effet d'obtenir une teneur en polluant inférieure à la valeur réelle (Fetter, 1983).

Cette opinion est discutée par Giddings (Opinion I, 1987). Selon lui, aucune étude hydrogéologique n'est suffisamment détaillée pour que l'on puisse prédire le trajet exact d'écoulement que le polluant va suivre et, par conséquent, une crépine longue permettra d'intercepter le polluant avec plus de sécurité.

Selon le même auteur, dans un aquifère de faible rendement, une crépine longue fournira une quantité d'eau permettant de détecter plus de polluants qu'une crépine qui fournira un très petit volume d'échantillon.

Les puits de contrôle sont conçus pour détecter le plus vite possible une pollution et non pour définir la vitesse ou la trajectoire exacte du polluant. Dans ce cas, une crépine longue convient mieux pour réaliser cet objectif. Ceci entraîne que les crépines courtes seront plus indiquées pour délimiter l'extension et obtenir les concentrations précises en polluant que pour détecter le polluant.

Cette argumentation est à son tour contestée dans le même article par Shosky (Opinion II, 1987). Cet auteur pense qu'en présence d'un nuage de polluant, de courtes crépines rendent mieux compte d'une situation précise.

En fait, le choix d'une crépine longue ou d'une crépine courte sera réalisé en tenant compte du problème à résoudre et du contexte de l'étude : crépine courte pour obtenir la concentration en une localisation précise, crépine longue pour détecter une pollution, par exemple.

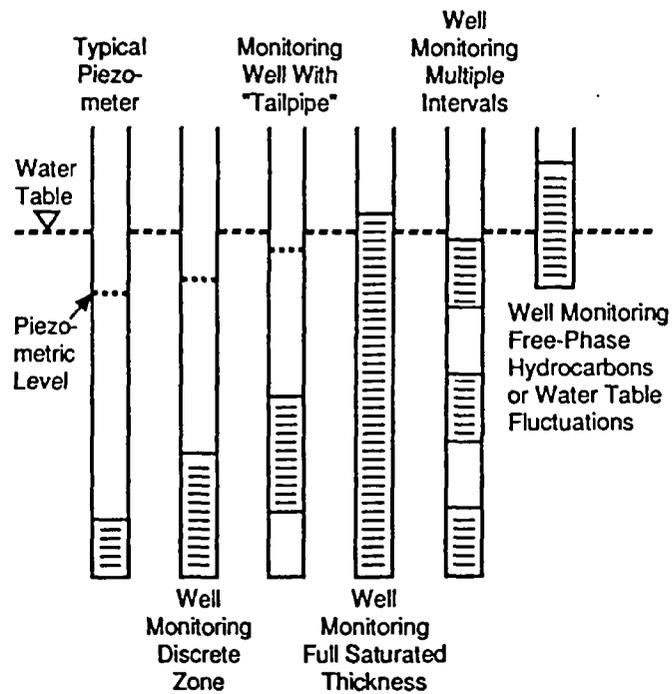


Figure 6 - Variabilité des longueurs de crépines dans les puits de contrôle (Nielsen, 1991)

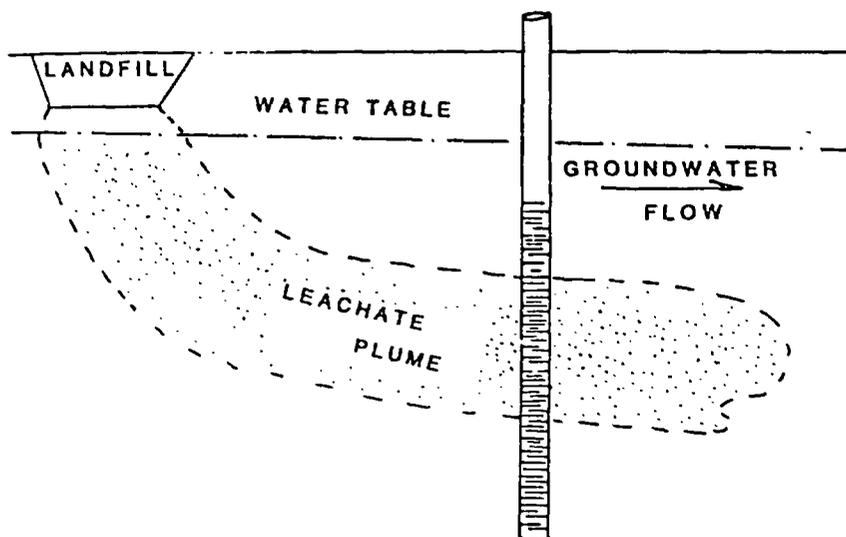


Figure 7 - Exemple de mauvais dimensionnement de la crépine (Fetter, 1983)

❖ Crépines à plusieurs niveaux

L'utilisation de plusieurs crépines placées à différents niveaux d'un même forage a été décrite dans la littérature, en particulier par Nakamoto et al. (1986). La figure 8 présente un exemple d'une telle réalisation.

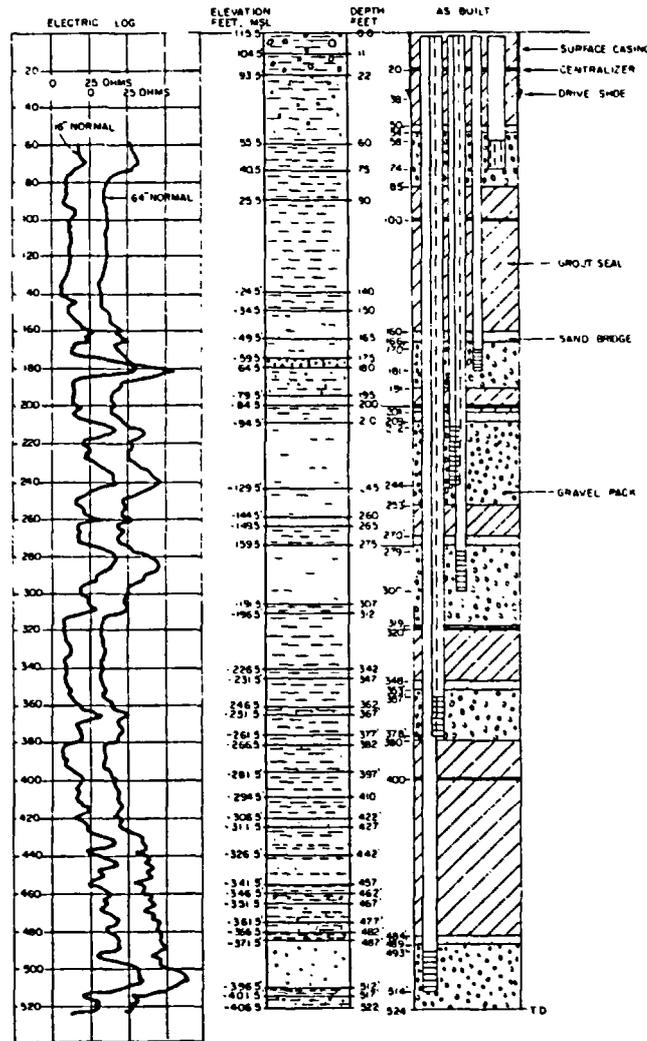


Figure 8 - Puits de contrôle - Crépine sur plusieurs niveaux (Nakamoto et al., 1986)

Selon Barcelona et al. (1985), le soin et le temps nécessaires pour bien isoler par étanchéification les différents intervalles n'est pas justifié. Par contre, Nakamoto et al. (1986) indiquent que l'étanchéité des joints est vérifiée par mesure de la charge hydraulique et de la qualité de l'eau dans chaque piézomètre.

Une différence de charge importante entre deux piézomètres adjacents montre que ceux-ci ne sont pas connectés et que, par conséquent, il n'y a pas d'écoulement à travers les joints. Selon Nakamoto et al. (1986), le coût d'un puits à plusieurs niveaux de prélèvement est 2 à 3 fois moindre que le nombre équivalent de puits simples.

3.2.2.6. Scellement de l'espace annulaire

L'espace annulaire, s'il n'est pas scellé, est une voie potentielle pour l'infiltration d'eau et/ou de polluants.

Il existe aussi des voies d'infiltration possible si le scellement est mal fait, entre forage et matériau de scellement, dans le matériau lui-même, par fissures par exemple, ou par des vides, entre tubage et matériau de scellement. Il est donc très important de bien sceller l'espace annulaire entre tubage et trou de forage. Le matériau de scellement est placé au-dessus du massif filtrant entre forage et tubage, pour protéger contre les eaux de surface et polluants en provenance de la surface, pour isoler des zones discrètes, hydrauliquement et chimiquement, et pour éviter une migration verticale d'eau de qualité différente d'un aquifère dans un autre.

De plus, ce joint annulaire protège le tubage contre la corrosion. Le joint annulaire peut être composé de plusieurs matériaux, dont la bentonite et des coulis de ciment, ou des mélanges des deux. Pour minimiser les interférences possibles entre ces matériaux et l'eau, il est recommandé de placer une couche de 30 cm de sable fin siliceux au-dessus du massif filtrant puis, si possible, 30 à 60 cm de boulettes de bentonite, puis 1,50 à 3 m de ciment.

Deux types de finition en surface sont en général adoptées pour les puits de contrôle (Fig. 9) : au-dessus du sol ou au niveau du sol. L'une ou l'autre solution est destinée à protéger les puits des vandales et à empêcher l'entrée des eaux de ruissellement.

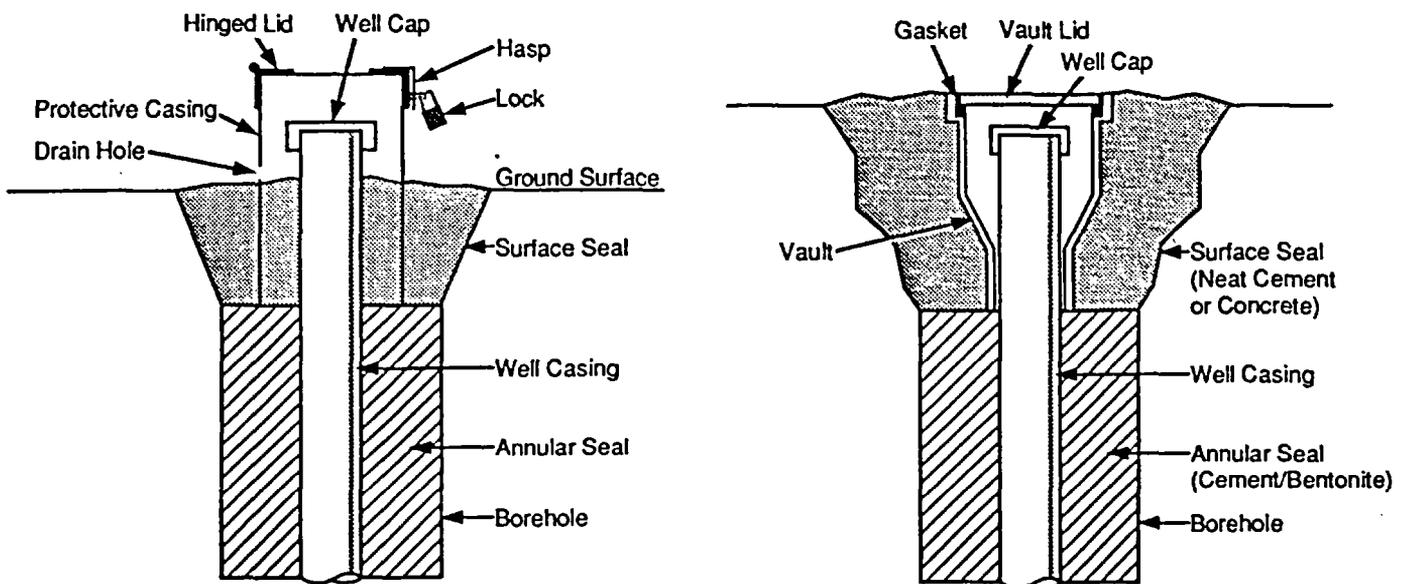


Figure 9 - Finition du puits (Nielsen, 1991)

a) Au-dessus du sol

b) Au ras du sol

3.2.3. Développement du puits

Lors de la foration, des fines sont introduites dans le forage et forment une galette de boue qui diminue la perméabilité des terrains au droit de la crépine. Il faut éliminer ces fines pour permettre à l'eau d'entrer dans le puits de contrôle. De plus, les échantillons d'eau prélevés ne doivent pas contenir de particules solides.

Les techniques de développement sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les puits de production, mais elles doivent être adaptées car les conditions diffèrent : diamètre plus faible, donc surface d'ouverture moindre, niveaux échantillonnés qui ne sont pas obligatoirement très productifs.

On agite la colonne d'eau en forçant et retirant l'eau à travers la crépine et le massif de gravier pour désagréger les fines, puis on pompe pour retirer ces matériaux et les matériaux et fluides de foration.

Comme les puits de contrôle sont construits pour fournir des échantillons représentatifs, il ne faut pas introduire de matériaux étrangers pour développer. L'addition d'eau n'est pas recommandée.

Nielsen (1991) présente 6 méthodes utilisées pour développer les puits de diamètre 5 à 20 cm :

- développement par pistonnage/pompage avec air comprimé,
- développement avec une pompe centrifuge,
- développement avec une pompe submersible,
- développement avec piston et insufflation d'air (Schalla, Landick, 1986),
- développement par une cuillère,
- développement manuel.

Selon Keely et Boateng (1987), l'utilisation d'un piston n'est pas conseillée, car on perturbe le massif filtrant. Ils préconisent le pompage.

3.2.4. Documentation sur la construction des puits

La construction du puits pouvant affecter les résultats du contrôle de qualité, il est indispensable de noter toutes les informations s'y rapportant et plus particulièrement :

- diamètre du forage,
- hauteur du tubage de protection,
- niveau du tubage du puits,
- niveau du sol,
- diamètre, type de matériau du tubage,
- diamètre, type de matériau de la crépine,
- longueur de crépine,
- taille des fentes de la crépine,

- longueur de tubage,
- fond du forage,
- longueur du massif filtrant,
- épaisseur du joint de bentonite et forme de bentonite,
- épaisseur et description du joint de ciment,
- épaisseur et description du joint de ciment à la surface,
- diamètre et type de matériau du tubage de protection,
- difficultés de construction.

Ces données peuvent être reportées sur une figure ou dans un tableau.

4. DESCRIPTION DES APPAREILS DE PRÉLÈVEMENT D'EAU DANS UN PUIT

Plusieurs facteurs influencent la représentativité d'un échantillon, comme le soulignent Barcelona et al. (1983), mais l'élément le plus critique des protocoles d'échantillonnage est le mécanisme de prélèvement.

La plupart des puits de contrôle sont des puits de faible diamètre, avec un diamètre interne de 5 cm ou moins. De nombreux appareils ont été mis au point pour prélever l'eau souterraine dans des puits de faible diamètre.

Ces appareils comprennent les tubes à clapets (en anglais "bailers"), les seringues, pompes à succion, pompes actionnées aux gaz, pompes à diaphragme, pompes submersibles.

Aucun appareil ne convient pour toutes conditions hydrogéologiques et tous types de polluants.

4.1. CHOIX D'UN APPAREIL DE PRÉLÈVEMENT

La première chose à examiner est de savoir si l'appareil envisagé pourra *entrer* dans le puits sans être gêné, ceci dans le cas où le puits est déjà construit, sinon il peut être prudent de sélectionner un appareil convenant pour le prélèvement à faire et dimensionner le puits en conséquence. Plus le diamètre du puits est faible, plus les appareils adéquats sont limités.

Tous les appareils décrits dans ce qui suit conviennent dans un puits de diamètre interne 7,5 cm ; la plupart peuvent être utilisés dans un puits de 5 cm de diamètre interne, plusieurs peuvent être utilisés dans des puits de 3,7 cm de diamètre interne.

L'appareil choisi doit respecter l'intégrité des échantillons, donc *ne pas altérer* physiquement ou chimiquement la qualité de l'eau, soit par le matériau dont il est fait, soit par la méthode d'apport de l'eau à la surface.

Il est par conséquent important que le matériau n'adsorbe pas les polluants ou n'en libère pas, que les pH, Eh, potentiel redox ne soient pas altérés, et qu'aucun constituant organique volatil présent dans l'eau ne soit éliminé par aération ou dégazage.

Il est recommandé d'utiliser un matériau inerte. De nombreuses études ont été réalisées pour le choix des matériaux concernant les puits de contrôle et les appareils de prélèvement (Barcelona et al., 1984 ; Barcelona et al., 1983 ; Scalf et al., 1981).

Les tableaux 4 et 5 présentent quelques recommandations pour le choix des matériaux rigides et flexibles.

Ordre de préférence	Matériau
1	Téflon
2	Acier inoxydable 316
3	Acier inoxydable 304
4	Chlorure de polyvinyl (PVC)
5	Acier avec peu de carbone
6	Acier galvanisé
7	Acier au carbone

Tableau 4 - Matériaux à utiliser pour les appareils de prélèvement d'eau souterraine (matériaux rigides)

Ordre de préférence	Matériau
1	Téflon
2	Polypropylène
3	PVC flexible/Polypropylène linéaire
4	Viton
5	Polyéthylène ordinaire
6	Tygon
7	Silicone/Néoprène

Tableau 5 - Matériaux recommandés pour utilisation dans les appareils de prélèvement (matériaux souples)

De plus, l'appareil utilisé ne doit pas *modifier* l'échantillon quand il est amené en surface, et ne doit pas introduire d'air ni d'oxygène dissous.

Les échantillons collectés pour l'analyse de certains paramètres sensibles, comme les organiques volatils, doivent être prélevés avec des *débits faibles*. Barcelona et al. (1984) suggèrent des débits de 100 ml/mn ou moins pour minimiser l'aération ou le dégazage. Il est intéressant d'avoir un appareil à débit contrôlable, pour passer d'un débit fort pour purger à un faible débit pour prélever, sinon il vaut mieux choisir deux appareils distincts pour purger et pour prélever.

La *profondeur* à laquelle on doit prélever intervient également dans le choix de l'appareil utilisé ; plus la profondeur est grande, plus il faut une grande force ascensionnelle pour remonter l'échantillon.

La facilité du nettoyage et de la maintenance des appareils est un facteur qui a son importance, surtout si le même appareil est utilisé pour prélever dans plusieurs puits.

Un appareil simple à manipuler, facile à réparer sur place, résistant aux produits chimiques agressifs, portable et peu coûteux, est souhaitable.

En résumé, l'appareil idéal est :

- capable d'être introduit facilement dans le tubage,
- fait dans un matériau inerte, ne réagissant pas avec les paramètres à mesurer,
- compatible avec le degré de sensibilité analytique,
- capable de purger le puits,
- capable de fournir un échantillon avec un faible débit,
- capable d'opérer à la profondeur souhaitée,
- facile à manipuler sur le terrain,
- facile à démonter pour être nettoyé,
- facilement transportable,
- capable de supporter des environnements hostiles,
- d'un bon rapport qualité/prix.

Les appareils disponibles se répartissent en trois catégories :

- mécanismes à écopier, comme les bouteilles à clapets et les seringues,
- mécanismes de remontée par succion, comme les pompes centrifuges et les pompes péristaltiques,
- mécanismes de déplacement, dont les appareils aux gaz, les pompes à diaphragmes actionnés par des gaz, les pompes électriques submersibles et les pompes à piston actionné par le gaz.

Les avantages et inconvénients de ces différents appareils sont exposés dans ce qui suit (Nielsen et Yeates, 1985).

Ces observations reposent en particulier sur les évaluations faites par Barcelona et al. (1984).

4.2. MÉCANISMES TYPE "ÉCOPE"

4.2.1. Bouteilles à clapets

Ce système est le plus vieux et le plus simple à mettre en oeuvre (Fig. 10). Il s'agit de tubes ou bouteilles à prélèvement en PVC, téflon ou acier inoxydable. Le haut du tube est ouvert et le fond contient une valve de forme sphérique reposant sur une assise.

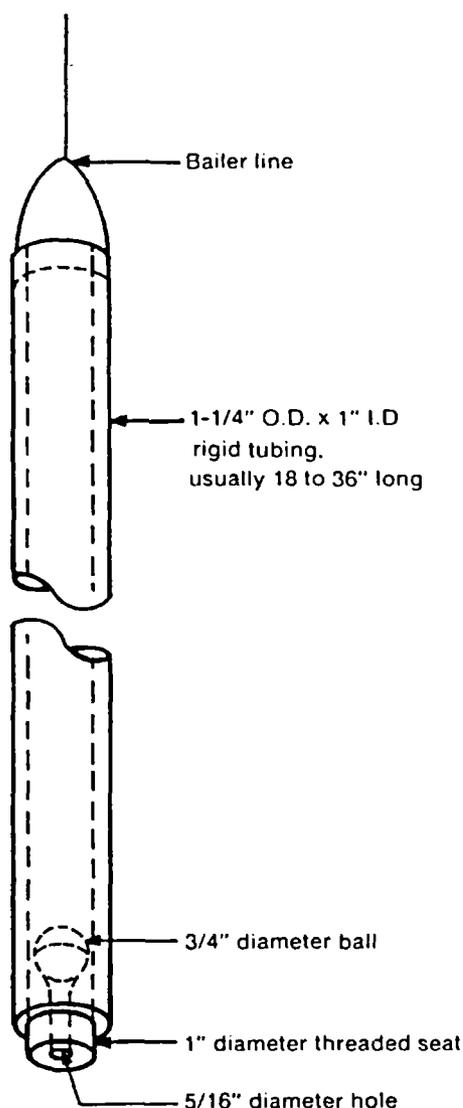


Figure 10 - Bouteille à clapet (d'après Nielsen et Yeates, 1985)

Le tube est descendu dans le puits, la valve étant ouverte. On arrête l'appareil à la profondeur voulue. Le poids de la colonne d'eau ferme la valve, emprisonnant l'échantillon qui représente l'intégralité de la colonne d'eau. Le volume recueilli dépend de la longueur et du diamètre du tube préleveur.

Il existe également des tubes à double valve, conçus pour échantillonner un intervalle discret. Dans ce système, une valve est située au fond, l'autre au sommet du tube. L'eau entre dans le tube lorsqu'il est descendu ; à la profondeur voulue, on arrête le tube, les deux valves se ferment simultanément en emprisonnant un échantillon supposé représenter un intervalle spécifique, mais en réalité l'échantillon est une intégration de la colonne d'eau qu'a traversée le tube.

Ces tubes sont remontés à la main, ou à l'aide d'un câble et d'une poulie.

Il faut prendre soin de remonter l'échantillon lentement et de vider le tube par le bas en évitant l'aération.

Les avantages et inconvénients des tubes à prélever sont résumés dans le tableau 6.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Ils peuvent être fabriqués en tout matériau rigide ou flexible, inerte aux produits chimiques . Appareil simple, facile à mettre en oeuvre et à nettoyer . Par rapport aux autres appareils, ils sont très peu chers . Ils peuvent prélever à toute profondeur . Ils ne nécessitent aucune source d'énergie et ils sont légers et portables . Les tubes en matériau flexible peuvent entrer dans les puits non verticaux . Les tubes peuvent être adaptés à tout diamètre et toute longueur pour prélever toute sorte de volume 	<ul style="list-style-type: none"> . Dans les puits profonds, la purge peut être longue . Si le câble n'est pas bien nettoyé, on peut introduire des pollutions d'un puits à un autre . Il peut se produire une aération, un dégazage quand on descend le tube ou que l'on transvase l'échantillon dans le flacon . La personne qui opère est exposée aux polluants . Cette technique ne produit pas un écoulement continu vers la surface . Il n'est pas aisé de déterminer à quelle cote exacte correspond l'échantillon . Les valves peuvent mal fonctionner . L'effet "goupillon" d'un tube ajusté au tubage peut introduire des fines, en particulier si le puits a été mal développé

Tableau 6 - Avantages et inconvénients des tubes à clapets

4.2.2. Seringues

Ces appareils ont été conçus dans le but de collecter des échantillons représentatifs, en perturbant le moins possible la pression du gaz avant le transfert dans les flacons.

Le système le plus simple et le moins cher consiste en une seringue de 50 ml, en polyéthylène, similaire à celle utilisée en médecine (Gilham, 1982), au bout de laquelle est adaptée

une aiguille. Un lest en acier inox est nécessaire pour enfoncer la seringue dans la colonne d'eau (Fig. 11).

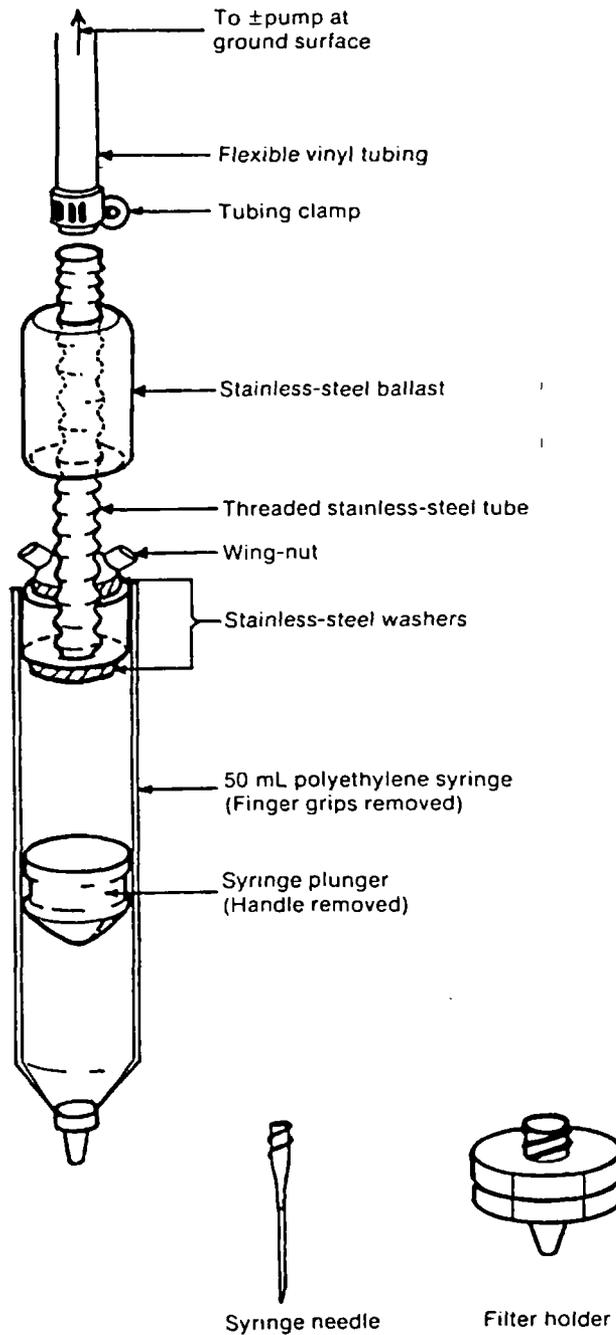


Figure 11 - Schéma d'une seringue de type médical adaptée pour prélever l'eau (Gilham, 1982)

La seringue est descendue à la profondeur souhaitée. Si l'eau doit être prélevée à des profondeurs de l'ordre de 3,30 à 4,95 m sous le niveau statique, il faut appliquer une pression positive à la seringue lors de la descente pour empêcher le piston de bouger. Lorsque la profondeur voulue est atteinte, on applique une pression négative qui déplace le piston et fait entrer l'eau dans la seringue. Ces pressions sont appliquées par l'intermédiaire d'une pompe placée en surface.

Pour maintenir l'échantillon en conditions naturelles, la seringue peut être utilisée comme récipient, en scellant l'aiguille avec un bouchon. On peut aussi enlever l'aiguille et la remplacer par le support de filtre. L'échantillon peut alors être filtré dans un récipient.

Comme on peut conserver l'échantillon dans la seringue, les risques de contamination sont moins grands, mais Gilham a mis en évidence des diffusions d'oxygène par les parois. On résout ce problème en utilisant des seringues en verre.

Il existe dans le commerce une seringue spécialement mise au point pour prélever l'eau. Cette seringue en acier inox, de diamètre intérieur 3,1 cm et de longueur 82,5 cm, comporte une valve et une crépine pour filtrer l'eau et un piston en téflon. Cette seringue a une capacité de 850 ml. Par contre, il n'est pas facile de l'utiliser comme récipient.

Les avantages et inconvénients des seringues sont résumés dans le tableau 7.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . L'échantillon n'a pas de contact avec l'atmosphère, donc pas de dégazage de l'échantillon . L'échantillon peut être prélevé à intervalles discrets et à n'importe quelle profondeur . Les seringues peuvent être utilisées dans les puits à recharge lente . Les seringues peuvent être fabriquées en matériau inerte . Elles peuvent servir de récipient, d'où moindre risque de contamination . Le prix des seringues est modique . Elles peuvent être introduites dans des puits de 3,75 cm de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> . Le volume prélevé est faible . Elles ne peuvent être utilisées pour purger le puits . On les trouve moins facilement dans le commerce . Leur utilisation est limitée aux eaux peu chargées en particules en suspension

Tableau 7 - Avantages et inconvénients des seringues à prélever l'eau

4.3. MÉCANISMES A ASPIRATION-SUCCION

Ces mécanismes sont des pompes de faible volume qui, par application d'un vide, font remonter l'eau par succion. L'utilisation de ces appareils n'est possible que dans les puits peu profonds, car la limite de remontée par aspiration est de 8,25 m. On rencontre deux types de pompes.

4.3.1. Pompes centrifuges

Le principe en est très simple : la seule partie mobile est une roue reliée à l'axe de transmission d'un moteur. Un tube flexible relié à une valve et à un raccord au centre de la roue est descendu dans le puits. La pompe doit être amorcée par remplissage du tube avec de l'eau. Quand la roue tourne, l'eau de la roue est rejetée par force centrifuge ; ceci crée un vide partiel qui remonte l'eau du puits.

Scalf et al. (1981) estiment que le débits de pompage peuvent atteindre 1,13 à 9 m³/h.

Les inconvénients de ce type de pompe figurent dans le tableau 8.

4.3.2. Pompes péristaltiques

Les pompes péristaltiques sont de petites pompes à vide comprenant un rotor et plusieurs rouleaux à roulement à bille, dans une tête de pompe. Un tube flexible placé autour du rotor de la pompe est écrasé par les rouleaux qui tournent autour du rotor, en créant une succion.

Une extrémité du tube, ajustée à une crépine, est enfoncée dans le puits, tandis que l'autre extrémité du tube est placée dans un récipient collecteur.

En général, le tube est en silicone, ce qui ne convient pas pour échantillonner les eaux contenant des produits organiques (Barcelona et al., 1983) ; les tubes en téflon, inertes, ne sont pas assez souples pour ce genre de pompes. Il faut changer de tube ou les nettoyer entre chaque prélèvement.

Les débits de ces pompes sont faibles : 4,5.10⁻² m³/h à 0,22 m³/h.

Les avantages et inconvénients des systèmes à succion sont résumés dans le tableau 8.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Le débit de la pompe est facile à contrôler . Les pompes peuvent être transportées aisément . Les pompes sont peu onéreuses . La pompe n'est pas en contact avec l'échantillon ; seul le tubage demande à être nettoyé . Les pompes peuvent être utilisées dans des puits de tous les diamètres 	<ul style="list-style-type: none"> . Elles ne sont utilisables que lorsque le niveau piézométrique est à moins de 8 m sous la surface du sol . Une variation de pression due à l'application d'une forte succion peut entraîner un dégazage et la perte des éléments volatils . Une source d'énergie électrique est nécessaire pour les pompes péristaltiques . Le moteur à essence utilisé pour les pompes centrifuges peut amener une pollution des échantillons . Le pompage avec les pompes centrifuges peut entraîner une turbulence . Les pompes centrifuges doivent être amorcées, d'où une source de pollution potentielle . Les faibles débits des pompes péristaltiques ne permettent pas de purger le puits en un temps raisonnable . Pour les tubes, ou pour les roues dans la pompe centrifuge, le choix de matériaux en contact avec l'échantillon est limité

Tableau 8 - Avantages et inconvénients des mécanismes à succion

4.4. MÉCANISMES A DÉPLACEMENT

4.4.1. Dispositifs à déplacement par le gaz

Il existe dans le commerce de nombreux appareils de ce type. L'appareil le plus simple consiste en un tube rigide, muni d'une pointe crépinée, d'un clapet de fermeture réglant l'entrée d'eau, d'un tube d'entrée du gaz avec raccord, et d'un tube d'écoulement de l'eau et son raccord (Fig. 12).

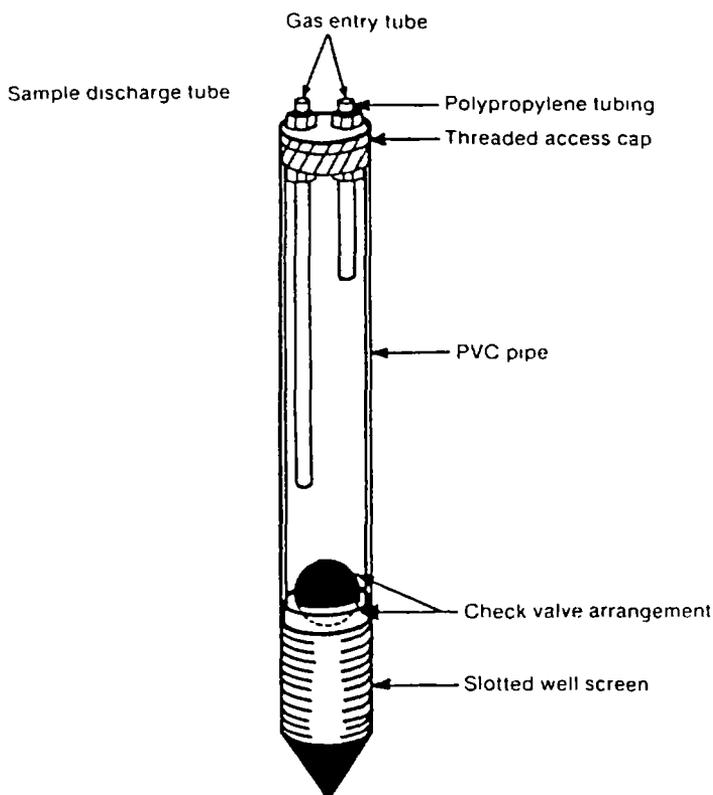


Figure 12 - Pointe filtrante pour prélèvement à l'aide de gaz (Morrison et Brewer, 1981)

Pour prélever un échantillon, on applique une pression de gaz dans le tube d'entrée du gaz, ce qui ferme la valve, et l'appareil est descendu à la profondeur souhaitée.

La pression est supprimée : la différence de pression à travers le clapet fait entrer l'eau dans le tube. La pression est à nouveau appliquée pour fermer le clapet. On porte alors la pression à une valeur supérieure à la pression hydrostatique existant à la profondeur considérée. Le tableau 9 donne la pression hydrostatique à différentes profondeurs.

Profondeur (en mètres)	Pression hydrostatique (t° eau = 10°C)	
	psi $P = 1,42 \times H \text{ en m}$	Bars
3,05	4,33	0,3
7,6	10,8	0,74
15,2	21,6	1,49
22,9	32,5	2,24
30,5	43,3	2,99
45,7	65	4,57
61	86,6	5,97
76,2	108,3	7,47
91,4	130	8,97

Tableau 9 - Pression hydrostatique à différentes profondeurs (Nielsen et Yeates, 1985)

Gibb et al. (1981) suggèrent que la pression dans l'appareil de prélèvement soit supérieure de 1 à 2 Psi à la pression hydrostatique au point de prélèvement. D'autres ont préconisé qu'elle soit supérieure de 10 % à la pression hydrostatique. La pression du gaz force l'eau par le tube d'évacuation en direction de la surface.

Cet appareil permet de prélever de l'eau à n'importe quelle profondeur.

L'oxydation de l'échantillon est limitée par l'utilisation d'un gaz inerte (azote) et en évitant la surpression. La turbulence produite par l'injection rapide du gaz dans le préleveur peut provoquer un dégazage des volatils, ou peut entraîner un piégeage de particules en suspension sur la valve d'entrée d'eau.

Pour les puits peu profonds, une pompe à main et des tubes flexibles suffisent, mais pour les puits profonds un compresseur à air ou un réservoir de gaz comprimé et des tubes renforcés sont nécessaires.

Les avantages et inconvénients de ces appareils sont résumés dans le tableau 10.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Ces appareils peuvent être utilisés dans les puits de 3,75 cm de diamètre . Ils sont légers et peu coûteux . Ils prélèvent à la profondeur voulue . Ils fournissent un échantillon à un débit contrôlé, continu . L'utilisation d'azote minimise l'oxydation . Ces appareils peuvent être construits en matériau inerte . La profondeur de prélèvement n'est limitée que par la résistance des matériaux 	<ul style="list-style-type: none"> . Si l'on utilise O₂ ou de l'air, il peut y avoir oxydation, précipitation de métaux, départ des volatils . Il faut transporter un compresseur ou un réservoir de gaz comprimé, ce qui limite la portabilité . Une pression excessive peut rompre les tubes d'arrivée du gaz ou de sortie de l'eau

Tableau 10 - Avantages et inconvénients des appareils à déplacement par le gaz

4.4.2. Pompes à membrane, actionnées par le gaz

Ces pompes sont constituées par une vessie flexible incluse dans un corps rigide, une valve crépinée permettant l'entrée d'eau, un tube perforé placé à l'intérieur de la vessie, une valve d'évacuation de l'eau, et deux tubes : l'un qui permet la pressurisation de l'espace annulaire entre le corps et la vessie, l'autre qui permet l'évacuation de l'eau en surface (Fig. 13).

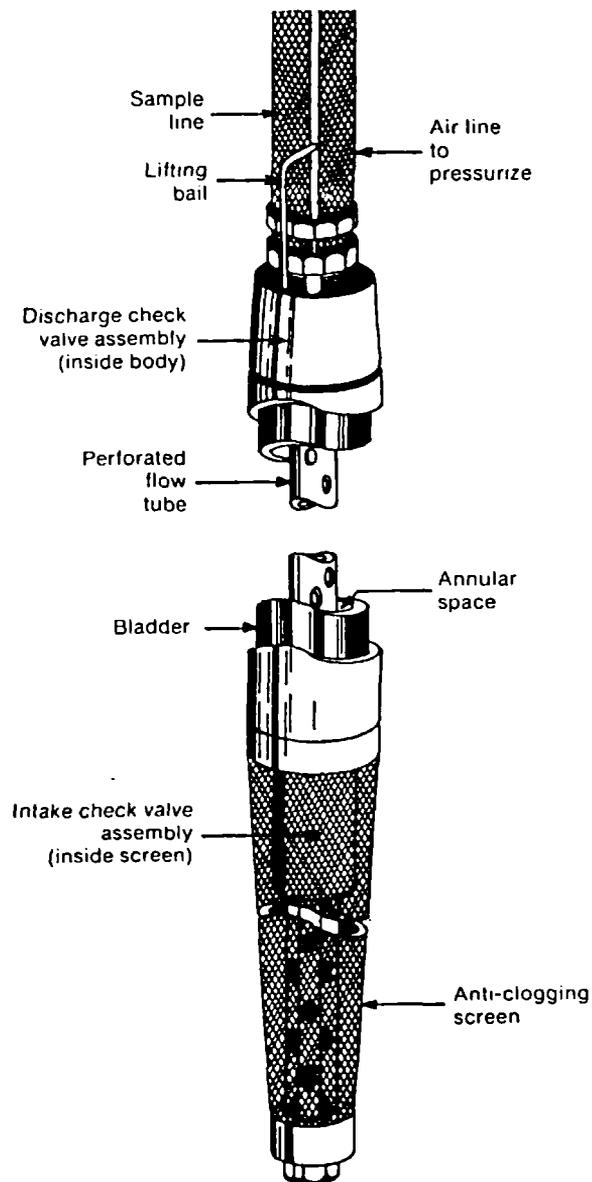


Figure 13 - Pompe à membrane (d'après Nielsen et Yeates, 1985)

Ces pompes nécessitent une alimentation par un gaz comprimé. L'échantillon recueilli n'est pas en contact avec le gaz.

La pompe est mise sous pression avant d'être descendue à la profondeur souhaitée. Quand la pompe est immergée, on libère la pression dans l'espace annulaire entre la membrane et le corps de la pompe. Quand la pression de l'eau au niveau de la valve d'entrée est supérieure à la pression du gaz dans l'espace annulaire, l'eau entre dans la vessie par la valve d'entrée et le tube perforé, et remplit la vessie.

Pendant la phase de pompage, l'espace annulaire est pressurisé par le gaz. Dès que la pression du gaz dans l'espace annulaire est supérieure à la pression de l'eau dans la vessie, celle-ci s'affaisse et la valve d'entrée d'eau se ferme. L'affaissement de la vessie due à l'augmentation de pression dans l'espace annulaire chasse l'eau vers la valve supérieure et le tubage d'évacuation.

Les débits maximaux obtenus avec cette pompe vont de $9 \cdot 10^{-2}$ m³/h à 0,17 m³/h. L'opérateur doit ajuster le débit au début du prélèvement, de façon à éviter le départ des éléments volatils : pour cela, on réduit la pression au minimum requis pour remonter un échantillon (100 ml/mn).

Les pompes disponibles utilisées dans des puits de 5 cm de diamètre peuvent prélever des échantillons à 120 m de profondeur à des pressions de 200 Psi (13,8 bars).

Ces pompes ont en général un diamètre de 4,38 cm et une longueur de 1,05 à 1,80 m.

Les avantages et inconvénients de ces pompes sont résumés dans le tableau 11.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . La plupart de ces pompes sont en matériau inerte . Le gaz n'est pas en contact avec l'échantillon, d'où moins d'aération ou dégazage . Ces pompes sont portables, quoique les accessoires soient gênants . Les débits importants permettent la purge et la collecte d'échantillons de volumes importants . Les débits sont contrôlables, d'où possibilité de purger à fort débit et de collecter des échantillons pour volatils à faible débit . Elles permettent de prélever jusqu'à plus de 60 m . Ces pompes se démontent et se nettoient facilement . Elles sont en général conçues pour des puits de 5 cm de diamètre, mais il en existe pour des diamètres inférieurs . Il en existe aussi pour des puits de plus grand diamètre (8,75 cm de diamètre extérieur) 	<ul style="list-style-type: none"> . L'échantillonnage à grande profondeur nécessite beaucoup de gaz et de temps . Les valves peuvent être défectueuses dans les eaux contenant des solides en suspension . La plupart sont chères . Pour certaines pompes, le débit d'évacuation est trop élevé pour échantillonner les composés volatils

Tableau 11 - Avantages et inconvénients des pompes à membrane

4.4.3. Pompes électriques immergées

Il existe deux variétés de pompes électriques immergées, de petit diamètre, les pompes à engrenages et les pompes à rotor hélicoïdal.

4.4.3.1. Pompes à engrenages

Ces pompes sont fabriquées pour des puits de 5 à 7,5 cm de diamètre. Elles sont formées d'un corps en acier inox abritant un petit moteur électrique. Le moteur commande deux engrenages en téflon qui conduisent l'eau vers une crépine en acier inox, au sommet de la pompe. L'eau entraînée par les engrenages est poussée continuellement vers un tube d'évacuation en direction de la surface. Les joints sont en viton, les tubes d'évacuation en vinyl, polyéthylène ou téflon.

Il existe deux tailles de tête de pompe, interchangeables : la plus petite, de 17,5 cm de long, a un diamètre extérieur de 4,38 cm, fournit un débit de 0,11 m³/h, et prélève à 33 m ; la plus grosse, de 2,5 m de long, de diamètre 6,25 cm, a un débit de 0,22 m³/h, avec une source d'énergie standard.

Les caractéristiques sont résumées dans le tableau 12.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Ces pompes sont en matériau inerte . Ces pompes sont portatives . Elles fournissent un échantillon en continu sur de longues périodes . Elles existent pour des puits de 5 cm de diamètre, 7,5 cm ou plus . Les débits élevés permettent de l'utiliser pour la purge et pour le prélèvement . On peut prélever jusqu'à 45 m et plus avec une source auxiliaire d'énergie . Elles sont d'une utilisation simple, faciles à nettoyer, et peu coûteuses 	<ul style="list-style-type: none"> . Il n'y a pas de contrôle du débit, donc on ne peut passer d'un fort à un faible débit . Dans les puits où il y a des solides en suspension, il faut changer souvent les engrenages . Des variations de pression sont possibles

Tableau 12 - Avantages et inconvénients des pompes submersibles à engrenages

4.4.3.2. Pompes à rotor hélicoïdal

Ces petites pompes électriques comportent un moteur électrique scellé, qui entraîne un rotor hélicoïdal. L'eau entre par une crépine située au milieu de la pompe et est poussée vers le haut grâce à un rotor-stator, par la force centrifuge.

La pompe a un diamètre extérieur de 4,38 cm et une longueur de 82,5 cm, et peut remonter l'eau sur 41 m avec un débit maximal de $6,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$ (Fig. 14). Le corps de la pompe est en acier inox, l'intérieur en téflon ou viton.

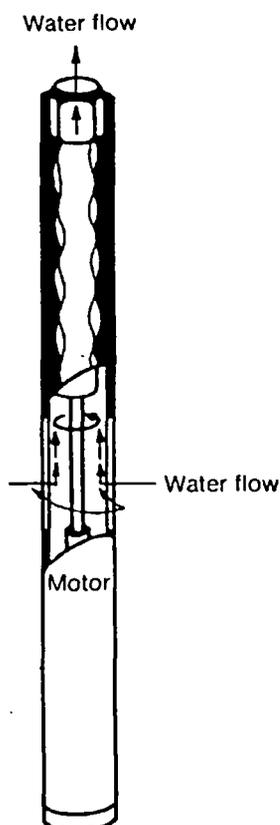


Figure 14 - Pompe électrique à rotor hélicoïdal (Nielsen et Yeates, 1985)

Les caractéristiques sont résumées dans le tableau 13.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . C'est une pompe portable . Les débits importants sont possibles, donc elle peut être utilisée pour vider les puits . La pompe est en matériau inerte 	<ul style="list-style-type: none"> . En général, cette pompe ne peut être utilisée à plus de 41 m . A débit élevé, elle produit une turbulence . La pompe est difficile à démonter, donc ne peut être nettoyée et réparée sur le terrain . C'est une pompe chère par rapport aux autres pompes . La pompe doit être arrêtée toutes les 20 mn pour éviter la surchauffe . Le débit n'est pas contrôlable, donc ne convient pas pour certains paramètres sensibles

Tableau 13 - Avantages et inconvénients des pompes à rotor hélicoïdal

4.4.4. Pompes à piston

A ces pompes électriques immergées, s'ajoute une pompe à piston actionnée par le gaz. Cette pompe immergée est formée de deux cylindres d'eau, reliés par une chambre à gaz intermédiaire et un élément commutateur à travers lequel passe une tringle commune reliée au piston dans chacun des cylindres (Fig. 15).

Grâce à la construction d'un système de rondelle, soupapes de purge et d'un robinet à aiguille dans l'élément commutateur, le gaz entre et sort de la chambre intermédiaire lorsqu'il pousse alternativement le double piston vers le haut ou vers le bas.

Le débit de la pompe peut varier dans une gamme limitée en augmentant ou diminuant la pression.

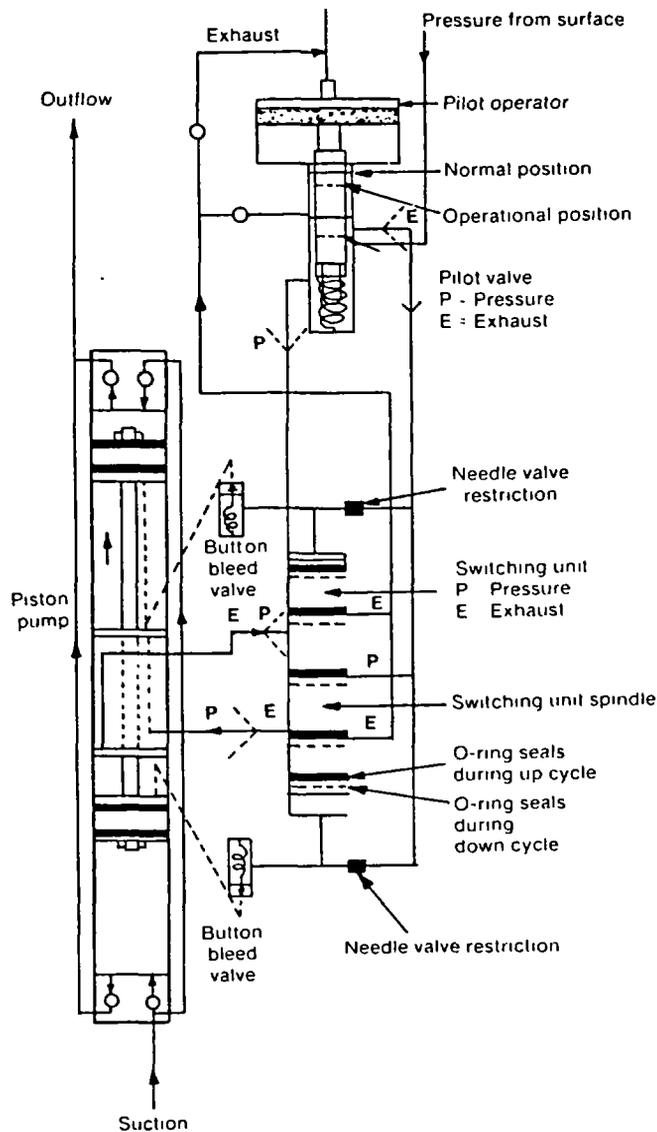


Figure 15 - Pompe à piston (Scalf et al., 1981)

Les avantages et inconvénients de ce type de pompe sont résumés dans le tableau 14.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . L'échantillon est isolé du gaz moteur, donc pas d'aération de l'échantillon . Cette pompe est relativement facile à manipuler et à démonter pour nettoyage . La pompe fournit un échantillon en continu sur des périodes longues . Ces pompes sont disponibles pour des puits de 3,75 cm, 5 cm et plus de diamètre . On peut prélever jusqu'à plus de 165 m . Le débit peut être facilement contrôlé . La pompe est en matériau inerte . Elle permet de collecter des volumes importants en peu de temps 	<ul style="list-style-type: none"> . Ces pompes sont chères par rapport aux autres . Les matières en suspension peuvent endommager les valves . Il peut y avoir des chutes de pression et un dégazage . Ces pompe nécessitent un véhicule porteur . Les tubes doivent être nettoyés soigneusement pour éviter la pollution

Tableau 14 - Avantages et inconvénients des pompes à piston

4.5. POMPES A INERTIE

D'un concept différent des trois précédents types de mécanismes, cette pompe a été introduite sur le marché plus récemment.

Cette pompe est référencée comme pompe à inertie, et consiste en deux éléments : un clapet de fond, connecté à un tube ou tuyau (Fig. 16).

En déplaçant rapidement ce tube de haut en bas dans le puits, on utilise l'inertie de l'eau pour conduire l'eau vers le clapet de fond et vers la surface.

La pompe est actionnée en un mouvement continu de haut en bas.

Les clapets qui ont été utilisés dans les puits de contrôle sont présentés en figure 17 ; leurs caractéristiques sont données dans le tableau 15.

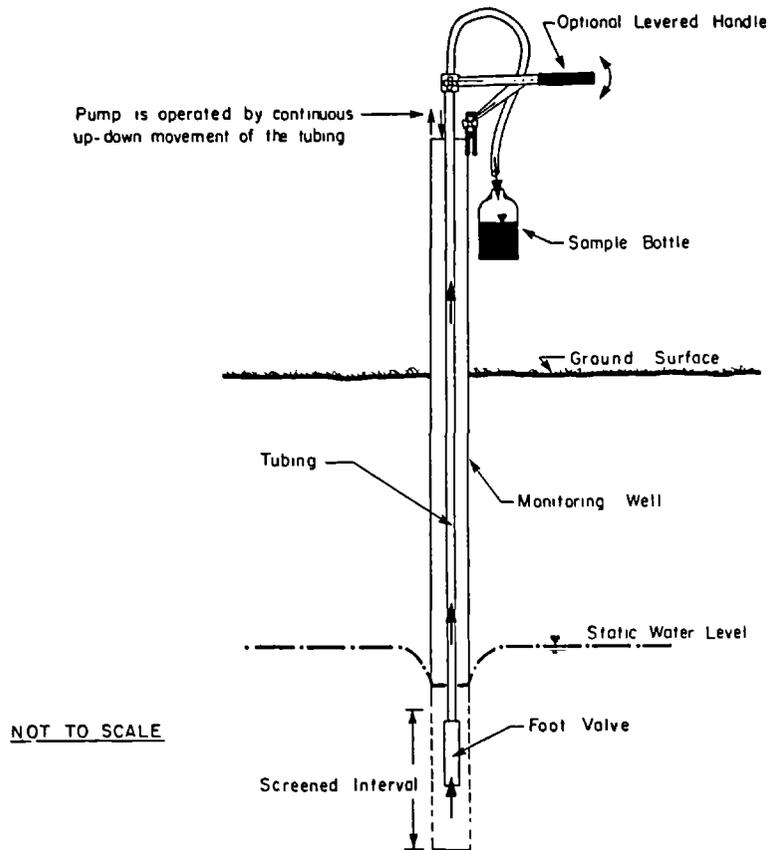


Figure 16 - Installation d'une pompe manuelle à inertie (Rannie et Nadon, 1988)

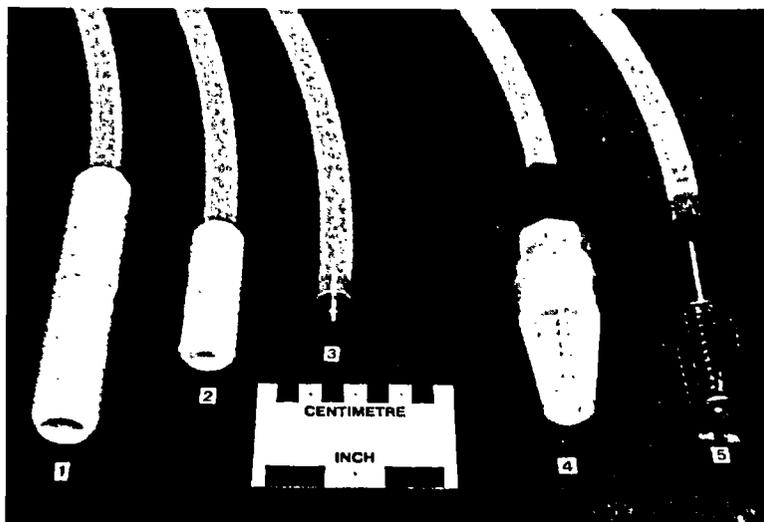


Figure 17 - Clapets pour pompe à inertie (décrits dans le tableau 15)

N°	Fabricant	Modèle	Matériau	Longueur (mm)	Ø ext. (mm)	Ø min. du puits (mm)
1	WaTerra	D-28	Debrin (1)	150	28	32
2	WaTerra	D-25	Debrin (1)	76	25	32
3	WaTerra	SS-16	Acier inox	13	16	19
4	GSW	377742	ABS	107	36	50
5	Shultz	-	Cuivre	90	30	38

(1) résine thermoplastique

Tableau 15 - Clapets de fond, sélectionnés pour utilisation dans les pompes à inertie

Les avantages et inconvénients de la pompe à inertie sont résumés dans le tableau 16 (d'après Rannie et Nadon, 1988).

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Appareil simple, facile à utiliser . Très bon marché . Peut être utilisé dans des puits de 19 mm de diamètre intérieur . Convient pour échantillonner les polluants organiques . Les débits peuvent être contrôlés entre 0 et 8 l/mn . Opère dans contexte sableux/limoneux . Peut être utilisé pour développer, purger, échantillonner et tester les puits . Peut être utilisé à la main jusqu'à 40 m, et avec un moteur jusqu'à 60 m . L'appareil est portable 	<ul style="list-style-type: none"> . Difficile à manipuler dans les puits profonds de grand diamètre ; nécessite un moteur . Le pompage manuel est fastidieux . Le moteur accessoire est lourd et pas très portable . Les valves en plastique s'usent, surtout dans les tubages métalliques . Les tubes et valves sont à nettoyer entre chaque puits, ou à changer

Tableau 16 - Avantages et inconvénients de la pompe à inertie

4.6. MATÉRIEL DE PRÉLÈVEMENT POUR POLLUANTS ORGANIQUES

Il faut insister sur le fait que le prélèvement d'échantillons d'eau destinés à l'analyse de composés organiques volatils demande des précautions particulières.

Pettyjohn et al. (1981) décrivent le matériel qui était utilisé à l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis.

La première précaution qui s'impose est le choix des matériaux des pompes et des tubages. Le plastique sera évité, parce qu'il fixe les substances contenues dans l'eau, ainsi que les métaux qui adsorbent ou peuvent entraîner des réactions avec certains composés organiques : c'est le cas par exemple pour le DDT qui est fortement adsorbé, même par l'acier inoxydable.

Les matériaux les plus recommandés sont le verre, qui est malheureusement très fragile, et le téflon, qui est coûteux. Par ordre de préférence, on choisira verre, téflon, acier inox, polypropylène, polyéthylène, métaux, caoutchouc.

Le recueil des échantillons est effectué à l'aide d'une pompe péristaltique qui permet de prélever jusqu'à 9 m (Fig. 18), le tubage tygon n'étant pas au contact de l'échantillon.

Lorsque la sensibilité analytique ou l'homogénéité de l'échantillon obtenu par cette dernière technique ne conviennent pas, l'EPA utilise un système spécial qui fait appel à des adsorbants pour concentrer et retenir les polluants organiques à partir de volumes d'eau importants.

L'eau est pompée et passe par deux colonnes en série. Pour prélever jusqu'à 6 m, on utilise une pompe péristaltique, et pour pomper à des profondeurs supérieures, on utilise une pompe submersible en verre et téflon (Fig. 19).

Dans les colonnes, on utilise soit des résines macro-réticulaires, soit du charbon actif. Sur le terrain, les colonnes sont placées sous un abri. Les têtes de forage sont couvertes et ne laissent passer que les tubes en téflon.

Le pompage en continu se fait au débit de 10 à 30 l/mn. Le volume est mesuré à la sortie dans des récipients étalonnés. Les colonnes sont scellées pleines d'eau et envoyées au laboratoire pour dosage des polluants organiques retenus sur l'adsorbant. On a pris le soin de préparer au préalable des échantillons non pollués avec la même méthodologie.

Pour prélever l'eau à des profondeurs supérieures à 9 m, l'EPA a mis au point un système continu de deux pompes immergées dont l'agencement est donné dans les figures 20 et 21.

Citons enfin la technique mise au point par Pankow et al. (1984) pour prélever les eaux contenant des éléments organiques en traces. Cet appareil, qui est descendu dans les piézomètres à l'aide d'un tube, consiste en une cartouche de matériau adsorbant attachée au bout d'une seringue (Fig. 22).

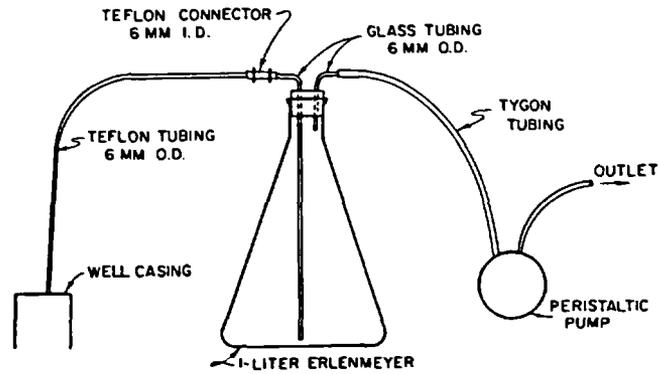


Figure 18 - Prélèvement de composés organiques (Pettyjohn et al., 1981)

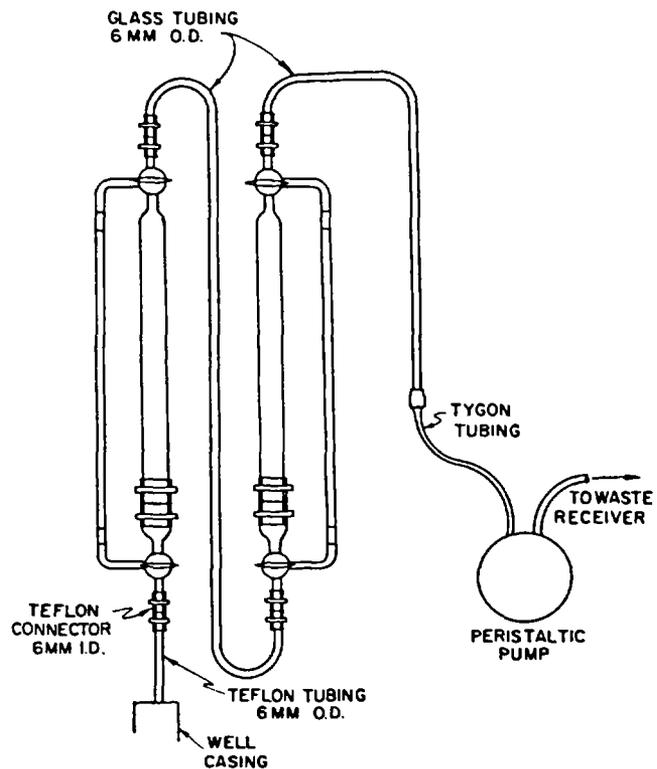


Figure 19 - Colonnes adsorbantes pour échantillonnage en continu (d'après Pettyjohn et al., 1981)

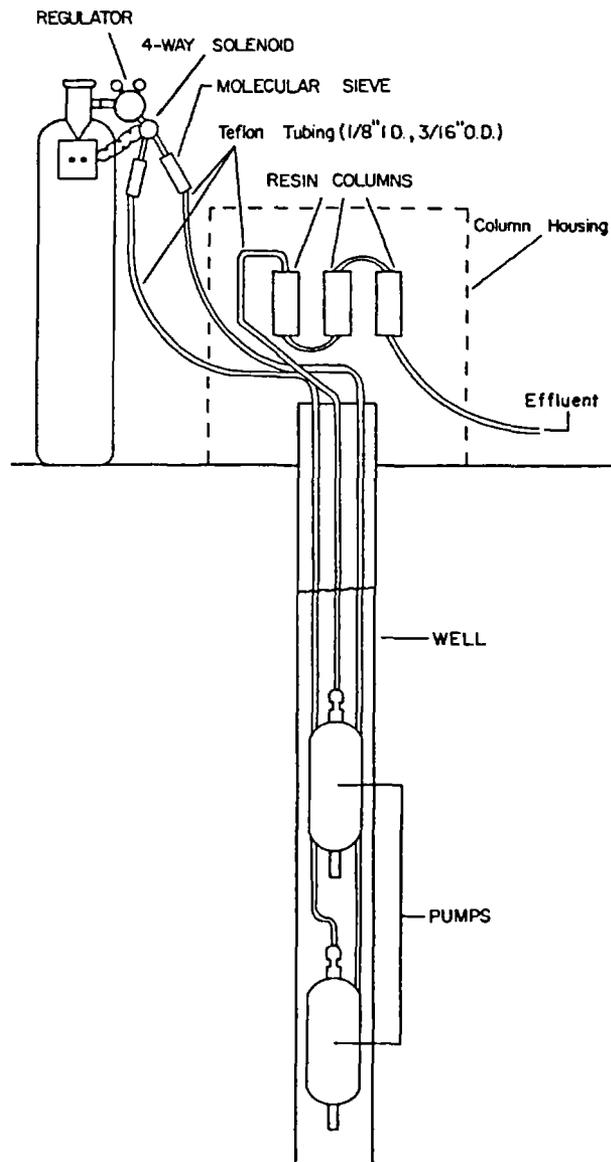


Figure 20 - Pompe aspirante pour débit continu (Pettyjohn et al., 1981)

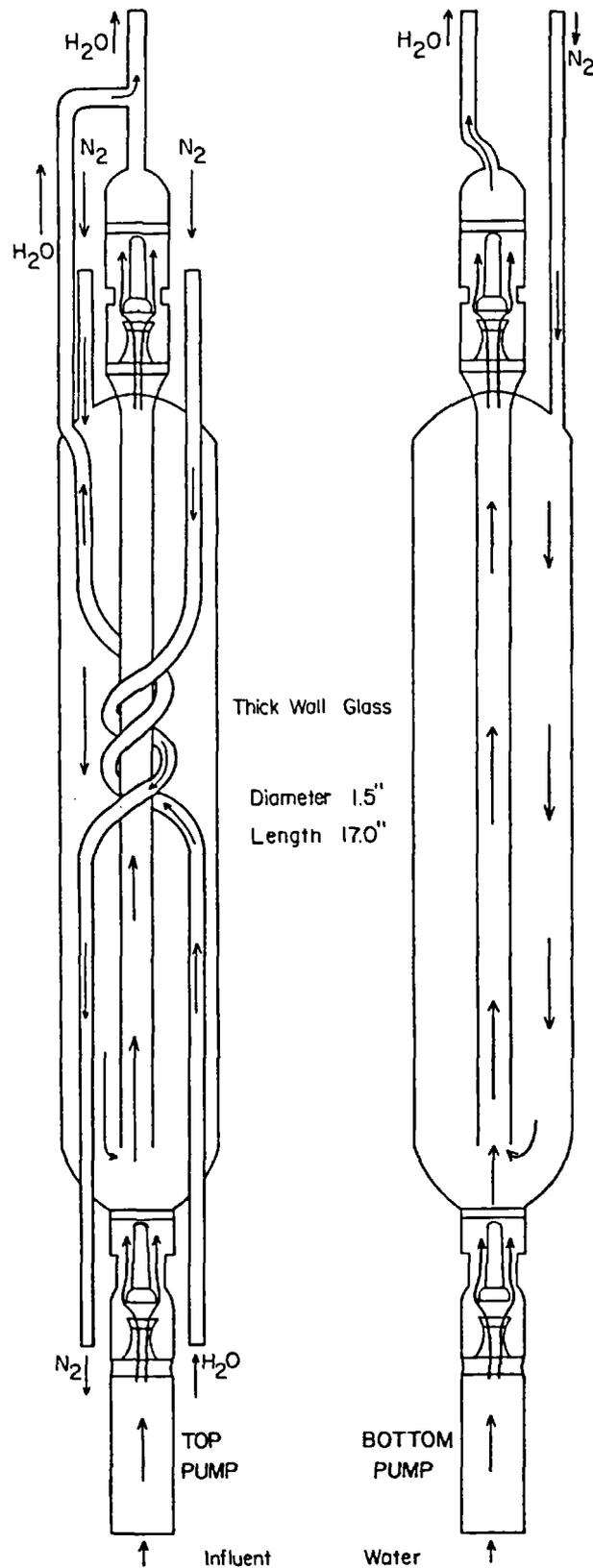


Figure 21 - Détail des deux pompes pour aspiration à débit continu (d'après Pettyjohn et al., 1981)

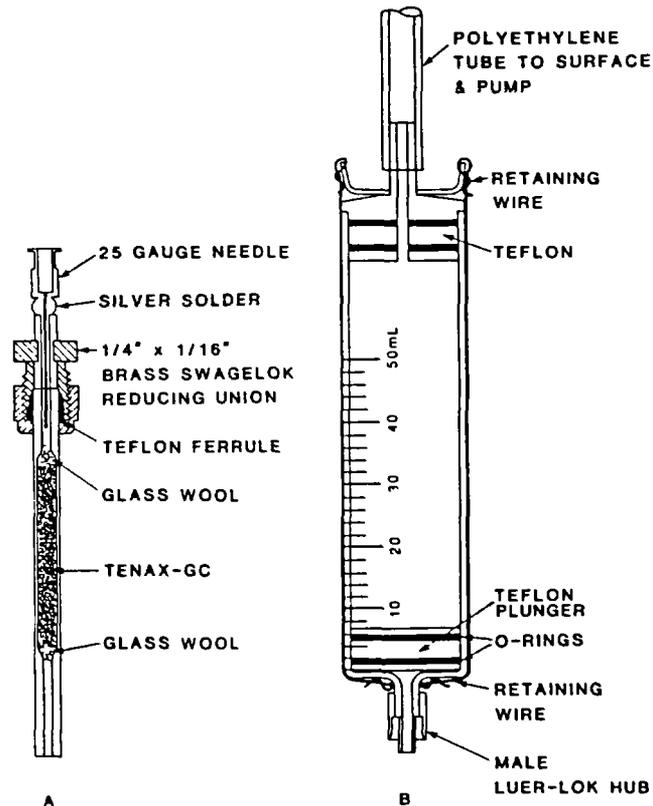


Figure 22 - Dispositif avec seringue pour prélèvement de polluants organiques (d'après Pankow et al., 1984, 1985)

Le vide ou la pression appliquée en surface contrôle le mouvement du piston dans la seringue. Le volume de la seringue détermine le volume d'eau qui traverse la cartouche d'adsorbant. La cartouche est détachée en surface et désorbée dans une colonne capillaire en SiO_2 pour analyse par chromatographie gazeuse. Le composé est identifié et comparé à un standard contenant des quantités connues du même produit. Ce dispositif minimise la faculté de volatilisation et est très sensible.

Le sorbant utilisé est une résine Tenax GC, stable thermiquement et efficace pour sorber les benzènes chlorés et les autres composés non polaires.

Rosen et al. (1992) ont également démontré que des précautions doivent être prises pour prélever les organiques volatils, et qu'il est recommandé d'amener l'échantillon en surface pour analyse par purge et piégeage.

4.7. COMPARAISON DES APPAREILLAGES

Barcelona et al. (1984) ont comparé en laboratoire les dispositifs décrits précédemment.

Les critères retenus étaient la disponibilité, la portabilité, la simplicité de mise en oeuvre, l'échantillonnage (≤ 100 ml/mn), la purge (1 à 10 l/mn), la profondeur de prélèvement, la possibilité d'échantillonner les éléments volatils et les non volatils, la facilité de nettoyage, de maintenance, les modes opératoires disponibles.

Les dispositifs présentant le plus grand nombre de qualités sont les pompes à membrane, les seringues et les bouteilles à déplacement par le gaz.

On a aussi comparé la précision et la sensibilité : on observe que les pompes à membrane sont les plus performantes dans la majorité des cas.

De nombreuses études ont été faites sur le terrain pour comparer les résultats obtenus avec différents types d'appareil de prélèvement (Schuller et al., 1981 ; Barker, Dickhout, 1988 ; Pearsall, Eckhardt, 1987 ; Schalla et al., 1988).

Des précautions particulières sont à prendre suivant le composé à analyser, organique volatil ou métaux.

Pour ce qui concerne le choix de la pompe, les avis sont partagés. Selon Schalla et al. (1988), la pompe à piston, la pompe à membrane, la pompe à déplacement par le gaz donnent des résultats comparables pour prélever des organiques volatils. Barker, Dickhout (1988), quant à eux, utilisent une pompe à inertie, une pompe à membrane et une pompe à succion pour prélever de composés organiques volatils et en concluent que la pompe péristaltique est à déconseiller. Ceci est confirmé par Pearsall, Eckhardt (1987).

Les différents systèmes sont comparés dans le tableau 17 (Nielsen, 1991), et aussi dans la matrice (tableau 18) établie par Pohmann, Hess (1988).

Appareil	Diamètre minimal du puits	Profondeur maximale d'échantillonnage	Volume ou débit échantillonnage à profondeur maximale	Contrôle débit	Matériau	Possibilités altération chimique	Nettoyage Maintenance	Prix approximatif Système complet (1985) en Francs
Bouteille à clapet	1,25 cm	illimitée	variable	pas applicable	tous	légère - modérée	facile	< 650 - 1 300
Seringues	3,75 cm	illimitée	0,76 l	pas applicable	acier 316, téflon, polyéthylène, verre	légère	facile	9 750
Pompes à succion	1,25 cm	8,58 m	très variable	bon	très variable	élevée - modérée	facile	650 - 3 575
Tube à déplacement de l'eau par un gaz	2,5 cm	99 m	45 l/h	bon	téflon, PVC, polyéthylène	modérée - élevée	facile	1 950 - 4 550
Pompes à membrane	3,75 cm	132 m	110 l/h	bon	acier 316, téflon- viton, PVC, silicone	minima - légère	facile	9 750 - 26 000
Pompe immergée à engrenages	5 cm	66 m	110 l/h	mauvais	acier 304, téflon- viton	minima - légère	facile	7 800 - 13 000
Pompe immergée à rotor hélicoïdal	5 cm	41,25 m	70 l/h	mauvais	acier 304, téflon	légère - modérée	difficile	22 750
Pompe immergée à piston	3,75 cm	165 m	56 l/h	bon	acier 304, téflon	légère - modérée	facile à difficile	22 100 - 24 700

Tableau 17 - Comparaison des différents systèmes de prélèvement d'eau dans une nappe (Nielsen et Yeates, 1985 ; Nielsen, 1991)

	Appareil	Profond. maximale approx.	Diamètre minimal du puits	Débits ou volumes échantillonnés	Paramètres de l'eau souterraine															
					Inorganiques						Organiques				Radioactifs		Biologique			
					EC	pH	Redox	Ions majeurs	Métaux traces	Fluorures nitrate	Gaz dissous	Non volatils	Volatils	COT	XOT	Radium	Alpha & Beta	Bactéries coliformes		
Appareils portables	Grappin	Bouteille à clapet ouverte	sans limite	1,25 cm	variable	•			•	•	•		•				•		•	
		Bouteille à 2 clapets	sans limite	1,25 cm	variable	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•		•
		Seringue	sans limite	3,75 cm	38 cm ³ - 0,75 l	•	•	•	•	•	•		•					•	•	•
	Déplacement (immergé)	Pompe à engrenages	6 m	5 cm	0-1,9 l/mn									•						
		Pompe à membrane	120 m	3,75 cm	0-7,5 l/mn	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
		Pompe à rotor hélicoïdal	48 m	5 cm	0-4,5 l/mn	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
		Pompe à piston	150 m	3,75 cm	0-1,9 l/mn	•			•	•	•		•					•	•	
		Pompe centrifuge	variable	7,5 cm	variable	•			•		•							•	•	
	Succion	Pompe péristaltique	7,8 m	1,25 cm	0,03-1,1 l/mn	•			•		•		•					•		•
Gaz	Remontée par gaz	variable	2,5 cm	variable																
	Déplacement par gaz	45 m	2,5 cm	0,7 l/mn	•			•		•		•					•			
Appareils en place en permanence	Pneumatique	sans limite	non applicable	0,03-0,49 l/mn	•	•	•	•	•	•		•					•	•	•	

Les points • indiquent que l'appareil convient pour application

Les carrés vides indiquent que l'appareil ne convient pas, ou qu'il n'a pas été testé pour cette application

Tableau 18 - Matrice de l'aptitude de différents appareils de prélèvement à la mesure de différents paramètres de l'eau souterraine (Pohlmann, Hess, 1988)

5. APPAREILS POUR PRÉLÈVEMENTS RAPIDES SANS PUIITS

Dans le cas d'une pollution accidentelle, on est souvent appelé à identifier et caractériser rapidement une pollution dans la nappe sous-jacente et dans la zone non saturée, comprise entre la nappe et le lieu de déversement accidentel.

Les puits de contrôle sont utilisés pour déterminer si la nappe est polluée en un endroit précis, pour quantifier la concentration en polluants, et pour définir l'extension de la pollution. Le coût et le temps nécessaires pour réaliser ces puits ont augmenté en même temps que leur complication. En plus du coût de forage, de développement et de prélèvement, le temps nécessaire par toutes ces opérations peut être long. Par ailleurs, un forage, de par ses dimensions, peut provoquer une perturbation notable des conditions physico-chimiques du milieu.

En raison de ces inconvénients, certains auteurs ont mis au point des outils permettant de collecter rapidement des échantillons d'eau souterraine, sans recourir au puits classique. Ces outils, moins onéreux, permettent de multiplier le nombre de prélèvements, et surtout d'intervenir rapidement en cas de pollution accidentelle.

On présente brièvement dans ce qui suit les plus connus (Lallemand-Barrès, Bonin, 1991).

5.1. HYDROPUNCH

Cet appareil est construit en acier inoxydable et téflon. Il est facilement nettoyé ou décontaminé et peut collecter un échantillon de 500 ml. Le diamètre extérieur est de 4,3 cm dans le modèle Qued, 5 cm chez Geostore. L'Hydropunch comporte un cône guide en acier inoxydable, un tube perforé en acier inoxydable qui constitue le préleveur. Ce tube préleveur est lui-même relié à une chambre en acier inoxydable destinée à stocker l'échantillon, et à un adaptateur pour fixer toute cette unité de prélèvement soit à des tubages de pénétromètre, soit à des tubes à prélever des échantillons de sol (Fig. 23).

L'Hydropunch a été conçu de sorte qu'il puisse être introduit dans le sol soit avec le matériel du pénétromètre, soit avec l'équipement conventionnel du forage (Edge et Cordry, 1989).

Lorsque l'Hydropunch est enfoncé dans le sol, le tube préleveur est maintenu dans la chambre étanche, ce qui évite l'entrée de sol ou d'eau polluée dans le système. Quand la profondeur de prélèvement est atteinte, dans la nappe, la chambre est remontée d'environ 45 cm, tandis que le cône fixé au tube préleveur reste en place. Le tube préleveur est exposé à l'eau souterraine, qui entre dans le tube puis dans la chambre (Fig. 24). La chambre et le cône, pendant l'entrée de l'eau, sont poussés contre les parois du forage, isolant ainsi la zone échantillonnée.

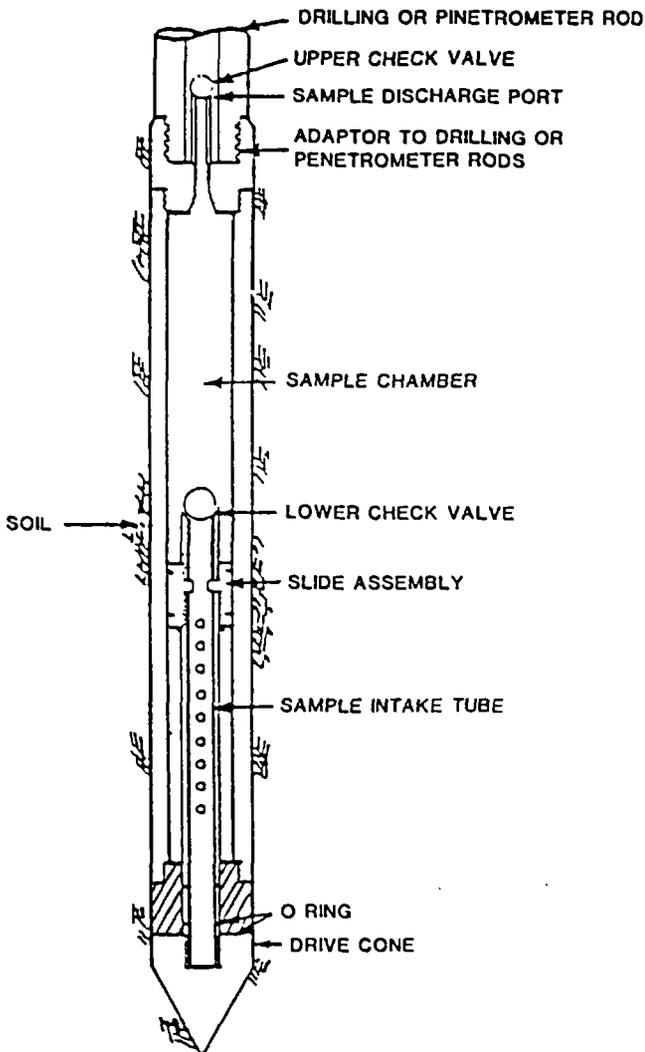


Figure 23 - Schéma de l'Hydropunch

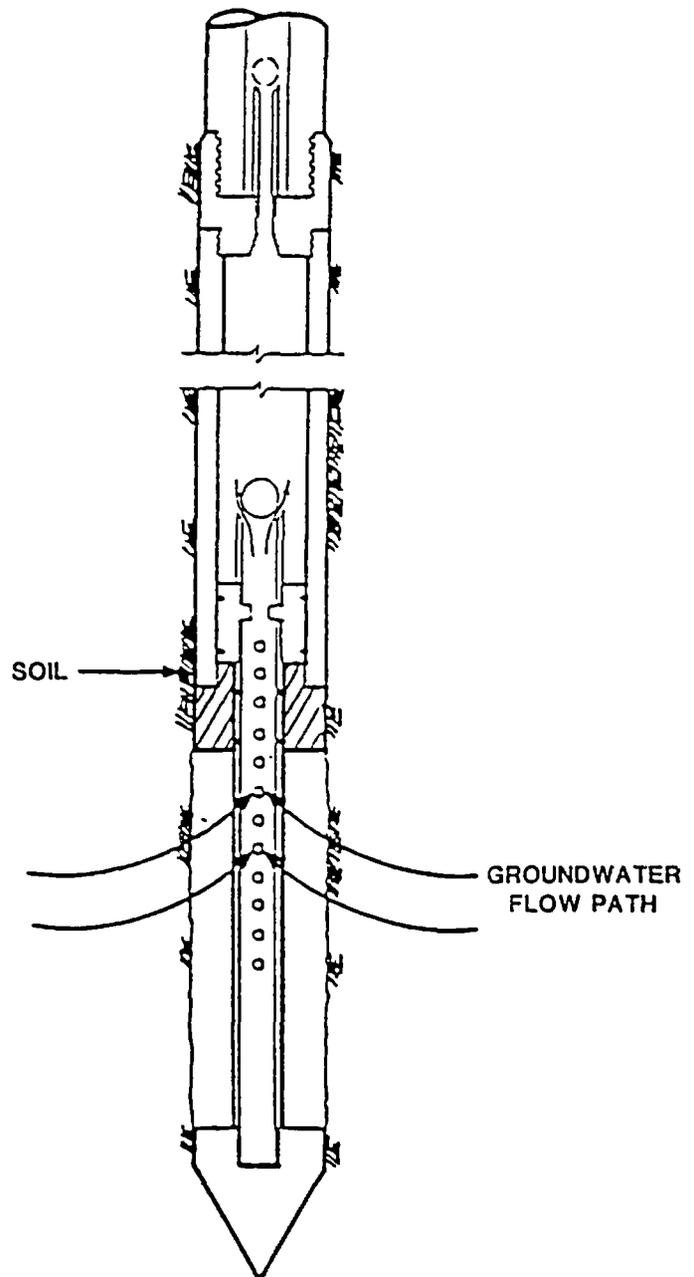


Figure 24 - Appareil en état de prélèvement d'eau

L'échantillon est prélevé sous pression hydrostatique sans aération et avec une agitation minimale. Une fois la chambre pleine, le préleveur est relevé, ce qui augmente la pression hydrostatique et ferme les deux valves.

En surface, l'Hydropunch est déconnecté des tubes raccords, et la valve supérieure est enlevée, ainsi que le cône guide. L'échantillon est recueilli en insérant un tube téflon à la base de l'unité.

Une version récente de cet appareil permet de prélever les hydrocarbures flottants sur une nappe (Fig. 25).

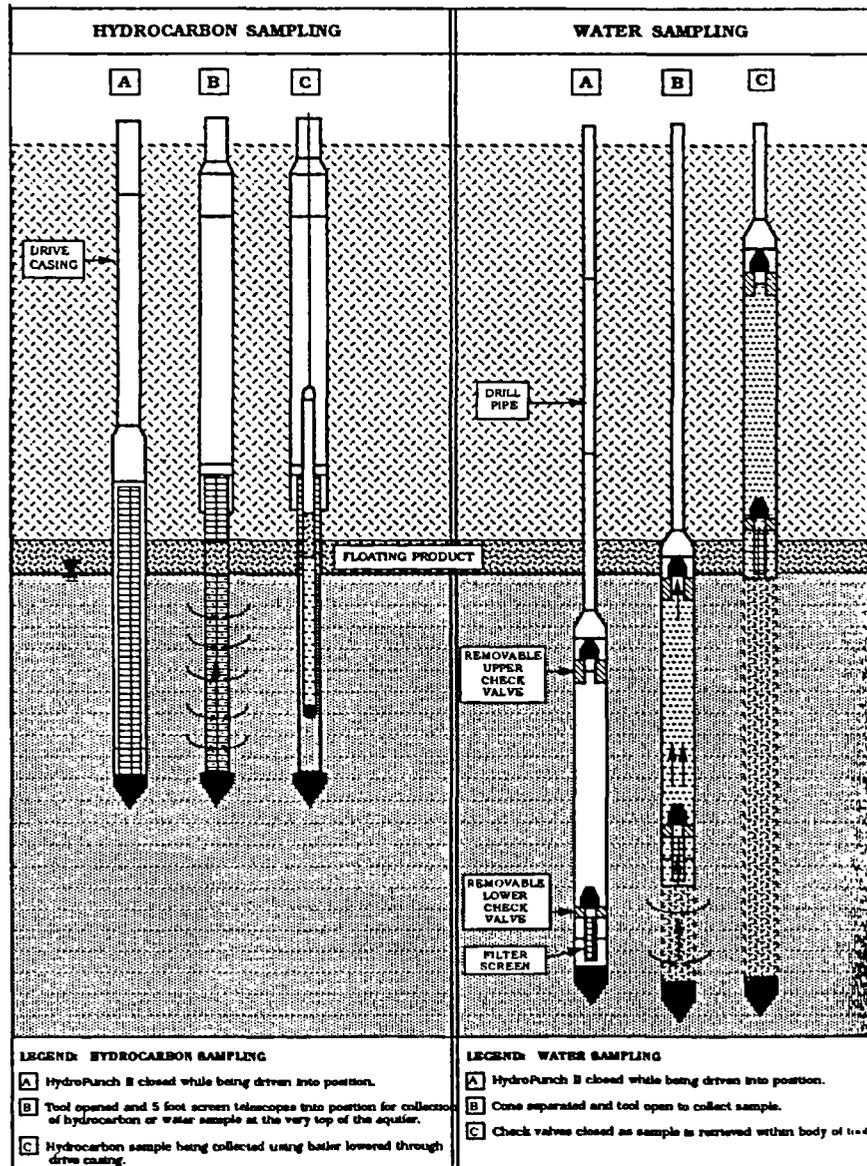


Figure 25 - Utilisation d'Hydropunch pour prélèvement d'hydrocarbures ou d'eau (Cordry, 1991)

5.2. SYSTÈME BAT (BENGT-ARNE-TORSTENSSON) (Torstensson, 1984)

Le dispositif à prélever est formé d'un embout filtrant composé d'un filtre en plastique poreux (polypropylène) ou céramique, et d'un corps thermoplastique (Fig. 26). L'embout est scellé par un disque élastique en caoutchouc, monté dans une canule et fonctionnant comme un joint et comme une valve automatique. Cet embout est fixé sur un tube de 2,5 cm de diamètre en acier inoxydable ou en PVC.

L'ensemble embout-tube peut être installé dans le sol et y rester. Le principe de base de ce système est qu'avec un jeu d'adaptateurs, on peut prélever de l'eau sur des centaines d'embouts filtrants placés dans le sol ou dans la nappe.

L'adaptateur utilisé pour le prélèvement d'eau comprend une ampoule de verre hermétiquement scellée par un disque en caoutchouc et pré-stérilisée. Cette ampoule de verre est montée dans un adaptateur équipé d'une aiguille hypodermique à double sortie.

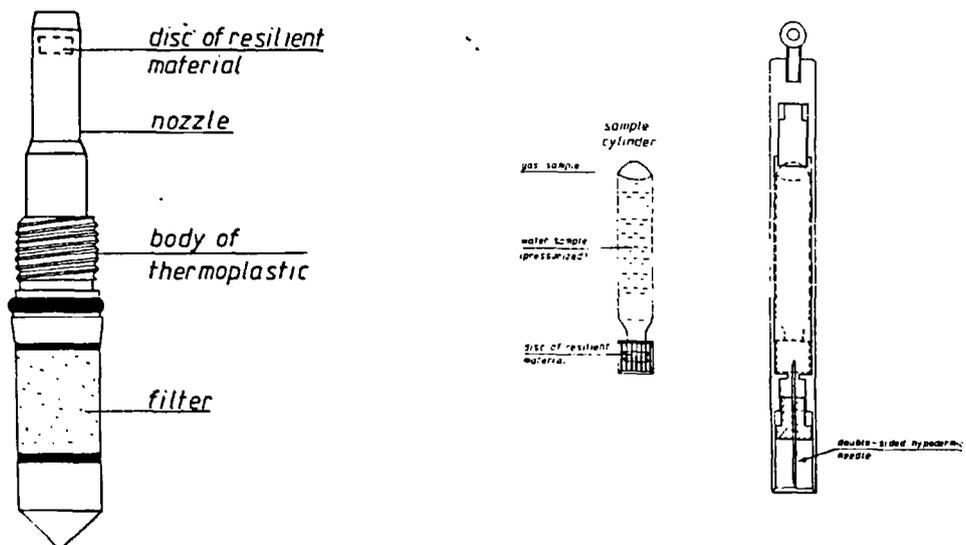


Figure 26 - Eléments du système BAT

L'adaptateur pour prélèvement d'eau souterraine, comme les autres adaptateurs, forme une connexion temporaire étanche avec l'embout filtrant, par l'intermédiaire d'une aiguille hypodermique à double sortie.

Lorsque l'adaptateur est descendu dans le tube, l'aiguille hypodermique pénètre dans le disque en caoutchouc de la canule et dans le disque en caoutchouc de l'ampoule. Ceci entraîne une connexion entre l'ampoule et l'intérieur de l'embout filtrant. Par suite de la dépression existant dans l'ampoule, l'eau souterraine est aspirée par la pointe filtrante. Pour favoriser la pénétration de l'aiguille dans les disques en caoutchouc, l'adaptateur est lesté. Lorsque l'adaptateur est séparé de l'embout, il se ferme automatiquement, c'est-à-dire que la pression dans l'ampoule contenant l'échantillon est maintenue pendant le transfert de l'échantillon d'eau ou de gaz au laboratoire. L'aptitude à échantillonner de l'eau pressurisée est importante pour l'analyse des gaz dissous dans l'eau (Fig. 27).

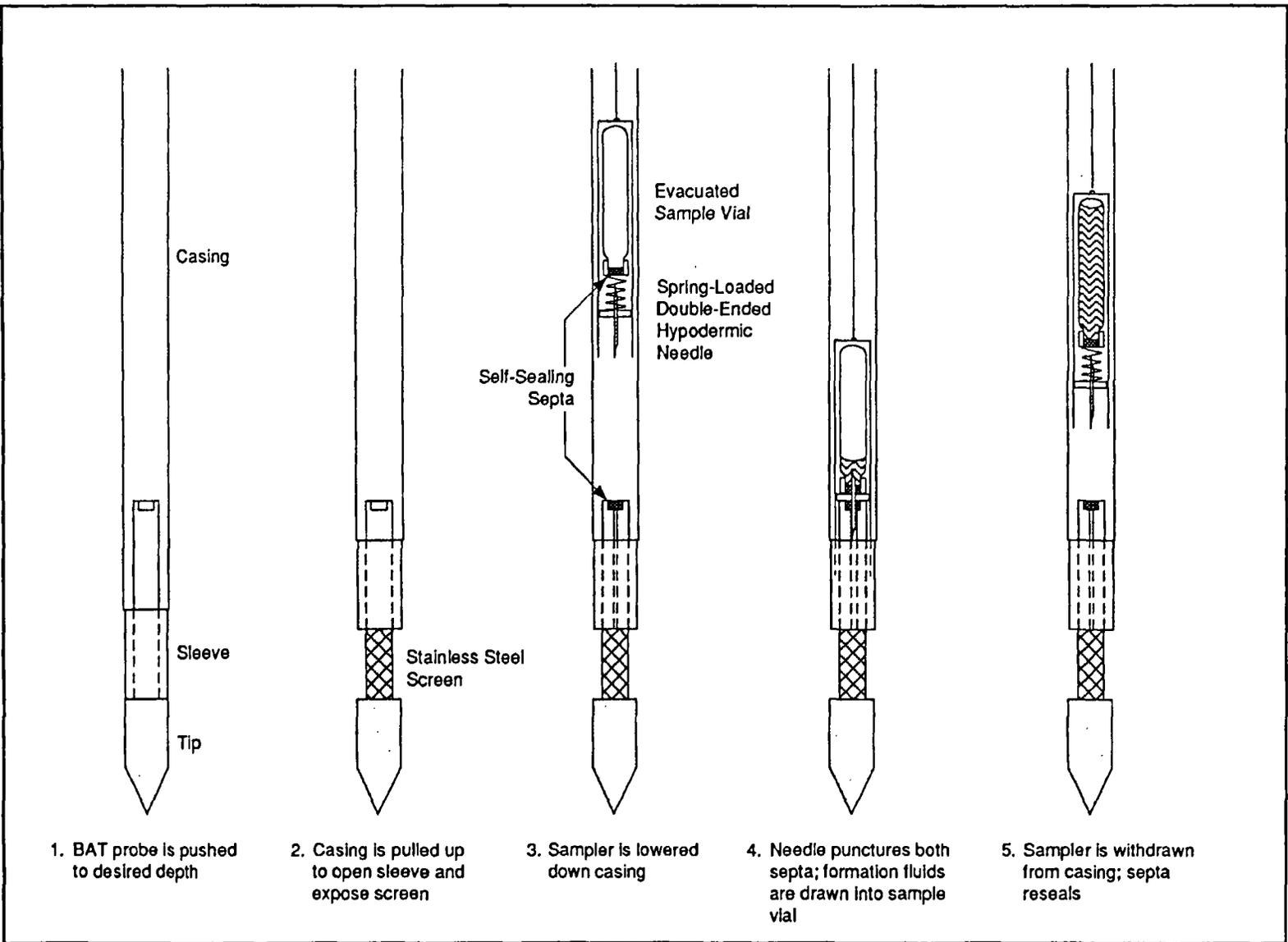


Figure 27 - Fonctionnement du BAT (d'après Berzins, 1992)

Les ampoules de verre peuvent être utilisées sous une pression maximale de 200 m d'eau. Pour des hautes pressions, on utilise des ampoules en acier. Cet équipement standard est construit pour des tubages de 2,5 cm de diamètre, les ampoules contenant 35 ml.

Avec des tubages de diamètre plus grand, par exemple 5 cm, on peut recueillir des échantillons de 200 à 500 ml.

A noter que les échantillons obtenus par cette technique sont propres, ne subissent aucun contact avec l'air ou avec l'extérieur, et la qualité ne dépend pas du savoir-faire du technicien.

Les solvants organiques volatils peuvent être prélevés par cette méthode.

L'appareil est opérationnel, quelles que soient la nature du terrain et la profondeur. Il a été utilisé jusqu'à 60 m de profondeur. Il permet d'opérer en milieu non saturé et dans une nappe.

L'appareil peut être mis en place par enfoncement dans le sol, mais les applications sur le terrain indiquent que, dans certains cas, un trou est préalablement foré.

La version courante de l'appareil a deux limites :

- ① Le taux de remplissage de l'ampoule est limité par la perméabilité de la pointe filtrante et du matériau de la formation, et par le diamètre de l'aiguille hypodermique à deux bouts.
- ② La longueur de la zone filtrante limite l'intervalle échantillonné. Il est difficile de prélever plus de 2 à 3 litres d'eau dans les formations peu perméables, vu le temps nécessaire au prélèvement. Des modifications de conception de l'embout poreux permettraient l'adaptation à des conditions variées de site.

5.3. SYSTÈME BOTESAM

Il s'agit d'un principe et non d'un appareil : Boring-testing-sampling, appelé parfois DRITESAM (drilling-testing-sampling).

Cette méthode permet d'obtenir des informations sur la pollution en directions verticale et horizontale.

Un tube en acier de 5 cm de diamètre relié à un cône conducteur, crépiné sur 0,5 à 1 m et muni d'une valve au-dessus de la crépine, est enfoncé dans le sol avec un marteau compresseur.

Aux profondeurs voulues, sous la surface de la nappe, il est possible de prélever des échantillons d'eau, en introduisant de l'air ou de l'azote comprimé dans le volume annulaire compris entre le tubage et un tube échantillonneur placé jusqu'au sommet de la crépine (Fig. 28).

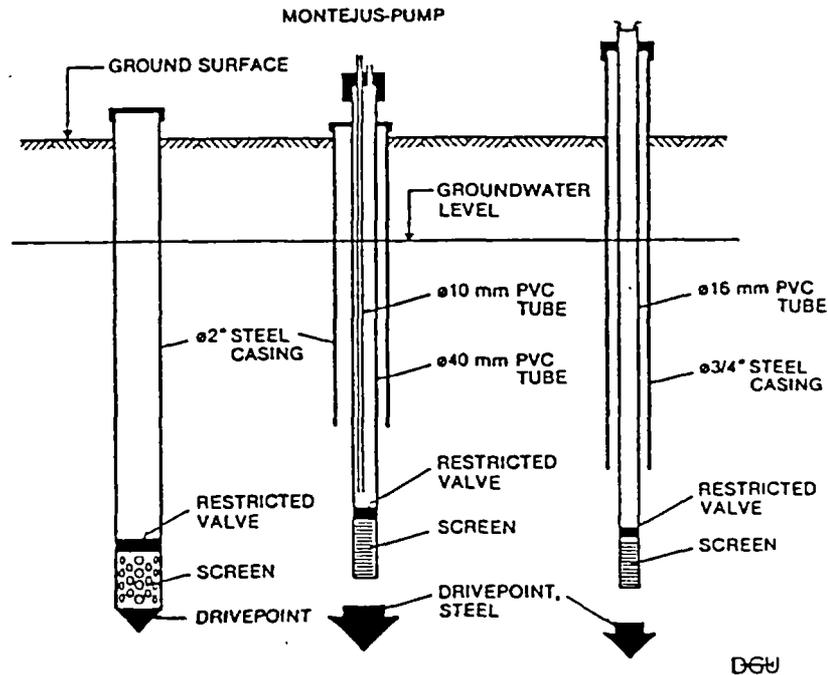


Figure 28 - Mise en place du BOTESAM

Outre le prélèvement d'échantillons, ce dispositif permet d'obtenir des données hydrauliques. En mesurant le rabattement et la remontée du niveau d'eau dans le puits après introduction d'une variation de pression dans le puits, la perméabilité dans l'intervalle crépiné peut être déterminée (slug test).

Cette méthode a l'avantage de donner des informations sur les conditions chimiques et hydrauliques très rapidement, et est peu onéreuse.

L'inconvénient est que la profondeur de pénétration est limitée à 40 m sous la surface du sol, et que la méthode ne peut être utilisée que dans les sables et graviers.

La méthode a été utilisée avec des crépines laissées en place de façon permanente à différentes profondeurs ou localisations, ce qui permet de délimiter un nuage de pollution.

Ce dispositif n'est pas commercialisé. Il peut être réalisé à partir des différents éléments nécessaires. La méthode a été mise au point au Danemark et utilisée au Danemark et en Allemagne.

5.4. SYSTÈME A POINTES FILTRANTES (Kerfoot, 1984)

L'appareil est formé par le raccordement de tubes en acier inoxydable de 16,5 mm de diamètre extérieur et 9,3 mm de diamètre intérieur, le tube inférieur comportant une pointe filtrante à fentes verticales.

La pointe filtrante peut comporter trois tailles de fentes : 1,5 mm, 0,75 mm et 0,37 mm, pour être utilisée respectivement dans les graviers, les sables moyens et les sables fins.

La pointe filtrante de longueur 20 cm, de diamètre intérieur 15,6 mm, contient environ 38 cm³. L'ensemble pointe et tube contient 0,28 à 0,46 litres.

Le rapport entre la section des tubes et la force de frappe du marteau permet l'enfoncement du système jusqu'à 3,60 m sous la surface du sol.

Dans les sols à graviers fins ou à sables silteux, on utilise un flacon de 1 litre servant de piège, et une pompe à main capable de fournir un vide de 50 cm de Hg, pour recueillir l'eau souterraine. En général, on retire 2 litres d'eau constituant la purge. Puis on insère à la partie supérieure du tubage un tube en téflon ou en silicone qui est raccordé au flacon-piège et à la pompe à vide, et qui collecte les échantillons.

Cet appareil est intéressant pour localiser et mettre rapidement en évidence une pollution d'une nappe peu profonde, type nappe alluviale.

Dans les terrains silteux ou argileux, la pointe métallique est remplacée par une crépine en matériau poreux. Les pointes peuvent être utilisées en milieu saturé aussi bien qu'en milieu non saturé.

Le tableau 19 résume les principales caractéristiques de ces dispositifs.

Nom	Société qui commercialise	Milieu d'utilisation	Profondeur d'utilisation	Diamètre	Volume maxi prélevé	Prél. success. sur même profil vertical	Récupération de l'échantillon	Conditions d'utilisation	Coût	Mise en place	Remarques
Hydropunch	Qued Env. Systems Geostore	Sols meubles en saturé Sols de bonne perméabilité	40 m	43 mm	500 ml	non	Pression hydrostatique	Mise en évidence et mesure pollution		Enfoncement avec pénétromètre ou mat. sondage	Très intéressant Simple
Well point sampler (pointe)	KV Ass. Inc.	Terrains meubles saturé ou non saturé	6 m	16,5 mm	460 ml	oui	Pompe à main	Mise en évidence et mesure d'une pollution	≈ 1600 \$	Enfoncement à main + marteau	Très intéress. mais profondeur limitée; simple
BAT	BAT Envitech Inc.	Tous terrains meubles de préférence saturé et non saturé	jusqu'à 60 m	25 50 mm	35 ml 200 à 500	non	Dépression	Suivi d'une évolution de pollution		Trou préalable à tarière	Intéressant plus sophistiqué
BOTESAM	non commercialisé	Sables - graviers	40 m	50 mm	non limité	oui	Air comprimé	Localisation pollution		Marteau air comprimé	Très simple bon marché

Tableau 19 - Caractéristiques des appareils à prélèvement rapide

6. PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Un protocole d'échantillonnage bien conçu comporte une description écrite des procédures de prélèvement et d'analyses utilisées pour obtenir des données représentatives.

Les principales étapes du protocole d'échantillonnage sont recensées dans le tableau 20 (Barcelona et al., 1985).

Il est important de noter les opérations réalisées sur le terrain, et aussi certaines informations, telles que noms des personnes ayant échantillonné, conditions météorologiques, et d'autres observations éventuelles (Fig. 29).

Par ailleurs, trois éléments fondamentaux doivent être enregistrés :

- . le niveau de l'eau avant l'échantillonnage,
- . le volume et le débit de purge,
- . la collecte de l'échantillon, comprenant la mesure des paramètres de purge, la conservation des échantillons, manipulation et bordereau de suivi.

Nom du site :						Date :			
N° du puits :		Profondeur du puits :		Diamètre du puits :		Matériau tubage :			
Equipe d'opérateurs :									
Type de pompe :					Tubes :				
Conditions météo :									
Heure	Niveau d'eau	Volume retiré (purge)	Volume pompé	Débit pompage	Echant. Début/Fin	T°	Eh	pH	Conductivité
Echantillon délivré à					Par				

Figure 29 - Exemple de fiche pour informations sur la purge et le prélèvement

ÉTAPE	OBJECTIF	RECOMMANDATIONS
Mesures hydrogéologiques	Déterminer niveau statique de l'eau	Mesurer le niveau de l'eau à $\pm 0,3$ cm
Purge du puits	Elimination ou isolation de l'eau stagnante qui, sinon, perturbe la représentativité de l'échantillon	Pomper l'eau jusqu'à ce que les paramètres pH, T°, conductivité, Eh soient stabilisés, jusqu'à ± 10 % de deux volumes de puits pompés
Collecte des échantillons	Collecte avec perturbation minimale de la chimie	Débits de pompage limités à 100 ml/mn pour organiques volatils et paramètres sensibles aux gaz
Filtration - Conservation	La filtration permet de déterminer les constituants solubles et est une forme de conservation. Elle doit être faite sur le terrain aussitôt que possible après la collecte	Filtrer pour : métaux traces, anions inorganiques et cations, alcalinité. Ne pas filtrer pour : COT, HOT, composés organiques volatils, pour autres organiques seulement si nécessaire
Déterminations sur le terrain	Analyses sur le terrain pour certains paramètres : gaz, alcalinité, pH	Les échantillons pour détermination des gaz, alcalinité, pH, doivent être analysés sur le terrain
Blancs terrain/standards	Ces blancs et standards permettront de corriger les résultats des analyses pour variations après collecte : conservation, stockage, transport	Au moins un blanc et un standard doivent être faits sur le terrain pour chaque paramètre sensible, chaque jour de prélèvement. Des échantillons témoins sont aussi recommandés pour une bonne AQ/CQ.
Stockage des échantillons/ Transport	Réfrigération et protection des échantillons doivent minimiser l'altération des échantillons avant analyse	Il est recommandé d'observer les temps de conservation maximaux. Indiquer soigneusement les durées réelles de conservation

Tableau 20 - Protocole général d'échantillonnage de l'eau souterraine (d'après Barcelona et al., 1985)

Dans ce chapitre, les différentes étapes du protocole sont analysées et, en chapitre 7 "Protocole recommandé", les recommandations issues de cette analyse sont récapitulées.

6.1. MESURES PRÉLIMINAIRES

6.1.1. Paramètres hydrauliques du puits

Des mesures de perméabilité doivent être réalisées sur chaque puits, pour que non seulement on ait une bonne connaissance des conditions de transfert, mais aussi des informations pour déterminer la fréquence des prélèvements.

Les paramètres obtenus à partir d'un pompage d'essai, en particulier la transmissivité, sont également utiles pour calculer le volume de purge. Ces mesures étant connues des hydrauliciens et hydrogéologues, elles ne sont pas rappelées ici (Genetier, 1984 ; Castany, 1982).

6.1.2. Mesure du niveau d'eau

Avant de purger un puits ou de collecter un échantillon, il est extrêmement important de mesurer et de noter le niveau d'eau dans le puits. Ces niveaux d'eau sont nécessaires pour estimer la quantité d'eau à pomper avant de prélever un échantillon. De plus, ces informations peuvent être utiles pour l'interprétation : des niveaux bas peuvent refléter l'influence d'un puits de production voisin, des niveaux élevés par rapport à des mesures réalisées à d'autres périodes de l'année peuvent signifier une recharge récente, pouvant entraîner une dilution, ou remettre en solution des polluants retenus dans la zone non saturée.

Enfin, cette information est nécessaire pour comprendre les variations saisonnières des niveaux d'eau et la variabilité des concentrations chimiques sur le site contrôlé.

On prendra soin d'établir un point de référence (sommet du tubage ou autre, mesuré à 0,3 cm près). Les mesures sont tabulées. A chaque époque de prélèvement, il faut mesurer le niveau de l'eau et la profondeur totale du puits jusqu'à la zone de prélèvement.

Il conviendra de mesurer les niveaux avec un appareil suffisamment sensible pour apprécier une variation de 0,3 cm.

On n'entrera pas plus dans le détail, ces mesures étant bien connues des hydrogéologues.

6.2. PURGE

6.2.1. Généralités

La première décision à prendre concerne le protocole de purge. La purge est nécessaire parce que l'échantillon d'eau de la nappe doit être représentatif de la formation. L'eau ayant stagné dans le puits n'est pas représentative car l'eau se trouvant au-dessus de la crépine ne peut pas inter-agir avec l'eau de la formation, est en contact avec les matériaux de construction du puits (tubage), est en contact avec l'atmosphère. Cette eau stagnante a souvent une température, un pH et un potentiel redox différents, ainsi qu'une teneur en solides totaux dissous différente de celle de l'eau de la formation.

Une étude de Barcelona et Helfrich (1986) a montré que la purge de l'eau stagnante était le principal facteur affectant la précision des résultats.

La purge peut créer des problèmes dans certaines conditions. Le problème le plus courant est le sur-pompage qui peut aussi aboutir à des échantillons non représentatifs. Si la purge est réalisée à un débit plus important que celui utilisé pour développer le puits, des fines peuvent être introduites, qui augmentent la turbidité et fournissent des sites pour la fixation des métaux et des organiques.

De plus, un sur-pompage peut dénoyer une partie de la zone saturée en exposant les matériaux, puis l'eau, lors de la remontée de nappe, aux gaz ou substances flottant en surface de l'eau. La purge par sur-pompage peut influencer la migration des polluants. Le pompage crée aussi des variations de pression qui peuvent affecter l'équilibre des gaz dissous.

Bref, étant donné l'influence que peut avoir la purge, certains spécialistes ont conseillé de ne pas purger dans certaines situations (Giddings, 1983).

Dans un article récent, Kearn et al. (1992) préconisent également de ne pas purger le puits, de prélever les échantillons dans l'intervalle crépiné, avec un débit maximum de 100 ml/mn, et de ne pas filtrer les échantillons, dans le cas où l'on veut prélever la fraction colloïdale.

Gilham (1982) a proposé comme alternative d'utiliser, à une profondeur donnée, un dispositif du type seringue, pour prélever un échantillon représentatif sans purger.

La décision de purger ou de ne pas purger dans certains cas bien particuliers dépendra du but recherché.

6.2.2. Volumes de purge

On trouve dans la littérature trois modes de détermination du volume de purge : le premier implique d'éliminer un certain nombre de volumes de puits, le second consiste à purger jusqu'à stabilisation de certains paramètres de terrain, et le troisième précise que le volume de purge doit être basé sur la performance hydraulique du puits considéré. On recommande parfois la combinaison des deux dernières méthodes.

❶ *Premier critère : nombre de volumes du puits*

Des valeurs comprises entre 1 et 20 volumes ont été proposées. Les réglementations recommandent souvent 3 à 5 ou 6 volumes.

Un volume de puits est défini comme le volume d'eau du puits situé au-dessus du niveau supérieur de la crépine. La partie crépinée n'est pas comprise dans ce volume.

Suivant les auteurs, le volume à éliminer est de 3 à 5, ou 1 à 10 (Gilham, 1982). Scalf et al. (1981) proposent une valeur usuelle de 4 à 10 volumes. Pettyjohn et al. (1981), considérant l'échantillonnage pour des polluants organiques, recommandent d'enlever au moins 10 volumes de puits à un débit maximum de 500 ml/mn.

Gibb et al. (1981) et Schuller et al. (1981) ont comparé les données obtenues sur les constituants non organiques sur des puits de six sites, après élimination d'un nombre croissant de volumes de puits. Ils en concluent que l'élimination de 4 à 6 volumes de puits est suffisante en général. Les nombreux tests effectués par Robin et Gilham (1987) ont montré que l'on peut obtenir des échantillons représentatifs en éliminant 2 à 3 volumes de puits seulement. Il n'est pas possible de recommander un nombre établi de volumes de puits à éliminer, car le nombre de volumes suggérés est trop variable.

❷ *Critère basé sur la stabilisation de certains paramètres*

Les paramètres concernés sont température, pH, Eh et conductivité spécifique (Gibb et al., 1981 ; Schuller et al., 1981).

La mesure de ces paramètres a été recommandée par de nombreux auteurs, et ces quatre paramètres ont été retenus car il est apparu que des puits différents sont sensibles à différents paramètres.

Gibb et Imbrigiotta (1990) ont mis en évidence que la stabilisation des paramètres de terrain ne signifie pas exactement stabilisation des concentrations de composés organiques volatils.

❸ *Critère basé sur les paramètres hydrauliques et chimiques*

Dans ce cas, il est suggéré de combiner les paramètres hydrauliques aux paramètres mesurés sur le terrain pour déterminer le volume de purge.

Si l'on a déterminé la transmissivité de l'aquifère, et que l'on connaisse le diamètre du tubage et le débit de purge, il est possible de calculer la durée de pompage nécessaire pour obtenir un échantillon représentatif.

La figure 30 (Gibb et al., 1981) peut être utilisée.

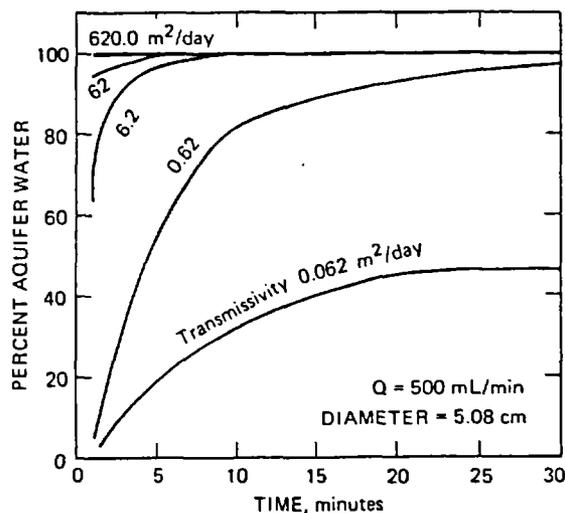


Figure 30 - Pourcentage d'eau provenant de l'aquifère en fonction du temps pour différentes transmissivités (Gibb et al., 1981)

Elle montre le pourcentage d'eau provenant de l'aquifère pour un débit de pompage de 500 ml/mn, pour différentes transmissivités. Ceci permet de faire la part du pourcentage d'eau provenant de l'aquifère et celle qui est stockée dans le puits.

La figure 31 indique le pourcentage d'eau provenant de l'aquifère en fonction du temps de pompage pour différents diamètres de puits, à un débit de 500 ml/mn.

Les paramètres hydrauliques étant susceptibles de varier dans le temps, ce calcul ne fournit qu'une estimation du volume de purge. On peut simultanément mesurer les paramètres de terrain pour s'assurer que le puits est bien purgé.

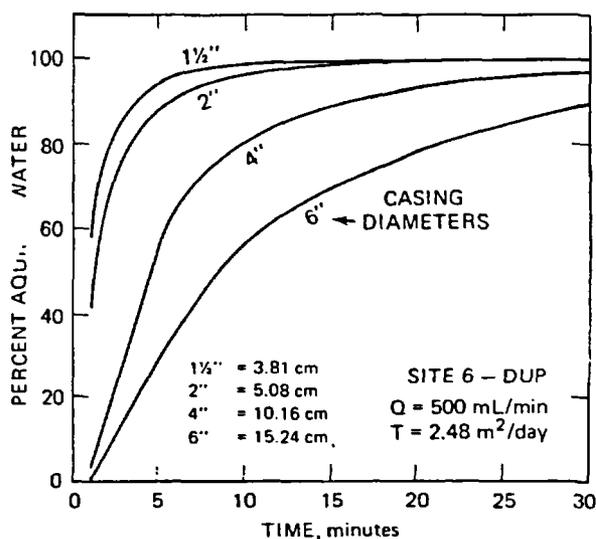


Figure 31 - Pourcentage d'eau de l'aquifère en fonction du temps pour différents diamètres de tubage (Gibb et al., 1981)

④ Critère basé sur un échantillonnage sur des séries de temps

Cette méthode a été présentée par Lee et Jones (1983). Ils recommandent de prélever des échantillons après 1, 2, 4, 6 et 10 volumes de puits et d'analyser les constituants, et de mesurer conductivité spécifique, température et oxygène dissous. Cette procédure devrait être utilisée deux fois par an les trois premières années du contrôle.

Cette méthode est applicable pour un contrôle de plusieurs années sur un réseau qualité, mais pas toujours lorsqu'il s'agit d'un prélèvement ayant pour objectif la mise en évidence d'une pollution.

La méthode à recommander est la combinaison des paramètres hydrauliques et des paramètres de terrain. Quand il n'est pas possible de déterminer les paramètres hydrauliques, la mesure des paramètres de terrain jusqu'à stabilisation est préférable à l'élimination d'un nombre arbitraire de volumes de puits.

6.2.3. Purge dans les puits à remontée lente

Les puits dans lesquels la remontée du niveau est lente ont été peu considérés.

Giddings (1983) propose de ne pas purger dans certains cas car, dans les puits peu productifs, il peut y avoir mélange d'eau stagnante et d'eau de la formation.

Barcelona et al. (1985) suggèrent que l'échantillon soit prélevé pendant que le niveau remonte dans le puits. Il faut bien s'assurer que le puits n'a pas été vidé en deçà du sommet de la crépine, car sinon il pourrait y avoir aération de la formation aquifère, donc de l'échantillon.

Pour les puits où la remontée est très lente, Barcelona et al. (1985) proposent de prélever l'échantillon en petites aliquotes toutes les deux heures.

Selon ces mêmes auteurs, l'échantillon doit être collecté à un débit inférieur à celui utilisé pour la purge. Dans la pratique, les échantillons dans un matériau à grains fins sont prélevés le lendemain de la purge.

Les études concernant les variations chimiques après la remontée du niveau dans les puits à recharge lente sont rares. McAlary et Barker (1987) ont testé en laboratoire les pertes par volatilisation de composés organiques, lors de prélèvement dans un sable fin. Ils trouvent des pertes par volatilisation pouvant atteindre 70 % pendant l'heure suivant la purge si le niveau d'eau a été abaissé en dessous du sommet de la crépine. Ils trouvent aussi que les pertes par volatilisation sont inférieures à 10 % quand l'eau a séjourné moins de 6 heures.

Herzog et al. (1988) ont observé les variations des concentrations en organiques volatils à partir de 300 échantillons analysés pour 19 composés organiques, en provenance de 11 puits. Les échantillons étaient collectés avant purge et à différents intervalles de temps jusqu'à 48 h après la purge. Certains résultats sont présentés en figure 32.

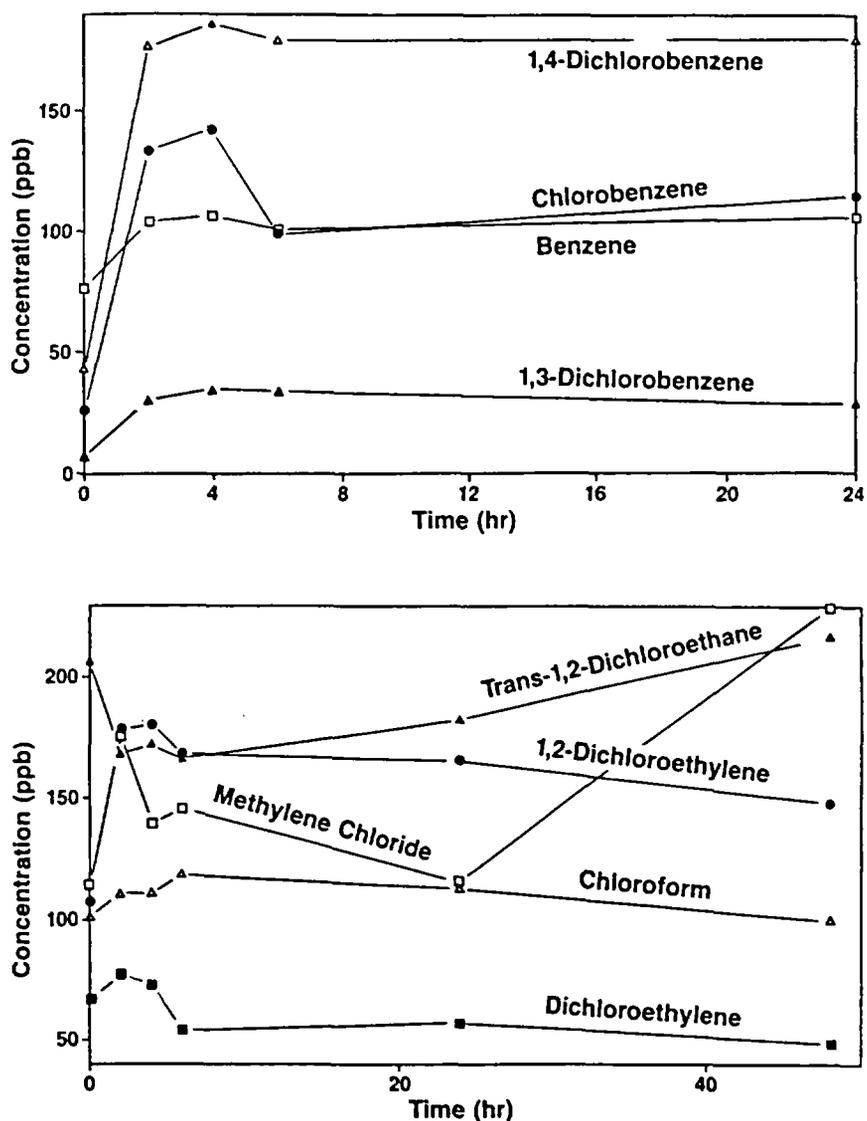


Figure 32 - Variations des concentrations en composés organiques volatils, en fonction du temps de recharge dans un puits à recharge lente
Le temps zéro correspond à un échantillonnage avant de purger
(Herzog et al., 1988, d'après Nielsen, 1991)

Ils ne trouvent pas de différence statistique entre les échantillons prélevés de 2 à 48 h après la purge. Les échantillons prélevés avant la purge avaient des concentrations plus faibles ou non, différentes de celles obtenues après la purge, suivant le composé.

6.2.4. Appareillage utilisé

Les appareils disponibles pour purger sont les mêmes que pour prélever. Il est souhaitable d'utiliser le même appareil pour purger et pour échantillonner, pour minimiser les risques de contamination. Cependant, dans le cas où un appareil doit être utilisé pour plusieurs puits, donc nettoyé entre chaque utilisation, il est difficile de nettoyer les tubages et l'intérieur des appareils. Dans ce cas, on purge avec une pompe et on prélève avec un autre dispositif, tel que bouteille à prélèvement, seringue ou autre ou vice-versa. C'est pourquoi une bouteille à prélèvement peut être attribuée à la purge dans les puits peu productifs, et si cela convient pour les éléments à analyser.

6.2.5. Méthodes de purge

Deux options existent pour l'emplacement du dispositif : le sommet de la colonne d'eau, ou le sommet de la crépine. Les deux solutions sont utilisées.

Il est recommandé de placer l'appareillage au sommet de la crépine, si le même appareil est utilisé pour purger puis pour prélever. Par contre, si des appareils différents sont utilisés pour purger et échantillonner, il vaut mieux purger en plaçant l'appareil au niveau de la colonne d'eau statique, en abaissant l'appareil.

6.3. COLLECTE DES ÉCHANTILLONS

Une fois le puits purgé, après une remontée du niveau d'eau suffisante, on procède au prélèvement des échantillons.

On procède d'abord au prélèvement des échantillons pour mesure des constituants volatils, COT (carbone organique total), HOT (halogènes organiques totaux) et les constituants nécessitant une filtration ou une détermination sur le terrain. Puis on prélève des volumes plus importants pour recherche des organiques, des métaux, ou des anions et constituants majeurs.

Les puits en amont doivent être prélevés les premiers, suivis des puits en aval pour minimiser les risques de pollution.

Le dispositif utilisé pour purger sera choisi en fonction du problème posé (tableaux 17 et 18) et du contexte local, du diamètre du puits, de la profondeur de prélèvement. Dans un même puits, il est préférable d'utiliser le même appareil pour purger et prélever, de façon à éviter les problèmes de décontamination mais, comme il a déjà été dit, un tel appareil doit être choisi de manière à ce que le débit de pompage soit réglable, pour permettre de purger à fort débit et de prélever à faible débit (100 ml/mn).

6.4. FILTRATION

Les deux pré-traitements les plus courants sur le terrain lors du prélèvement d'eau dans la nappe sont la filtration et la conservation.

Concernant la filtration, les avis sont, là aussi, partagés : certains auteurs sont favorables à une filtration, d'autres pensent que la filtration altère la représentativité de l'échantillon. Les deux points de vue sont défendables. Dans certains cas, il est conseillé de filtrer : par exemple, si l'appareillage utilisé pour l'analyse nécessite des échantillons limpides, ou si l'on veut ne doser que les éléments dissous, ou si l'on veut déterminer le pourcentage des solides en suspension.

Il y a aussi des inconvénients à filtrer : des variations significatives des conditions chimiques peuvent se produire ; la filtration se fait sur un filtre d'une taille de pores connue en appliquant un vide ou une pression positive, ce qui résulte en une variation de pression partielle des gaz dissous dans l'eau ; les composés organiques volatils peuvent être perdus si les échantillons sont exposés à l'atmosphère ou s'il y a des variations de pression.

Les échantillons d'eau recueillis pour analyse des volatils ne sont pas filtrés en général.

Une oxygénation peut se produire en plus du contact avec l'atmosphère. Une aération de l'échantillon peut entraîner la précipitation de certains métaux, comme le fer, ou la perte d'éléments volatils.

La filtration peut aussi éliminer des constituants très peu solubles dans l'eau, comme les PCB, ou les hydrocarbures aromatiques. La filtration peut aussi éliminer les polluants transportés sous forme colloïdale (Kearl et al., 1992).

Les membranes et papiers filtres peuvent introduire des polluants dans l'eau.

Selon l'EPA (Barcelona et al., 1985), il est recommandé de ne pas filtrer, si l'on veut déterminer COT, HOT ou autres composés organiques. Il vaut mieux laisser déposer, puis décantier l'échantillon.

Si la filtration est nécessaire pour la détermination des composés organiques extractibles, on filtre en laboratoire par application d'une pression d'azote (Iundt, 1985).

L'avis qui prévaut (Barcelona et al., 1985 ; Nielsen, 1991) est que les échantillons pour constituants non organiques dissous (métaux alcalins, anions) doivent être filtrés sur le terrain, bien que Puls et Barcelona (1989) et Puls et Powell (1992), après expérimentation, montrent que la filtration sur filtre 0,45 μ n'est pas utile ni appropriée pour déterminer ces éléments dissous. Finalement, ils proposent de collecter à la fois des échantillons filtrés et non filtrés. Si l'on veut déterminer les polluants mobiles, suspensions, colloïdes, il faut donner la priorité aux échantillons non filtrés. Pour déterminer avec précision les éléments dissous, on utilisera un filtre dont la taille de pores est inférieure à 0,45 μ .

Des études de terrain ont indiqué que des particules en suspension pouvaient affecter la mobilité des polluants. Les échantillons présentant une turbidité élevée sont en général la résultante d'un mauvais développement du puits, d'où des différences entre les teneurs en métaux dans les échantillons filtrés et non filtrés.

La figure 33 présente des résultats obtenus sur un site Superfund aux Etats-Unis (Puls et Powell, 1992).

On note que, pour un prélèvement avec une pompe péristaltique, les variations de concentrations en As sont négligeables lorsque la turbidité est inférieure à 10 unités de turbidité néphé-
lométrique. Par contre, avec une bouteille à clapets, on ne peut obtenir une faible turbidité ; il en résulte des différences importantes sur les concentrations en As d'échantillons filtrés et non filtrés, quand on utilise une bouteille à clapets.

La figure 34 montre les variations que l'on peut obtenir par l'utilisation de différents filtres.

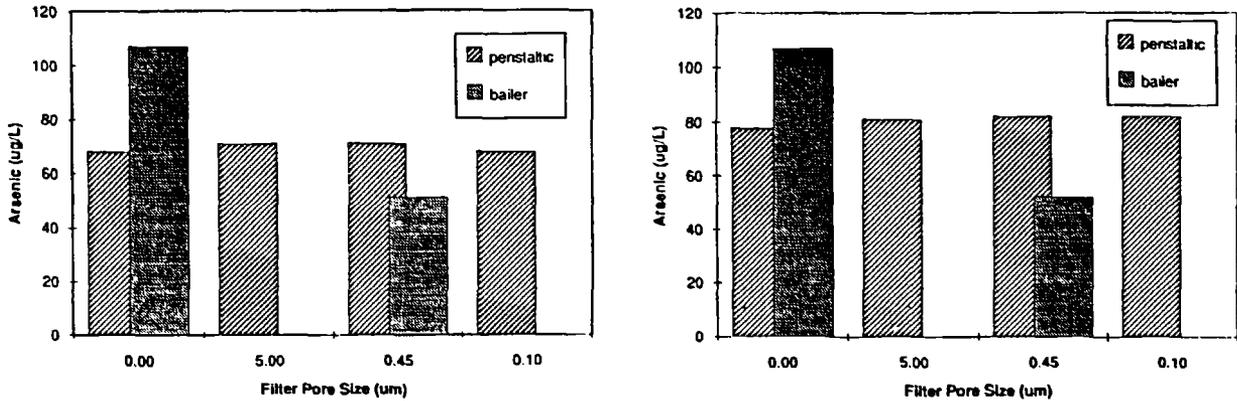
6.5. CONSERVATION

Si un échantillon d'eau ne peut être analysé immédiatement après prélèvement, il doit être stabilisé jusqu'à l'analyse, de façon à empêcher ou ralentir différents processus chimiques ou biologiques. Les techniques de conservation comprennent le contrôle du pH, l'addition d'agents de conservation, le contrôle de température et la protection contre la lumière.

Le contrôle de température consiste à garder les échantillons dans une glacière ou au réfrigérateur. Les techniques de préservation pour différents éléments, utilisées par l'EPA, sont données dans le tableau 21. Ce tableau donne des informations sur le type de récipients à utiliser pour stocker l'échantillon et sur la durée de stockage.

Les agents de conservation doivent être introduits dans les flacons vides, préparés au laboratoire, ou peuvent être ajoutés à l'échantillon, sur le terrain. On évitera de trop remplir le flacon, pour éviter un débordement et une dilution ou perte du conservateur. Il est conseillé de porter des gants pendant le remplissage des flacons.

Il n'y a pas d'agents capables de stabiliser alcalinité, acidité et pH ; ces paramètres sont déterminés sur le terrain tout de suite après prélèvement (5, 6)].



a) Différences des concentrations en As pour échantillons collectés par pompe péristaltique (0,2 l/mn) et bouteille à prélèvement sur le puits 101, Saco, Maine (Puls et Powell, 1992)

b) Différences des concentrations en As pour échantillons collectés avec une pompe péristaltique et une bouteille sur le puits 114b, Saco, Maine (Puls et Powell, 1992)

Figure 33 - Variations des concentrations en As pour échantillons filtrés ou non filtrés

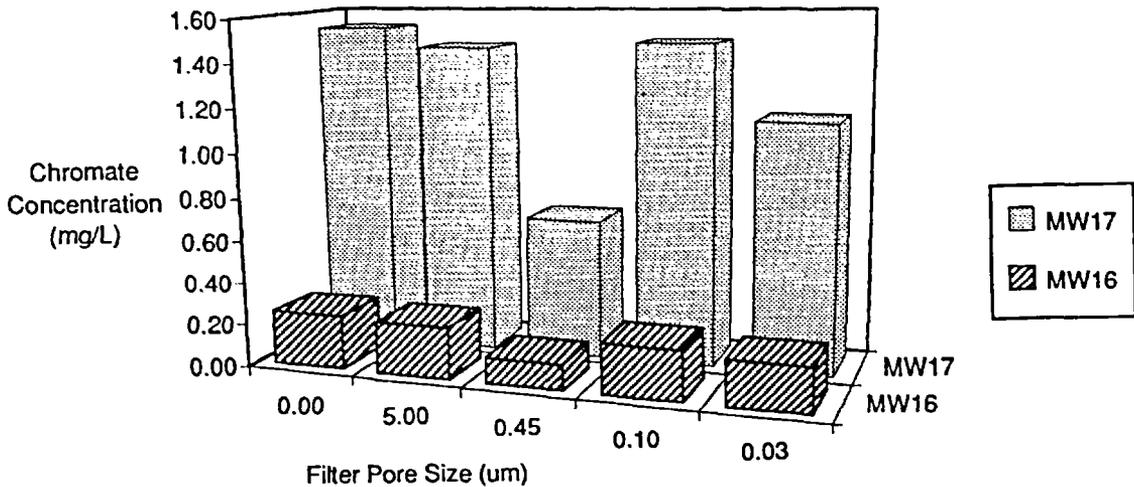


Figure 34 - Variations des concentrations en chromate pour différentes tailles de pores de filtre

0,00 = non filtré ; 0,45 µ = haute capacité en ligne ; pour les autres, fine membrane polycarbonate (142 mm de diamètre), pour deux puits différents à Elizabeth City, Caroline du Nord (pompe submersible, 0,2 l/mn) (Puls et Powell, 1992)

PARAMÈTRE	CONTENEUR (1)	AGENT DE CONSERVATION (2, 12)	TEMPS MAX. DE CONSERVATION (3)
Tests bactériens			
Coliformes fécaux et totaux	P, V	Froid 4°C 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃ (6)	6 heures
Streptocoques fécaux	P, V	Idem	6 heures
Tests inorganiques			
Acidité	P, V	Froid 4°C	14 jours
Alcalinité	P, V	Froid 4°C	14 jours
Ammonium	P, V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Demande biochimique en oxygène	P, V	Froid 4°C	48 heures
Bromures	P, V	Pas nécessaire	28 jours
Demande chimique O ₂	P, V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Chlorures	P, V	Pas nécessaire	28 jours
Chlorures totaux résiduels	P, V	Pas nécessaire	Analyse immédiate
Couleur	P, V	Froid 4°C	48 heures
Cyanures totaux	P, V	Froid 4°C, NaOH → pH > 2 0,6 g acide ascorbique (6)	14 jours (9)
Fluorures	P	Pas nécessaire	28 jours
Dureté	P, V	HNO ₃ → pH < 2	6 mois
pH	P, V	Pas nécessaire	Analyse immédiate
Azote Kjeldahl et organique	P, V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Métaux (4)			
Chrome VI	P, V	Froid 4°C	24 heures
Mercure	P, V	HNO ₃ → pH < 2	28 jours
Métaux sauf ci-dessus	P, V	HNO ₃ → pH < 2	6 mois
Nitrates	P, V	Froid 4°C	48 heures
Nitrates-nitrites	P, V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Nitrites	P, V	Froid 4°C	48 heures
Huiles et graisses	V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Carbone organique	P, V	Froid 4°C, HCL ou H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Orthophosphates	P, V	Filtrer immédiatement, Froid 4°C	48 heures
Oxygène dissous	V, bouteille et bouchon	Pas nécessaire	Analyse immédiate
Phénols	V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Phosphore	V	Froid 4°C	48 heures
Phosphore total	P, V	Froid 4°C, H ₂ SO ₄ → pH < 2	28 jours
Résidu total	P, V	Froid 4°C	7 jours
Résidu filtrable	P, V	Froid 4°C	7 jours
Résidu non filtrable	P, V	Froid 4°C	7 jours
Résidu qui se dépose	P, V	Froid 4°C	48 heures
Résidu volatil	P, V	Froid 4°C	7 jours
Silice	P	Froid 4°C	28 jours
Conductivité spécifique	P, V	Froid 4°C	28 jours
Sulfate	P, V	Froid 4°C, ajouter acétate de Zn et NaOH → pH > 9	7 jours
Sulfite	P, V	Froid 4°C	Analyse immédiate
Surfactants	P, V	Froid 4°C	48 heures
Température	P, V	Pas nécessaire	Analyse immédiate
Turbidité	P, V	Froid 4°C	48 heures

Tableau 21 - Conteneurs, techniques de conservation et temps de conservation (EPA, Barcelona et al., 1985)

PARAMÈTRE	CONTENEUR (1)	AGENT DE CONSERVATION (2, 12)	TEMPS MAX. DE CONSERVATION (3)
Tests organiques			
Hydrocarbures halogénés	V, T	Froid 4°C 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃ (6)	14 jours
Aromatiques	V, T	Idem, HCL → pH < 2 (10)	14 jours
Acroléine et acrylonitrile	V, T	Froid 4°C 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃ (6)	14 jours
Phénols	V, bouchon T	Froid 4°C 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃ (6)	7 jours avant extraction, 40 jours après extraction
Benzidines	V, bouchon T	Froid 4°C 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃ (6)	Idem
Phtalates esters	V, bouchon T	Froid 4°C	Idem
Nitrosamines (7)	V, bouchon T	Froid 4°C à l'obscurité 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃	Idem
PCB	V, bouchon T	Froid 4°C (8), pH 5-9	Idem
Nitroaromatiques et isophorone	V, bouchon T	Froid 4°C	Idem
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	V, bouchon T	Froid 4°C à l'obscurité 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃	Idem
Ethers halogénés	V, bouchon téflon	Froid 4°C à l'obscurité 0,008 % Na ₂ S ₂ O ₃	Idem
Pesticides			
Pesticides	V, bouchon T	Froid 4°C, pH 5-9	Idem
Tests radiologiques			
Alpha, Beta, Ra	P, V	HNO ₃ → pH < 2	6 mois

Tableau 21 (suite) - Conteneurs, techniques de conservation et temps de conservation (EPA, Barcelona et al., 1985)

- (1) P (polyéthylène), V (verre)
- (2) La conservation doit être faite immédiatement au moment du prélèvement
- (3) Les échantillons doivent être analysés dès que possible après la collecte. Certains échantillons peuvent ne pas être stables aussi longtemps qu'indiqué ici
- (4) Les échantillons doivent être filtrés immédiatement, sur le terrain, avant d'ajouter les agents de conservation, pour métaux dissous
- (5) Le guide s'applique aux échantillons devant être analysés par chromatographie gazeuse, liquide ou spectrographie de masse pour des composés spécifiques
- (6) A n'utiliser qu'en présence de chlorures résiduels. Utiliser l'acide ascorbique uniquement en présence d'agents oxydants. Le temps maximum de conservation en présence de sulfures est de 24 heures
- (7) Pour l'analyse de diphénylnitrosamine, ajouter 0,008 % Na₂S₂O₃ et ajuster le pH à 7-10 avec NaOH pendant les 24 heures d'échantillonnage
- (8) L'ajustement de pH doit être fait à réception au laboratoire et peut être négligé si les échantillons sont prélevés dans un intervalle de 72 heures. Pour analyse de Aldrin : ajouter 0,008 % Na₂S₂O₃
- (9) Temps maximum de conservation : 24 heures en présence de sulfures
- (10) Les échantillons dont le pH n'est pas ajusté doivent être analysés dans les 7 jours
- (11) Les échantillons pour acroléine, sans ajustement pH, doivent être analysés dans les 3 jours
- (12) Tout échantillon devant être transporté doit être accepté par réglementation en vigueur pour transport de produits chimiques

6.6. DÉTERMINATION SUR LE TERRAIN

Les paramètres tels que pH, température, oxygène dissous, teneur en chlorure, potentiel redox et conductivité spécifique, qui présentent des propriétés instables, sont mesurés sur le terrain immédiatement après collecte de l'échantillon.

Dans le cas où un appareil de terrain doit être introduit dans le puits, il est préférable de recueillir d'abord les échantillons devant être analysés, pour éviter que la sonde ne contamine l'eau souterraine.

Les échantillons destinés à l'analyse chimique ne doivent pas être utilisés pour les mesures à faire sur le terrain, et les échantillons sur lesquels sont effectuées les mesures de paramètres in situ ne doivent pas être ensuite envoyés au laboratoire.

La personne qui procèdera au prélèvement doit calibrer les appareils de mesure avant la mesure et sur chaque puits.

Une description détaillée des mesures et des appareillages de terrain est donnée dans (1), ainsi que dans Iundt (1985). Ces méthodes et appareils classiques, pHmètre, conductivimètre, sondes spécifiques, sont connus et ne sont pas développés ici.

6.7. ASSURANCE QUALITÉ - CONTRÔLE QUALITÉ

Les procédures d'échantillonnage doivent avoir leurs propres protocoles d'assurance qualité (AQ) et de contrôle qualité (CQ).

L'assurance qualité est une fonction basée sur l'établissement de protocoles de contrôle de qualité et sur l'évaluation de leurs résultats.

Le contrôle qualité est l'ensemble des procédures techniques pour la bonne conduite d'activités sur le terrain, pour le transport, puis au laboratoire. Ces procédures sont nécessaires pour obtenir des données sûres et précises.

Le contrôle qualité comporte les activités jour après jour d'échantillonnage, l'utilisation de blancs, de témoins, pour contrôler la qualité des mesures, tandis que l'assurance qualité est un système de gestion qui assure qu'un contrôle qualité efficace a été mis en place.

Le but principal du contrôle qualité est de s'assurer que le protocole d'échantillonnage est exécuté correctement. Pour cela, on utilise des blancs et des témoins, dont on donne la définition :

- Les "*blancs terrain*" sont des échantillons similaires à la matrice, c'est-à-dire l'eau, mais ne contenant pas les éléments recherchés, c'est-à-dire qu'il s'agira d'eau distillée ou désionisée fournie par le laboratoire dans des flacons propres.

Ces blancs serviront à déterminer si la décontamination des appareils entre différentes utilisations est effective. Ils circulent dans les appareils de purge et de prélèvement après qu'ils aient été décontaminés, puis sont à nouveau recueillis dans les flacons étiquetés et placés dans la glace, comme les autres échantillons.

- Les "*blancs transport*" sont aussi des flacons d'eau distillée ou désionisée, préparés au laboratoire comme les blancs terrain. Ces flacons sont transportés sur le terrain dans les mêmes conditions que les flacons vides qui seront utilisés pour échantillonnage. Ces flacons retournent au laboratoire sans avoir été ouverts pendant la durée de l'opération de prélèvement.

Le nombre de blancs dépend du niveau CQ/AQ souhaité. Selon Nielsen (1991), il faut un blanc terrain et un blanc transport pour 10 échantillons d'eau souterraine. Selon Keith (1991), il faut au moins un blanc transport par jour par type d'échantillon.

- En plus des blancs, on utilise les *standards* ou échantillons bruit de fond, et les échantillons *témoins*.

Les *échantillons bruit de fond* sont des échantillons du milieu, c'est-à-dire de la nappe considérée, prélevés en même temps que les autres échantillons, en un point voisin où les éléments recherchés sont présents à des niveaux constituant la qualité de l'eau de la nappe, en dehors de toute pollution.

Les *échantillons témoins* sont des échantillons bruit de fond dans lesquels on ajoute une quantité connue du constituant ou de l'élément recherché. Ils sont utilisés pour mettre en évidence les effets de terrain, du transport et de la matrice.

Ces échantillons permettent aussi de vérifier la précision analytique. Par exemple, si dans un échantillon témoin on récupère le trichloréthylène à 80 % (déviation -20 %), les concentrations de trichloréthylène déterminées dans les échantillons à cette date doivent être corrigées d'un facteur 1,2 lors d'une faible récupération.

6.8. STOCKAGE ET TRANSPORT

Une fois collectés, pré-traités par filtration ou agent de préservation et étiquetés convenablement, les échantillons doivent être transférés dans des glacières en attendant leur transport au laboratoire. Ces glacières permettent de conserver les échantillons à des températures voisines de 4°C et de les protéger du soleil.

Il est important de connaître les temps maximaux de stockage des échantillons et d'être en relation avec le laboratoire pour les livrer et analyser à temps.

Le tableau 21 donne les temps de conservation en fonction de l'élément à analyser.

Pour être sûr que le temps de stockage est bien respecté, il est important d'accompagner les échantillons d'un bordereau de suivi. Une copie de ce bordereau sera retournée avec les résultats d'analyse. Un exemple des informations à faire figurer dans le bordereau de suivi est donné en figure 35.

6.9. DÉCONTAMINATION DU MATÉRIEL

Les gros appareillages utilisés pour le forage sont nettoyés par lavage à l'eau chaude sous haute pression, avec une eau savonneuse, puis rinçage à l'eau claire (eau potable). Le matériel sèche à l'air avant d'être utilisé sur un autre site. Le nettoyage du gros matériel peut se faire également à la vapeur, pour diminuer l'eau usée résultant du nettoyage.

En ce qui concerne le petit matériel, appareils de prélèvement, tubes, les procédures de décontamination sont variables et figurent dans le protocole d'échantillonnage.

En général, pour les appareils utilisés pour prélever des échantillons sur lesquels sont recherchés les *métaux*, la procédure est la suivante (Nielsen, 1991 ; Renner, 1991) :

- lavage avec eau savonneuse (sans phosphate) et eau de robinet,
- rinçage à l'acide nitrique dilué,
- rinçage à l'eau de robinet,
- rinçage à l'acide chlorhydrique dilué,
- rinçage à l'eau de robinet,
- rinçage à l'eau distillée de robinet.

Pour décontaminer les appareils utilisés pour prélever des échantillons sur lesquels sont recherchés des *organiques*, la procédure est la suivante :

- lavage avec eau et un détergent sans phosphate,
- rinçage à l'eau de robinet,
- rinçage à l'eau distillée,
- rinçage avec un solvant (acétone, hexane, alcool isopropylique),
- rinçage à l'eau distillée ou désionisée,
- séchage.

Les effluents générés par le nettoyage des appareils et du matériel sont mis en conteneur et stockés adéquatement.

Date de prélèvement :		Nom du site :
Puits ou points d'échantillonnage :		
Jeux d'échantillons pour : inorganiques, organiques, les deux		
Nom de la compagnie :		N° tél.
Adresse :		
Nom du préleveur :		N° tél.
Date d'échantillonnage :	Heure de début :	Heure de fin :
Renseignements sur terrain (précautions, nombre d'échantillons)		
1. Nom	Organisation	Localisation
2. Nom	Organisation	Localisation
Chaîne de transfert (après que les échantillons aient été transportés hors site ou au laboratoire)		
1. Signature	Titre	(Entrée)
Nom (imprimé)	Heure/Date de réception	(Sortie)
2. Signature	Titre	(Entrée)
Nom	Heure/Date de réception	(Sortie)
Informations sur les analyses		
Aliquote	Début analyse (heure/date)	Fin analyse
1		
2		
3		
4		

Figure 35 - Bordereau de suivi des échantillons

7. PROTOCOLE RECOMMANDÉ

Les éléments d'un protocole efficace ont été analysés précédemment. Comme on peut le constater, chacun des éléments qui ont été considérés a une influence sur la représentativité des échantillons. Chaque programme d'échantillonnage requiert un protocole spécifique, prenant en compte l'objectif de l'échantillonnage (détection d'une pollution éventuelle ou mise en évidence d'une pollution établie), le contexte local, les données dont on dispose sur l'hydrogéologie, sur le type de polluant recherché.

C'est pourquoi il n'est pas facile de donner un mode opératoire valable en toutes circonstances. On donne dans ce qui suit des tableaux récapitulatifs qui doivent permettre de rédiger le protocole adapté à chaque situation, puis on rappelle quelques recommandations.

La figure 36 donne un schéma pour l'exécution des différentes étapes du protocole.

7.1. CAS D'UN CONTRÔLE POUR DÉTECTION D'UNE POLLUTION

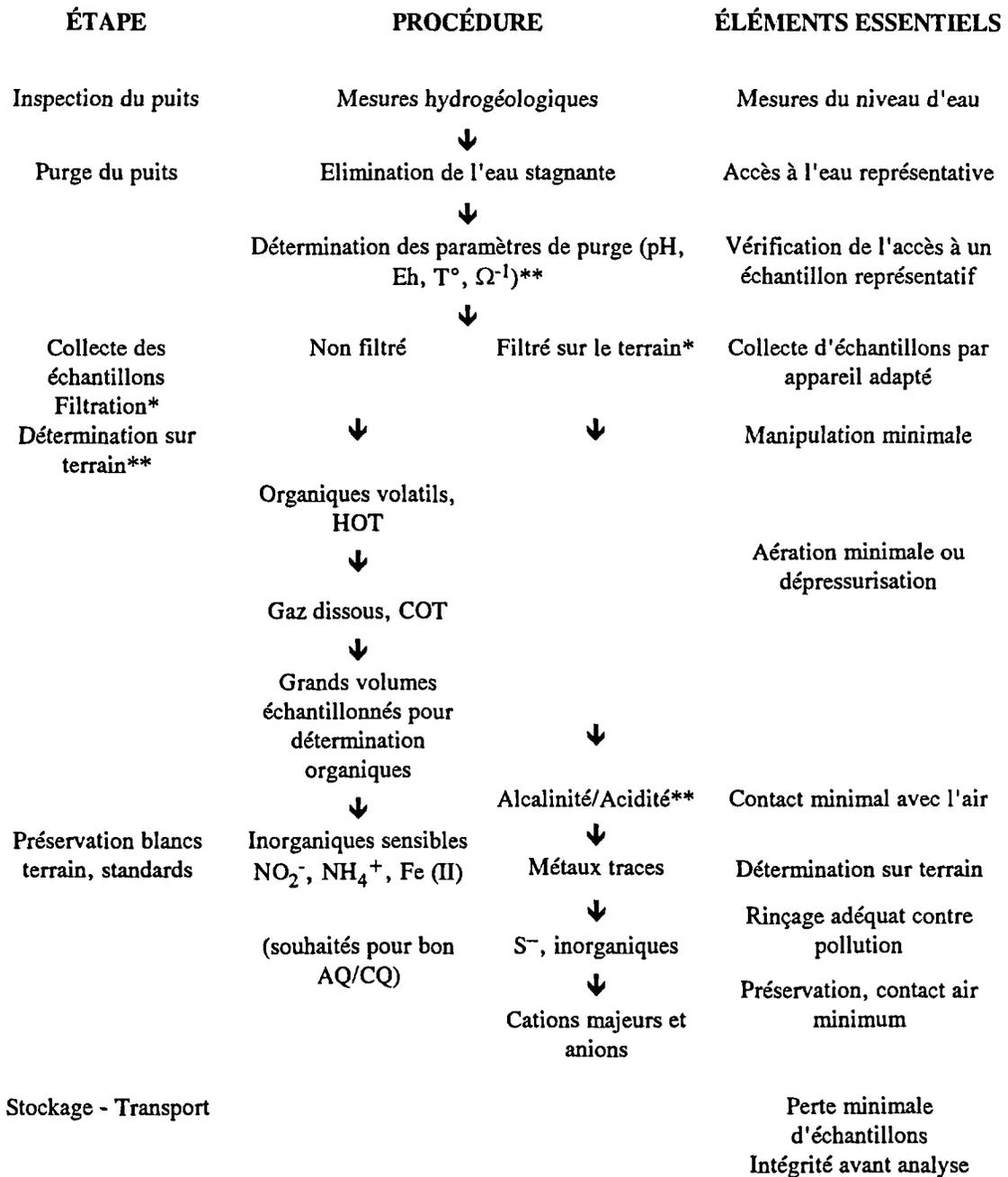
Dans le cadre d'un tel réseau de contrôle, les informations recueillies sont destinées à avoir suffisamment de données sur la qualité de l'eau, pour pouvoir mettre en évidence toute déviation correspondant à une pollution.

Le tableau 22 indique les paramètres analytiques recommandés pour détecter une pollution.

Type de paramètres	Type de détermination Labo (L), Terrain (T)	Analyses nécessaires selon réglementation	Analyses suggérées pour complément
Purge	T	pH, conductivité Ω^{-1}	T°, Eh
Indicateurs de pollution	T	pH, Ω^{-1}	Alcalinité (T) ou acidité (T)
	L	COT carbone organique total HOT halogènes organiques totaux	
Qualité de d'eau	L	Cl ⁻ , Fe, Mn, Na ⁺ , SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻⁻⁻
		Phénols	Silicate d'ammonium
Convenance pour eau potable, consommation humaine	L	As, Ba, Cd, Cr, F ⁻ , Pb, Hg, NO ₃ ⁻ , Se, Ag	
	L	Endrine, lindane, methoxychlore, toxaphène, 2,4-D, 2,4,5-TP (silvex)	
	L	Ra, bactéries coliformes, α/β	

Tous les paramètres doivent être déterminés quatre fois par an la première année du réseau

Tableau 22 - Paramètres analytiques recommandés pour la détection d'une pollution



* Concerne les échantillons à filtrer
 ** Déterminations à faire sur le terrain

Figure 36 - Diagramme général des étapes de l'échantillonnage des eaux souterraines (Barcelona et al., 1985)

Un diagramme schématique des méthodes en général recommandées pour les programmes destinés à la détection d'une pollution est donné dans le tableau 23 mais, pour chaque cas, le protocole devra être aménagé en tenant compte du but recherché.

7.2. CAS D'UN CONTRÔLE POUR ÉVALUATION D'UNE POLLUTION

Les informations nécessaires sont plus détaillées que dans le cas d'une détection de pollution.

Dans le cas d'une évaluation, la nature, l'étendue et les conditions de transfert de la pollution doivent être caractérisées pour permettre d'y remédier. La précision des mesures dans l'espace et dans le temps doit être accrue.

Les constituants chimiques sont plus importants que les indicateurs de pollution ou les paramètres de purge.

7.3. FRÉQUENCE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les échantillons doivent être prélevés à des moments représentatifs de la qualité et de ses variations.

Les fréquences d'échantillonnage ne sont pas les mêmes suivant qu'il s'agit d'un contrôle de qualité ou d'une caractérisation de la qualité et de l'identification d'une pollution.

Pour un *contrôle de qualité*, la fréquence d'échantillonnage doit être choisie de façon à ce qu'il y ait entre deux mesures des chances d'écart important par rapport aux limites fixées. L'EPA recommande un prélèvement annuel pour des vitesses inférieures à 20 m/an, deux prélèvements annuels pour des vitesses comprises entre 25 et 45 m/an, et quatre prélèvements annuels pour des vitesses supérieures à 45 m/an.

Il est possible aussi d'utiliser une méthode statistique (Seguin, 1985) pour calculer le nombre d'échantillons, à partir des écarts-types d'un paramètre, et un intervalle de confiance déterminé.

Dans le cas d'un *suivi de pollution*, les prélèvements seront effectués avec une fréquence élevée par rapport aux fréquences d'apparition des pollutions.

Paramètres (type)	Mécanismes matériau*	Conditions hydrogéologiques (capacité de rendement)	
		> 100 ml/mn Echantillon en continu	< 100 ml/mn Echantillons discontinus
Purge du puits (pH, Eh, T°, Ω ⁻¹)	Pompe (T, A, P, autres) Débits : 0,1-1 l/mn Bouteille	Pompe à membrane (air, N ₂)	Bouteilles à 2 valves
Indicateurs de pollution (pH, Ω ⁻¹)	Pompe (T, A, P, autres) Débits : 0,1-1 l/mn Bouteille (T, A, V, autres)	Pompe à membrane (air, N ₂)	Bouteille à 2 valves
(COT, HOT)	Pompe (T, A de préférence ; autres, P, seulement quand données existent) Bouteille (T, A, verre ; autres, P si données)	Mécanismes comme ci-dessus, débit 100 ml/mn maxi. Flacons 40 ml à remplir lentement et laisser déborder → bouchon téflon sans espace	Des fractions de COT et HOT peuvent être perdues selon conditions Flacons 40 ml remplis et on laisse déborder → bouchon téflon sans espace
Qualité de l'eau Gaz dissous (O ₂ , CH ₄ , CO ₂)	Pompe (T, A, P, autres)	Mécanismes comme ci-dessus, débit 100 ml/mn maxi. Conteneurs en verre à remplir lentement, laisser déborder → bouchon téflon sans espace	Non recommandé
Alcalinité/Acidité	Grappin (T, A, V, P, autres)		
(Fe, Mn, PO ₄ ⁻ , Cl ⁻ , Na ⁺ , SO ₄ ⁻ , Ca ⁺⁺ , K ⁺ , Mg ⁺⁺ , NO ₃ ⁻ , silicate)	Pompe (T, A, P, autres) Grappin (T, A, V, P, autres)	Pompe à membrane (air, N ₂)	Fe sensible aux mécanismes par grappin Grands volumes nécessaires à collecter séquentiellement et à filtrer
(NH ₄ ⁺ , phénols)	Pompe (T, A de préférence ; autres, P seulement si données) Grappin (T, A, V ; autres, P si données)	Mécanismes comme ci-dessus à débits < 100 ml/mn. Conteneurs en verre à remplir de bas en haut	(On peut perdre des volatils) Conteneurs en verre remplis de bas en haut
Aptitude à eau de boisson (As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, NO ₃ ⁻ , F)	Pompe (T, A, P, autres) Bouteille (T, A, V, P, autres)	Pompe à membrane (air, N ₂)	Bouteilles à 2 valves
Autres paramètres	Pompe (T, A, P, autres) Bouteille (T, A, V, P, autres) (Les deux avec précaution si risques radiologiques)	Pompe à membrane (air, N ₂) Débit ≤ 1 000 ml/mn	On peut perdre des composés volatils

* Matériaux dans l'ordre de préférence : téflon (T), acier inox (A), PVC, polypropylène, polyéthylène (P), verre en borosilicate (V), autres matériaux : silicone, polycarbonate, ...

Tableau 23 - Méthodes recommandées pour la collecte d'échantillons dans un programme de contrôle pour la détection d'une pollution

La fréquence d'échantillonnage dépend de la variabilité des données, de la toxicité du polluant étudié, de la concentration et de la mobilité supposées, de la vitesse de l'eau souterraine, du bruit de fond. On établit initialement une fréquence arbitraire de un échantillon par mois, que l'on ajuste ensuite si besoin.

Il est difficile de répondre simplement à la question de savoir à quelle fréquence il faut échantillonner.

Dans les matériaux à grains fins, il est possible d'échantillonner tous les deux mois. Pour identifier une pollution importante en un temps court, la fréquence doit être plus grande, tous les mois par exemple.

7.4. RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Un grand nombre de ces recommandations figurent dans le petit fascicule de poche de Garrett (1988).

❶ *Appareil de prélèvement*

En ce qui concerne le choix de l'appareil de prélèvement, on se reportera aux tableaux 17 et 18, qui permettent de sélectionner un appareil notamment en fonction de la sensibilité des différents éléments à mesurer.

Par ailleurs, il convient de retenir les principales recommandations suivantes.

❷ *Purge*

On utilisera, suivant le cas, une pompe ou une bouteille à prélever. La purge se poursuit jusqu'à stabilisation des paramètres pH, T°, conductivité spécifique, potentiel redox, O₂ dissous mesurés sur le terrain.

Placer la pompe au sommet de la colonne d'eau et la descendre, en évitant de dénoyer la crépine. Régler le débit de manière à ne pas entraîner un redéveloppement du puits.

❸ *Echantillonnage pour composés organiques volatils*

Il faut éviter la volatilisation. Le dispositif le plus approprié est celui qui évite d'agiter l'eau et n'autorise aucun contact avec l'air.

Il faut aussi éviter la dégradation des composés organiques par les bactéries dans l'eau en conservant les échantillons au froid.

Les échantillons seront conservés en flacons de verre de 40 ml avec bouchons en caoutchouc, remplis dans le puits par aiguilles hypodermiques, ou prélevés par pompes à membrane. Dans la mesure du possible, éviter les pompes à air-lift ou pompes péristaltiques pour les échantillons contenant des organiques volatils.

④ *Echantillonnage pour composés organiques non volatils*

La méthode est sensiblement la même ; les échantillons (1 litre) sont prélevés après les composés organiques volatils.

⑤ *Echantillonnage pour métaux*

Il faut se méfier des sédiments en suspension. C'est pourquoi il est recommandé de collecter des échantillons filtrés pour analyse des métaux dissous, et non filtrés pour analyse des métaux totaux, si l'eau contient des particules en suspension et/ou des colloïdes (Kearl et al., 1992).

Il est préférable d'utiliser une pompe, et non pas une bouteille, et une filtration en ligne sur filtre de 0,1 μ .

⑥ *Echantillonnage pour anions et alcalinité*

Il n'est pas utile de filtrer (excepté pour le phosphate). Il faut prélever un échantillon de 1 litre pour les nitrates et un autre échantillon de 1 litre pour les autres anions et alcalins.

⑦ *Echantillonnage pour analyse microbiologique*

Des bouteilles stérilisées, en verre, sont descendues délicatement dans le puits.

Retirer le flacon en évitant de toucher les parois du puits et reboucher. L'échantillon est transporté au laboratoire dans la même journée.

⑧ *Choix et préparation des récipients*

Le récipient doit préserver la composition de l'échantillon des pertes dues à l'adsorption et à la volatilisation, ou à des contaminations par des substances étrangères.

Pour l'échantillonnage *usuel* pour la détermination des paramètres physiques et chimiques des eaux naturelles, des bouteilles en polyéthylène ou en verre borosilicaté sont utilisées.

Il est recommandé de nettoyer avec soin les récipients neufs. Il est conseillé de laver le polyéthylène avec une solution d'acide chlorhydrique d'environ 1 mole/litre, puis de le laisser tremper longuement dans une solution d'acide nitrique dilué, puis de le rincer à l'eau déminéralisée. Le flacon sera ensuite rincé plusieurs fois avec l'eau destinée à être prélevée.

Pour le recueil d'échantillons contenant des *composés organiques*, des bouteilles en verre brun sont utilisées. Les bouchons sont en verre ou en polytétrafluoréthylène.

Pour des usages généraux, les récipients neufs en verre doivent être nettoyés avec de l'eau et des détergents, puis avec un mélange sulfochromique avant d'être rincés à l'eau distillée. Les détergents ne sont pas utilisés dans le cas de la détermination de teneurs en phosphates, et le mélange sulfochromique est à proscrire dans le cas d'analyses de traces de sulfate et de chrome.

Dans le cas de dosages d'*herbicides*, pesticides et leurs résidus, les récipients sont nettoyés avec des détergents, rincés à l'eau distillée, séchés au four, refroidis, avant d'être rincés à l'hexane et à l'éther de pétrole. Ils sont séchés dans un courant d'air.

Dans le cas d'analyse *microbiologique*, les récipients en verre sont nettoyés avec de l'eau et des détergents, rincés à l'eau distillée, puis à l'acide nitrique, puis à l'eau distillée. On peut ajouter avant stérilisation 0,1 ml d'une solution à 10 % de thiosulfate de sodium.

☉ *Recueil et stabilisation des échantillons*

Les programmes d'échantillonnage et de stockage doivent être contrôlés par l'introduction d'échantillons témoins. On aura pris soin aussi de conserver des échantillons témoins d'agents de préservation utilisés pour le traitement des échantillons d'eau.

Les agents de préservation sont ajoutés dans le récipient collecteur, soit après le remplissage, soit au préalable dans le flacon vide.

A signaler que la filtration n'est pas applicable si le filtre est susceptible de retenir un ou plusieurs constituants analysés. En particulier les membranes sont à employer avec précaution, du fait que certains métaux lourds et certains composés organiques peuvent être adsorbés à leur surface.

En ce qui concerne l'introduction de l'eau dans le récipient, s'il s'agit d'un échantillon devant être analysé pour les gaz dissous ou les composés organiques volatils, il faut prendre garde à ne pas les laisser s'échapper et à ne pas introduire de gaz atmosphériques dans l'échantillon. Le flacon sera rempli lentement par introduction d'un tube en matériau adapté, placé au fond du flacon et relié à l'appareil de prélèvement. La bouteille est remplie en laissant déborder un volume de récipient, puis refermée rapidement. Cette manière d'opérer ne convient pas si les agents de préservation sont introduits avant remplissage. Si l'agent de préservation est introduit après remplissage, on enlève un peu d'échantillon et on ajoute l'agent de stabilisation. Les flacons doivent être complètement remplis et bouchés, de manière à ce qu'il n'y ait pas d'air au-dessus de l'échantillon.

Les techniques pour la conservation des échantillons, y compris filtration et stabilisation, sont données dans les tableaux 21 et 24 (recommandations EPA), et les tableaux en annexe, issus des normes AFNOR (utilisées en France).

L'échantillonnage étant un facteur de variabilité non négligeable des mesures, on affectera, dans la mesure du possible, la même personne à l'échantillonnage dans le cadre d'une étude.

Type de paramètres	Volume nécess. 1 échantillon**	Conteneur (matériau)	Méthode de conservation	Temps maximal de conservation
Purge du puits				
pH (grappin)	50	T, A, P, V	Aucune : détermination sur le terrain	< 1 heure***
Ω^{-1} (grappin)	100	T, A, P		< 1 heure***
T° (grappin)	1 000	T, A, P, V		Aucun
Eh (grappin)	1 000	T, A, P, V		Aucun
Indicateurs de pollution				
pH, Ω^{-1} (grappin)	Voir ci-dessus	Voir ci-dessus	Voir ci-dessus	Voir ci-dessus
COT	40	V, T	Obscurité, 4°C	24 heures
HOT	100	V, T	Obscurité, 4°C	5 jours
Qualité de l'eau				
Gaz dissous (O ₂ , CH ₄ , CO ₂)	10 ml minimum	V, A	Obscurité, 4°C	< 24 heures
Alcalinité/Acidité	100 Filtré sous pression avec milieu approprié	T, V, P	4°C/Aucun	< 6 h***/24 h
(Fe, Mn, Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺)	Tout filtré 100 ml	T, P	Acidifié sur le terrain à pH < 2 avec HNO ₃	6 mois Δ
(PO ₄ ⁼ , Cl ⁻)	50	T, P, V		24 heures/7 jours
Silicate		Verre uniquement	4°C	7 jours
NO ₃ ⁻	100	T, P, V	4°C	24 heures
SO ₄ ⁻	50	T, P, V	4°C	7 jours
NH ₄ ⁺	400	T, P, V	4°C/H ₂ SO ₄ à pH < 2	24 heures/7 jours
Phénols	500	T, V	4°C/H ₃ PO ₄ jusqu'à pH < 4	24 heures
Aptitude à eau de boisson				
As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag	Comme pour cations ci-dessus	Comme ci-dessus	Comme ci-dessus	6 mois
F ⁻	Comme pour Cl ⁻	Comme ci-dessus	Comme ci-dessus	7 jours
Paramètres organiques restants				24 heures

** On suppose que sur chaque site, des duplicatas, blancs et standards sont prélevés avec même volume

*** La correction de température doit être faite. Des variations > ± 10 % peuvent résulter de plus longues périodes de conservation

Δ Si HNO₃ ne peut être utilisé, l'échantillon doit être réfrigéré à 4°C, envoyé de suite et acidifié à l'arrivée au laboratoire. Conteneurs à rincer avec HNO₃ 1/1 et inclure à échantillon

Tableau 24 - Procédures de traitement recommandées pour un programme visant à la détection d'une pollution (selon Scalf et al., 1981)

⑩ Manipulation - Conservation des échantillons

Les récipients contenant les échantillons seront repérés et numérotés de façon claire et durable, de même que le bouchon correspondant. Par ailleurs, on notera au moment de l'échantillonnage sur les bordereaux de suivi de nombreux détails utiles pour l'interprétation (date et heure de prélèvement, ...).

L'échantillon doit être maintenu à une température inférieure à celle du remplissage. Une simple réfrigération (dans de la glace fondante ou dans un réfrigérateur) et une conservation de l'échantillon à l'obscurité, suffisent dans la plupart des cas à le préserver durant son transport au laboratoire et pendant une période relativement courte avant son analyse.

La réfrigération ne peut être considérée comme un moyen de conservation à long terme. La congélation permet d'augmenter le temps de conservation, mais elle nécessite une parfaite maîtrise des modalités de congélation, décongélation, pour que l'échantillon retrouve son équilibre. Dans ce cas, l'utilisation de flacons en plastique est conseillée. A noter que les échantillons pour analyse microbiologique ne doivent pas être congelés.

Pour compléter ce protocole recommandé, on donne en annexe les textes concernant l'échantillonnage des eaux souterraines, extraits des normes AFNOR en usage en France, qui restent cependant des recommandations très générales.

8. CONCLUSION

L'échantillonnage d'eau souterraine ne consiste pas en un simple prélèvement d'un échantillon que l'on transfère dans un flacon vers le laboratoire.

La mise au point d'un protocole d'échantillonnage est un processus complexe conçu pour atteindre un objectif défini. Il est important d'obtenir des données hydrogéologiques et chimiques représentant avec précision les conditions hydrogéologiques et chimiques in situ.

Chacun des aspects du protocole peut influencer l'analyse de l'échantillon et aboutir à des résultats non représentatifs des conditions de la nappe. De nombreux facteurs peuvent affecter la qualité chimique d'un échantillon, parmi lesquels la conception du puits et sa maintenance, la filtration, la conservation et le stockage, le choix de l'appareil de prélèvement. Une bonne préparation et un bon protocole d'échantillonnage, indiquant par écrit le déroulement des opérations, la méthode à suivre pour chaque étape, le matériel à utiliser, les conditions opératoires (débit, emplacement de la pompe, temps de pompage, temps de stockage, ...), ainsi que la préparation de blancs, standards, témoins, pour un bon contrôle qualité, sont indispensables pour l'obtention d'échantillons représentatifs.

Ceci permettra, lors d'une campagne de prélèvement sur un site, d'opérer toujours dans les mêmes conditions.

Il n'est pas possible de recommander un protocole valable pour tous les programmes d'échantillonnage, mais chacun des facteurs qui ont été traités dans ce rapport seront examinés en fonction du contexte : puits, appareil de prélèvement, purge, recueil des échantillons, choix des récipients, mode de conservation.

Les grandes orientations à retenir sont qu'une bonne étude hydrogéologique et géophysique permet de localiser les puits de contrôle, notamment lorsqu'il s'agira d'évaluer une pollution établie. On retiendra également, en ce qui concerne le choix des appareils, que celui-ci sera fait en fonction de la profondeur, du diamètre du puits et de l'élément à contrôler. Chaque système présente des avantages et des inconvénients, mais les pompes à membrane semblent convenir dans la plupart des cas. Les matériaux les plus recommandés sont le téflon et l'acier inox.

Des précautions particulières doivent être prises pour le prélèvement de polluants organiques, et le recueil du composé se fera dans des pièges pour éviter toute volatilisation.

Enfin, un grand soin doit être apporté dans les manipulations et le transfert, puis le stockage des échantillons, pour que les échantillons soient représentatifs, et enfin dans la décontamination du matériel.

9. BIBLIOGRAPHIE

- (1) Anonyme, 1977 - National Handbook of recommended methods for water-data acquisition. Office of Water Data Co-ordination, Geological Survey, Reston, Virginie.
- (2) Barcelona M.J., Gibb J.P., Miller R.A., 1983 - A guide to the selection of materials for monitoring well construction and groundwater sampling. Illinois State Water Survey, Champaign, Illinois, USWS, Contract Report 327.
- (3) Barcelona M.J., Helfrich J.A., Garske E.E., Gibb J.P., 1984 - A laboratory evaluation of groundwater sampling mechanisms. Groundwater Monitoring Review, Spring 1984.
- (4) Barcelona M.J., Gibb J.P., Helfrich J.A., Garske E.E., 1985 - Practical guide for groundwater sampling. EPA/600/2-85/104.
- (5) Barcelona M.J., Helfrich J.A., 1986 - Well construction and purging effects on groundwater samples. *Envir. Sc. and Technology*, Vol. 20, n° 11.
- (6) Barker J.F., Dickhout R., 1988 - An evaluation of some systems for sampling gas charged groundwater for volatile organic analyses. Groundwater Monitoring Review, Fall 1988.
- (7) Berzins N.A., 1992 - Use of the cone penetration test and BAT groundwater monitoring system to assess deficiencies in monitoring well data. Proc. 6th Nat. Outdoor Action Conf. on Aquifer Restoration, May 11-13, 1992, Las Vegas.
- (8) Castany G., 1982 - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod Université.
- (9) Cordry K.E., 1991 - Hydropunch II. The second generation. A new in situ groundwater sampling tool. Proc. 5th Nat. Outdoor Action Conf. on Aquifer Restoration, Groundwater monitoring and geophysical methods, May 13-16, 1991, Las Vegas.
- (10) Edge R.W., Cordry K.E., 1989 - The Hydropunch TM : an in situ sampling tool for collecting groundwater from unconsolidated sediments. Groundwater Monitoring Review, Summer 1989.
- (11) Fetter C.W., 1983 - Potential sources of contamination in groundwater monitoring. Groundwater Monitoring Review, Spring 1983.
- (12) Garrett P., 1988 - How to sample groundwater and soils. National Water Well Association.
- (13) Genetier B., 1984 - La pratique des pompages d'essai en hydrogéologie. Manuels et Méthodes n° 9, BRGM.

- (14) Gibb J.P., Schuller R.M., Griffin R.A., 1981 - Procedures for the collection of representative water quality data from monitoring wells. Co-operative Groundwater Report 7, Illinois State Water and Geological Surveys.
- (15) Gibb J., Imbrigiotta T.E., 1990 - Well-pumping criteria for sampling purgeable organic compounds. *Groundwater*, Vol. 28, n° 1.
- (16) Giddings T., 1983 - Bore-volume purging to improve monitoring well performance : an often mandated myth. Proc. 3rd Nat. Symp. on Aquifer Restoration and Groundwater Monitoring, National Water Well Association, Dublin, Ohio.
- (17) Giddings T., Shosky D.J., 1987 - What is an adequate screen length for monitoring wells ? (Opinion I : T. Giddings ; Opinion II : D.J. Shosky). *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1987.
- (18) Gilham R.W., 1982 - Syringe devices for groundwater sampling. *Groundwater Monitoring Review*, Vol. 2, n° 2.
- (19) Iundt F., 1985 - Méthodologie de terrain en hydrogéochimie. Rapport BRGM 85 SGN 404 EAU.
- (20) Herzog B.L., Chou S.F.J., Valkenburg J.R., Griffin R.A., 1988 - Changes in volatile organic chemical concentrations after purging slowly recovering wells. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1988.
- (21) Hunkin G.G., Reed Th.A., Brand G.N., 1984 - Some observations on field experiences with monitor wells. *Groundwater Monitoring Review*, Winter 1984.
- (22) Kearl P.M., Korte N.E., Cronk T.A., 1992 - Suggested modifications to groundwater sampling procedures based on observations from the colloidal borescope. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1992.
- (23) Keely J.F., Boateng K., 1987 - a. Monitoring well installation, purging and sampling techniques. Part 1 : Conceptualization. *Groundwater*, Vol. 25, n° 3.
- (24) Keely J.F., Boateng K., 1987 - b. Monitoring well installation, purging and sampling techniques. Part 2 : Case histories. *Groundwater*, Vol. 25, n° 4.
- (25) Keith L.H., 1991 - Environmental sampling and analysis : a practical guide. Lewis Publishers.
- (26) Kerfoot W.B., 1984 - A portable well point sampler for plume tracking. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1984.
- (27) Lallemand-Barrès A., Bonin H., 1991 - Techniques de prélèvement rapide des eaux souterraines. Rapport BRGM R 32449.

- (28) Lee G.F., Jones R.A., 1983 - Guidelines for sampling groundwater. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, Vol. 55, n° 1.
- (29) McAlary T.A., Barker J.F., 1987 - Volatilization losses of organics during groundwater sampling from low permeability materials. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1987.
- (30) Morrison R.D., Brewer P.E., 1981 - Air-lift samplers for zone-of-saturation monitoring. *Groundwater Monitoring Review*, Vol. 1, n° 1.
- (31) Nacht S.J., 1983 - Groundwater monitoring system considerations. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1983.
- (32) Nacht S.J., 1983 - Monitoring sampling protocol considerations. *Groundwater Monitoring Review*, Summer 1983.
- (33) Nakamoto D.B., McLaren F.R., Philips P.J., 1986 - Multiple completing monitor wells. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1986.
- (34) Nielsen D.M., 1991 - Practical handbook of groundwater monitoring. Nielsen (Ed.), Lewis Publishers, NWWA.
- (35) Nielsen D.M., Yeates G.L., 1985 - A comparison of sampling mechanisms available for small-diameter groundwater monitoring wells. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1985.
- (36) Pankow J.F., Isabelle L.M., Hewetson J.P., Cherry J.A., 1984 - A syringe and cartridge method for down-hole sampling for trace organics in groundwater. *Groundwater*, Vol. 22, n° 3.
- (37) Pankow J.F., Isabelle L.M., Hewetson J.P., Cherry J.A., 1985 - A tube and cartridge method for down-hole sampling for trace organic compounds in groundwater. *Groundwater*, Vol. 23, n° 6.
- (38) Pearsall K.A., Eckhardt D.A.V., 1987 - Effects of selected sampling equipment and procedures on the concentrations of trichloroethylene and related compounds in groundwater samples. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1987.
- (39) Pettyjohn W.A., Dunlap W.J., Cosby R., Keeley J.W., 1981 - Sampling groundwater for organic contaminants. *Groundwater*, Vol. 19, n° 2.
- (40) Pohlmann K.F., Hess J.W., 1988 - Generalized groundwater sampling device matrix. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1988.
- (41) Puls R.W., Powell R.M., 1992 - Acquisition of representative groundwater quality samples for metals. *Groundwater Monitoring Review*, Summer 1992.
- (42) Puls R.W., Barcelona M.J., 1989 - Groundwater sampling for metals analyses. EPA/540/4-89/001.

- (43) Rannie E.H., Nadon R.L., 1988 - An inexpensive, multi-use, dedicated pump for groundwater monitoring wells. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1988.
- (44) Renner D.E., 1991 - The preparation and implementation of a groundwater sampling and analysis plan. *Groundwater Management*, n° 5. Proc. 5th Outdoor Action Conf. on Aquifer Restoration, Groundwater monitoring and geophysical methods, May 13-16, 1991, Las Vegas.
- (45) Reynolds G.W., Gilham R.W., 1985 - Adsorption of halogenated organic compounds by polymer materials commonly used in groundwater monitoring. Proc. 2nd Canadian/American Conf. on Hydrogeology, NWWA, Dublin, Ohio.
- (46) Robin M.J.L., Gilham R.W., 1987 - Field evaluation of well purging procedures. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1987.
- (47) Rosen M.E., Pankow J.F., Gibs J., Imbrigiotta T.E., 1992 - Comparison of down-hole and surface sampling for the determination of volatile organic compounds (VOCs) in groundwater. *Groundwater Monitoring Review*, Winter 1992.
- (48) Scalf M.R., McNabb J.F., Dunlap W.J., Cosby R.L., Fryberger J.S., 1981 - Manual of groundwater sampling procedures. National Water Well Association.
- (49) Schalla R., Landick T.W., 1986 - A new valved and air-vented surge plunger for developing small-diameter monitor wells. *Groundwater Monitoring Review*, Spring 1986.
- (50) Schalla R., Myers D.A., Simmons M.A., Thomas J.M., Toste A.P., 1988 - The sensitivity of four monitoring well sampling systems to low concentrations of three volatile organics. *Groundwater Monitoring Review*, Summer 1988.
- (51) Schuller R.M., Gibb J.P., Griffin R.A., 1981 - Recommended sampling procedures for monitoring well. *Groundwater Monitoring Review*, Vol. 1, n° 2.
- (52) Seguin J.J., 1985 - Etude de la variabilité des teneurs en nitrates dans une nappe d'eau souterraine. Détermination d'une fréquence optimale de prélèvement. Note Technique BRGM n° 85/27.
- (52) Torstensson B.A., 1984 - A new system for groundwater monitoring. *Groundwater Monitoring Review*, Fall 1984.

A N N E X E

EXTRAITS DES NORMES AFNOR

DOCUMENTS CONSULTÉS

- AFNOR - "Eaux, méthodes d'essais - 1990 : Recueil des normes françaises".
- ISO 5667-1 (ou T90-511) - Partie 1 : Guide général pour l'établissement des programmes d'échantillonnage.
 - ISO 5667-2 (ou T90-512) - Partie 2 : Guide général sur les techniques d'échantillonnage.
 - ISO 5667-3 (ou T90-513) - Partie 3 : Guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons.
 - ISO 6107-2 (ou T90-502) - Partie 2 : Vocabulaire quadrilingue.

Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 1 : Guide général pour l'établissement des programmes d'échantillonnage

9.6.2 Eau dans une aquifère

Lorsque le prélèvement est effectué dans le but d'évaluer la qualité de l'eau d'une aquifère, il faut autant que possible, avant d'effectuer le prélèvement, pomper dans le puits ou le forage de façon à être sûr que l'eau prélevée provient bien de l'aquifère. Même dans ce cas, l'eau du puits ou du forage peut être stratifiée et des prélèvements supplémentaires peuvent être nécessaires pour évaluer le degré de stratification. La profondeur à laquelle est réalisé le prélèvement doit toujours être notée à partir du niveau du sol ou d'un niveau de référence.

Afin d'ôter du système tout produit de corrosion, il faut abondamment pomper dans les puits et les forages revêtus sur leur paroi interne de matériaux sujets à la rouille ou à d'autres formes de corrosion, avant d'effectuer le prélèvement.

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir des échantillons provenant de profondeurs prédéterminées de l'aquifère, il faut soit prélever à chaque profondeur d'un même forage, soit effectuer des forages distincts pour chaque profondeur.

20.6 Eaux souterraines

Une estimation correcte des risques de pollution des eaux souterraines, et du temps qui sera nécessaire pour que cette pollution disparaisse, nécessite la connaissance de la direction et de la vitesse du mouvement des eaux souterraines. Cette information peut être utilisée dans le but d'éviter, tant pour la difficulté que pour le coût, les prélèvements des eaux souterraines en vue de l'évaluation de la pollution.

19.2 Direction de l'écoulement

Dans la plupart des cours d'eau à l'intérieur des terres, l'écoulement est unidirectionnel et évident, mais dans les canaux de navigation et de drainage, ce n'est pas toujours le cas, le sens de l'écoulement pouvant varier au cours du temps. La connaissance du sens d'écoulement des eaux souterraines d'une aquifère est de première importance dans l'évaluation des conséquences de la pollution de l'aquifère et dans le choix des sites de forage pour échantillonnage.

Essais des eaux

Échantillonnage

Guide général sur les techniques d'échantillonnage

T 90-512

Septembre 1988

ISO 5667-2

AVANT-PROPOS

Les normes ISO 5667-1 et ISO 5667-3 mentionnées en introduction du présent fascicule de documentation correspondent respectivement aux fascicules de documentation T 90-511 et T 90-513 qui les reproduisent intégralement.

2.2 Échantillons localisés

Les échantillons localisés sont des échantillons discrets prélevés généralement de façon manuelle, mais pouvant être prélevés automatiquement à la surface des eaux, à des profondeurs données et au fond.

Normalement, chaque échantillon sera représentatif de la qualité de l'eau à l'instant et à l'endroit du prélèvement. L'échantillonnage automatique équivaut à une série de tels échantillons prélevés à un instant ou dans un intervalle de temps prédéterminé.

Les échantillons localisés sont utiles si le flux de l'eau à échantillonner n'est pas uniforme, si les valeurs des paramètres présentant un intérêt ne sont pas constantes et si l'utilisation d'un échantillon composite risque de réduire les différences entre les échantillons individuels en raison de leurs interactions.

Les échantillons localisés peuvent être également nécessaires pour rechercher l'existence probable de pollution, ou pour surveiller son extension ou, dans le cas d'un prélèvement automatique d'échantillons discrets, pour déterminer l'heure du jour à laquelle les polluants sont présents. Ils peuvent de même être prélevés préalablement à l'établissement d'un programme d'échantillonnage plus approfondi.

Le prélèvement des échantillons localisés peut être recommandé pour la recherche de certains paramètres tels que la teneur en gaz dissous, en chlore résiduel, en sulfures solubles.

Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 2 : Guide général sur les techniques d'échantillonnage

3.5 Échantillonnage dans des eaux souterraines

Les eaux souterraines doivent être prélevées à différentes profondeurs et à des heures différentes pour obtenir des caractéristiques représentatives de la masse d'eau.

Un pompage préalable au prélèvement des échantillons pour analyse peut être nécessaire.

4.1.1 Matériel pour échantillonnage localisé

4.1.1.1 Généralités

Les échantillons localisés sont habituellement prélevés de façon manuelle dans les conditions décrites en 2.2. Le matériel le plus simple pour prélever les échantillons de surface est constitué d'un godet ou d'une bouteille à large col plongé dans la masse d'eau et halé une fois rempli.

Pour les eaux stratifiées, un échantillonnage ponctuel à des profondeurs définies, tel qu'il est décrit en 4.1.1.3, est recommandé. Un échantillonnage d'une section verticale tel qu'il est décrit en 4.1.1.2 peut être pratiqué s'il permet de connaître la qualité moyenne d'un profil vertical.

4.1.1.2 Matériel pour échantillonnage d'une section verticale

Cette technique de prélèvement nécessite un dispositif pour maintenir la bouteille submergée. La bouteille lestée est immergée dans l'eau à vitesse constante et se remplit simultanément tout au long du profil vertical.

Si l'échantillon doit être constitué de parties aliquotes égales à toutes les profondeurs, la vitesse d'immersion et d'émersion de la bouteille doit varier avec la profondeur. Il existe aussi des bouteilles à onfice variable qui maintiennent le débit constant par variation différentielle de pression. Un dispositif simple, mais sûr, est nécessaire pour attacher la bouteille au support.

4.1.1.3 Matériel pour échantillonnage ponctuel à profondeurs définies

En pratique, une bouteille lestée est bouchée et immergée dans la masse d'eau. À une profondeur préalablement choisie, le bouchon est ôté et la bouteille, remplie, est retirée. Il peut être nécessaire de considérer les effets de l'air ou d'autres gaz, car ils peuvent modifier les paramètres à examiner (par exemple oxygène dissous). Il existe des bouteilles spéciales d'échantillonnage qui préviennent ce problème (par exemple des bouteilles à évacuation).

Dans le cas de masses d'eau stratifiées, un cylindre de verre ou de plastique, ouvert aux deux extrémités peut être immergé pour l'obtention d'un profil vertical de la masse d'eau. À l'endroit du prélèvement, le cylindre est bouché aux deux bouts à l'aide d'un mécanisme avant d'être ramené à la surface (bouteille de prélèvement).

Essais des eaux Échantillonnage

Guide général sur les techniques d'échantillonnage

T 90-512

Septembre 1988

ISO 5667-2

AVANT-PROPOS

Les normes ISO 5667-1 et ISO 5667-3 mentionnées en introduction du présent fascicule de documentation correspondent respectivement aux fascicules de documentation T 90-511 et T 90-513 qui les reproduisent intégralement.

ISO 5667/2-1982 (F)

5.1 Matière du récipient

Les constituants chimiques de l'eau (paramètre à analyser) qui sont analysés pour évaluer la qualité de l'eau varient en concentration depuis des quantités inférieures au microgramme, des quantités traces jusqu'à des quantités importantes. De plus, des interactions entre les constituants, photo-décomposition, etc., exigent la réduction du temps de prélèvement et des restrictions quant à l'exposition à la lumière, la chaleur, etc. Un autre aspect pourrait être l'activité biologique. Les problèmes les plus fréquemment rencontrés sont ceux de l'absorption sur les parois des récipients, d'une contamination du récipient avant le prélèvement par un lavage inadéquat et d'une contamination de l'échantillon par la matière constitutive du récipient.

Le récipient doit préserver la composition de l'échantillon des pertes dues à l'absorption et à la volatilisation ou à des contaminations par des substances étrangères.

D'autres facteurs rendent difficile le choix du récipient à utiliser pour prélever et conserver l'échantillon : la résistance aux températures extrêmes, la résistance à la casse, la facilité de fermeture hermétique et de réouverture, la taille, la forme, la masse, la disponibilité, le coût, la possibilité de nettoyage et de réemploi, etc.

Pour la plupart des échantillons contenant des substances inorganiques, la pratique courante consiste à employer des récipients en plastique constitués de polyéthylène, de polymères de fluoroplastique et de polymères polycarbonatés. Le polyéthylène haute densité est considéré comme donnant grandement satisfaction pour l'analyse de la silice, du sodium, de l'alcalinité totale, des chlorures, de la conductance spécifique, du pH et de la dureté. Pour des substances sensibles à la lumière, du verre inactinique est employé. L'acier inoxydable a également été proposé pour les prélèvements à haute température et/ou haute pression, ou pour des substances organiques à l'état de traces.

En règle générale, les bouteilles en verre sont employées pour les composés organiques et les espèces biologiques, les récipients en plastique pour les radionucléides et pour les éléments qui constituent les composants principaux du verre. Il est important de noter que des matériels d'échantillonnage existants utilisent souvent des joints de néoprène et des valves lubrifiées à l'huile. De tels matériels ne sont pas satisfaisants pour l'analyse des substances organiques et l'analyse microbiologique.

Ainsi, en plus des caractéristiques d'ordre physique données ci-dessus, le récipient utilisé pour prélever et conserver les échantillons doit être choisi en fonction des critères principaux suivants, particulièrement lorsque les constituants à analyser sont présents à l'état de traces :

- Minimisation de la contamination de l'échantillon d'eau par la matière constitutive du récipient, par exemple, lessivage des constituants minéraux du verre (particulièrement le verre neutre) et des constituants organiques et métalliques des plastiques et des élastomères (bouchons avec capsule plastifiée en vinyl, joints en néoprène).
- Facilité de lavage et de nettoyage des parois du récipient, afin de réduire la contamination par des constituants à l'état de traces tels que les métaux lourds et les radionucléides.

5.3.2 Récipients d'échantillonnage particulier

En plus des considérations déjà mentionnées, le stockage des échantillons contenant des substances photosensibles, ainsi que des algues, nécessite une protection contre la lumière. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser des récipients composés de matériaux opaques ou de verre inactinique. De plus, ces récipients doivent être placés à l'abri de la lumière pour de longues périodes de stockage. Un problème particulier existe pour le prélèvement et l'analyse des échantillons contenant des gaz dissous ou des constituants qui seraient altérés par une aération. Les bouteilles à col étroit pour la mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO) sont bouchées à l'aide de bouchons coniques en verre, afin de minimiser l'introduction d'air, et des précautions particulières sont nécessaires pour maintenir la fermeture pendant le transport.

5.4 Nettoyage des récipients pour échantillons

5.4.1 Échantillons pour analyse chimique générale

Il est recommandé de nettoyer avec soin les récipients neufs afin de minimiser la contamination de l'échantillon. Le type de produit de nettoyage et la matière du récipient employés varient selon les constituants de l'échantillon à analyser. Généralement, les bouteilles en verre sont lavées à l'eau et au détergent afin d'éliminer la poussière et les matériaux d'emballage, puis sont lavées à l'aide d'une solution d'acide sulfochromique avant d'être rincées à l'eau distillée. Les détergents contenant des phosphates ne peuvent être employés si les phosphates doivent être dosés, pas plus que le lavage avec une solution d'acide sulfochromique si des traces de sulfates et de chrome doivent être dosées.

Il est recommandé de nettoyer le polyéthylène avec une solution d'acide chlorhydrique d'environ 1 mol/l, puis de le laisser tremper longuement dans une solution d'acide nitrique diluée.

Afin de déterminer l'importance d'une contamination éventuelle de l'échantillon par les constituants du récipient, de l'eau de grande pureté doit être ajoutée à un récipient maintenu dans des conditions de stockage identiques à celles de l'échantillon, et des parties aliquotes doivent être prélevées périodiquement et analysées.

5.4.2 Échantillons pour analyse des matières organiques

Les bouteilles en verre utilisées pour le dosage des substances organiques à l'état de traces ne doivent être nettoyées qu'avec des agents inorganiques. La bouteille en verre pourra être traitée avec un agent d'extraction seulement lorsque les substances à l'état de traces devront être dosées ultérieurement après extraction avec cet agent.

Dans de tels cas, les bouteilles, après le lavage usuel, doivent être séchées à l'étuve, refroidies, puis rincées avec le solvant d'extraction, par exemple de l'hexane ou de l'éther de pétrole et séchées par un courant d'air propre ou d'azote. Certains laboratoires utilisent une extraction à l'acétone pendant toute une nuit suivie d'un rinçage à l'hexane et d'un séchage comme décrit précédemment.

AVANT-PROPOS

Les normes ISO 5667-1 et ISO 5667-2 mentionnées dans l'introduction du présent fascicule de documentation correspondent respectivement aux fascicules de documentation T 90-511 et T 90-512 qui les reproduisent intégralement.

La norme ISO 6228 à laquelle il est fait référence correspond à la française NF T 20-059 qui la reproduit intégralement.

ISO 5667/3-1985 (F)

3.2.6 Ajout d'agents de préservation

AVERTISSEMENT – L'utilisation de chlorure de mercure(II) (HgCl_2) doit, sauf nécessité absolue, être évitée du fait de sa toxicité vis-à-vis de l'environnement. Dans le cas de son utilisation, il est nécessaire de prévoir la possibilité de traiter les résidus de l'analyse afin d'en récupérer le mercure (voir aussi ISO 6228, annexe C).

Il est rappelé que certains agents de préservation (par exemple, acides, chlorure de mercure(II), chloroformel) doivent être utilisés avec précautions compte tenu du danger présenté par leur manipulation. Les opérateurs doivent être avertis de ces dangers et des façons de s'en préserver.

Certains constituants peuvent être stabilisés par l'addition de composés chimiques soit directement dans l'échantillon après le prélèvement, soit au préalable, dans le récipient encore vide.

Des composés chimiques divers, à des concentrations également diverses, ont été proposés; les plus fréquemment utilisés sont

- les acides;
- les solutions basiques;
- les agents biocides;
- les réactifs particuliers, nécessaires pour la conservation spécifique de certains constituants (par exemple, le dosage de l'oxygène, des cyanures totaux et des sulfures nécessitent une fixation préalable de l'échantillon sur le lieu du prélèvement (voir les Normes internationales d'analyse correspondantes)).

Il ne faut pas que les agents de préservation utilisés interfèrent lors de la détermination analytique; des essais destinés à vérifier leur compatibilité sont nécessaires en cas de doute. On devra tenir compte, lors de l'analyse et du calcul des résultats, de toute dilution de l'échantillon par ajout d'agents de préservation.

Il est préférable que l'addition des agents de préservation se fasse sous forme de solutions assez concentrées de manière que seulement des petits volumes soient nécessaires, ce qui permet, dans la plupart des cas, de négliger la dilution correspondante.

Tableau – Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons

(Les informations fournies dans ce tableau ne constituent qu'un guide général pour la conservation des échantillons. La nature complexe des eaux naturelles et des eaux résiduaires nécessite que soit vérifiée, avant analyse, la stabilité de chaque type d'échantillon traité selon les modalités proposées ci-après.)

A. Analyses physico-chimiques et chimiques					
1	2	3	4	5	6
Paramètre à étudier	Nature du récipient P = Polyéthylène V = Verre VB = Verre borosilicaté	Technique de conservation	Lieu de l'analyse	Durée de conservation maximale recommandée avant analyse (Si aucune durée de conservation n'est indiquée, celle-ci est en principe sans importance. L'indication « 1 mois » correspond à une conservation sans problème particulier.)	Observations
Acidité et alcalinité	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Les échantillons doivent être analysés de préférence sur le lieu même du prélèvement (particulièrement lorsqu'ils sont riches en gaz dissous).
Agents de surface ioniques	V	Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄ et réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	48 h	
Agents de surface non ioniques	V	Ajout de formaldéhyde à 40 % (V/V), pour avoir une solution à 1 % (V/V), réfrigérer entre 2 et 5 °C et s'assurer que le récipient d'échantillonnage est complètement rempli.	Laboratoire	1 mois	
Aluminium filtrable ¹⁾	P	Filtration sur le lieu du prélèvement et acidification du filtrat à pH < 2	Laboratoire	1 mois	L'aluminium filtrable ¹⁾ et celui fixé sur les matières en suspension peuvent être déterminés sur le même échantillon.
fixé sur les matières en suspension		Filtration sur le lieu du prélèvement	Laboratoire	1 mois	L'aluminium filtrable sur le filtrat acidifié et l'aluminium fixé sur les matières en suspension peuvent être déterminés sur le résidu retenu par le filtre.
total		Acidification à pH < 2	Laboratoire	1 mois	
Argent	P ou VB	Voir Aluminium			Ne pas utiliser HCl.
Arsenic	P ou V	Acidification à pH < 2	Laboratoire		Cette technique est à employer si des arséniures sont supposés être présents dans des échantillons d'eaux usées domestiques ou industrielles.
	P	Alcalinisation à pH = 12	Laboratoire		

1) filtrable: Désigne celui qui passe à travers un filtre.

ISO 5667/3-1985 (F)

Tableau – Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

1	2	3	4	5	6
Azote ammoniacal et azote Kjeldhal	P ou V	Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄ et réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	L'ajout d'un bactéricide (par exemple, allylthiouurée, bien que l'addition d'un excès doive être évitée) peut éventuellement être envisagé afin de bloquer le métabolisme des bactéries nitrifiantes. Utiliser dans ce cas un récipient en verre.
		Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	6 h	Pour des concentrations inférieures à 1 mg/l, il est nécessaire d'analyser sur place.
Azote nitreux	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	Le plus tôt possible	Pour certaines eaux résiduaires, l'échantillon ne peut être conservé et il est nécessaire d'effectuer l'analyse sur place.
Azote nitrique	P ou V	Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄ et réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Pour certaines eaux résiduaires, l'échantillon ne peut être conservé et il est nécessaire d'effectuer l'analyse sur place.
Baryum	P ou VB	Voir Aluminium			Ne pas utiliser H ₂ SO ₄ .
Bore et borates	P		Laboratoire	Plusieurs mois	
Bromures et composés de brome	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	Le plus tôt possible	Les échantillons ne doivent pas être exposés à la lumière solaire directe.
Cadmium	P ou VB	Voir Aluminium			
Calcium	P ou V	–	Laboratoire	24 h	
		Acidification à pH < 2	Laboratoire	Plusieurs mois	L'acidification (ne pas utiliser H ₂ SO ₄) permet de doser le calcium sur le même échantillon que les autres métaux.
Carbone organique	V	Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄ et réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	La technique de conservation dépend de la méthode d'analyse qui sera utilisée. Le mesurage doit être effectué le plus tôt possible. La congélation (- 20 °C) peut être utilisée dans certains cas.
Chlore résiduel	P ou V	–	Sur place	–	L'analyse doit être effectuée sur place.
Chlorure	P ou V	–	Laboratoire	Plusieurs mois	
Chrome(VI)	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	Le plus tôt possible	Une filtration sur place sur verre fritté est obligatoire.
Chrome total	P ou VB	Voir Aluminium			
Cobalt	P ou VB	Voir Aluminium			
Conductivité	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Le mesurage doit être effectué de préférence sur place.
Couleur	P ou V	–	Sur place	–	
		Réfrigération entre 2 et 5 °C et maintien à l'obscurité	Laboratoire	24 h	
Cuivre	P ou VB	Voir Aluminium			

Tableau — Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (*suite*)

1	2	3	4	5	6
Cyanures totaux	P	Alcalinisation à pH > 12 avec NaOH	Laboratoire	24 h	
Cyanures facilement libérables	P	La technique de conservation dépend de la méthode d'analyse qui sera utilisée.			
DBO	P ou V (Le verre est préférable dans le cas de faibles DBO.)	Réfrigération entre 2 et 5 °C et maintien à l'obscurité	Laboratoire	Le plus tôt possible	
		Congélation à - 20 °C	Laboratoire	1 mois	
DCO	P ou V (Le verre est préférable dans le cas de faibles DCO.)	Réfrigération entre 2 et 5 °C et maintien à l'obscurité	Laboratoire	Le plus tôt possible	L'acidification est particulièrement recommandée quand la DCO est due à la présence de matières organiques.
		Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄	Laboratoire	2 jours	
		Congélation à - 20 °C	Laboratoire	1 mois	
Détergents	Voir Agents de surface				
Dioxyde de carbone	P ou V	—	Sur place		
Dureté totale		Voir Calcium		1 à 3 jours	
Étain	P ou VB	Voir Aluminium			
Extrait sec	Voir Résidus totaux				
Fer(II)	P ou VB	Acidification à pH < 2 avec HCl et exclusion de l'oxygène de l'air	Sur place	1 semaine	
Fer total	P ou VB	Voir Aluminium			
Fluorescéine	Voir Traceurs fluorescents				
Fluorures	P	—	Laboratoire	Plusieurs mois, à condition que l'échantillon soit neutre	
Graisses, huiles, hydrocarbures	Verre lavé aux solvants	Acidification à pH < 2, extraction sur place, si possible	Laboratoire	24 h	Il est recommandé d'ajouter immédiatement après le prélèvement l'agent d'extraction utilisé par la méthode d'analyse ou d'effectuer sur place l'extraction.
Hydrazine	V	Acidification avec HCl à 1 ml/l (100 ml par litre d'échantillon) et maintien à l'obscurité	Laboratoire	24 h	
Hydrogéné-carbonates	Voir Alcalinité				
Indice de diffusion	Voir Turbidité				
Iodures	Verre inactif	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Les échantillons ne doivent pas être exposés à la lumière solaire directe.
		Alcalinisation à pH = 8	Laboratoire	1 mois	
Lithium	P	—	Laboratoire	7 jours	L'acidification permet de doser le lithium sur le même échantillon que les autres métaux.
		Acidification à pH < 2	Laboratoire	Plusieurs mois	
Magnésium	P ou VB	Voir Calcium			
Manganèse	P ou VB	Voir Aluminium			
Matières en suspension et matières sédimentaires	P ou V	—	Laboratoire	24 h	Le mesurage doit être effectué le plus tôt possible et de préférence sur place.

ISO 5667/3-1985 (F)

Tableau — Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

1	2	3	4	5	6
Mercuré total	VB	Acidification à pH < 2 avec HNO ₃ et ajout de K ₂ Cr ₂ O ₇ (concentration finale 0,05 % (m/m))	Laboratoire	Plusieurs mois	Procéder particulièrement soigneusement pour s'assurer que les récipients pour échantillons sont exempts de contamination
Métaux lourds (à l'exception du mercure)	P ou VB	Voir Aluminium			
Nickel	P ou VB	Voir Aluminium			
Odeur	V	—	Laboratoire	6 h	La détermination doit être effectuée de préférence sur place.
Oxygène	P ou V	—	Sur place	—	
		Fixation de l'oxygène sur place et maintien à l'obscurité	Laboratoire	4 jours au plus	Fixer l'oxygène conformément au mode d'analyse utilisé.
Ozone	—	—	Sur place	—	
Pesticides organochlorés	V	Réfrigération à 4 °C	Laboratoire	7 jours	Il est recommandé d'ajouter immédiatement après le prélèvement l'agent d'extraction utilisé par la méthode d'analyse ou d'effectuer sur place l'extraction.
Pesticides organophosphores	V	Réfrigération à 4 °C	Laboratoire	24 h	Il est recommandé d'ajouter immédiatement après le prélèvement l'agent d'extraction utilisé par la méthode d'analyse ou d'effectuer sur place l'extraction.
Pétroles et dérivés	Voir Graisses, huiles, hydrocarbures				
pH	P ou V	—	Sur place	—	Le mesurage doit être effectué le plus tôt possible et de préférence sur place immédiatement après le prélèvement.
		Transport à température inférieure à la température initiale	Laboratoire	6 h	
Phénols	VB	Inhibition de l'oxydation biochimique à l'aide de CuSO ₄ et acidification avec H ₃ PO ₄ ou alcalinisation à pH > 11 avec NaOH	Laboratoire	24 h	La technique de conservation dépendra de la méthode d'analyse utilisée.
Phosphates-ortho	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	L'analyse doit être effectuée le plus tôt possible. L'échantillon doit être filtré immédiatement pour l'analyse des phosphates dissous.
Phosphore total	P ou V	—	Laboratoire	24 h	
		Acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄	Laboratoire	Plusieurs mois	
Plomb	P ou VB	Voir Aluminium			
Potassium	Voir Lithium				
Putrescibilité (essai au bleu de méthylène)	V	Transport à température inférieure à la température initiale Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Le mesurage doit être effectué le plus tôt possible et de préférence sur place à 20 °C.

Tableau — Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

1	2	3	4	5	6
Résidus totaux (extrait sec)	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	L'échantillon doit être placé le plus tôt possible dans la capsule qui sera utilisée pour le mesurage.
Sélénium	P	Alcalinisation à pH > 11 avec NaOH	Laboratoire	Plusieurs mois	
Silicates	P	Réfrigération entre 2 et 5 °C Filtration et acidification à pH < 2 avec H ₂ SO ₄	Laboratoire	24 h	
Silicium total	P	—	Laboratoire	Plusieurs mois	
Sodium	Voir Lithium				
Sucres	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	24 h	Cette technique de conservation est liée à une méthode de dosage enzymatique par glucose oxydase.
		Ajout de formaldéhyde à 30 % (m/m) (5 ml pour 100 ml d'échantillon) et réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	1 mois	
Sulfates	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	1 semaine	
Sulfites	P ou V	Fixation sur place par addition de 1 ml d'une solution à 2,5 % (m/m) d'EDTA pour 100 ml d'échantillon	Laboratoire	1 semaine	
Sulfures	P ou V	Traitement avec 2 ml de (CH ₃ CO ₂) ₂ Zn à 1 mol/l 2 ml de NaOH à 1 mol/l	Laboratoire	1 semaine	
Traceurs fluorescents	P (Récipient opaque de préférence)	—	Laboratoire	1 mois	
Turbidité	P ou V	—	Laboratoire	Le plus tôt possible	La détermination doit être effectuée de préférence sur place.
Uranium	P ou VB	Voir Aluminium			
Zinc	P ou VB	Voir Aluminium			

ISO 5667/3-1985 (F)

Tableau — Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

B. Analyse microbiologique					
1	2	3	4	5	6
Dénombrement des germes totaux Coliformes totaux Coliformes fécaux Streptocoques fécaux Salmonelles Shigella etc.	Récipient stérile	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	6 h (eaux de surface, boues et eaux potables)	<p>Pour des eaux chlorées ou bromées, l'échantillon doit être recueilli dans un flacon contenant (préalablement à sa stérilisation) du thiosulfate de sodium (en général 0,1 ml d'une solution à 10 % (m/m) de Na₂S₂O₃ pour 125 ml d'échantillon).</p> <p>Pour des eaux contenant des concentrations en métaux lourds supérieures à 0,01 mg/l, ajouter dans le récipient (préalablement à sa stérilisation) 0,3 ml d'EDTA à 15 % (m/m) pour 500 ml d'échantillon.</p>

Tableau – Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

C. Analyse biologique					
<p>Les paramètres biologiques à déterminer sont généralement nombreux et peuvent parfois varier d'une espèce biologique à l'autre. C'est pourquoi, il est impossible de dresser un bilan exhaustif de toutes les précautions qui doivent être prises pour conserver les échantillons destinés à ce type d'analyse. Les indications fournies ci-dessous ne concernent donc que certains paramètres généralement étudiés sur divers groupes d'animaux ou de végétaux.</p> <p>Il est rappelé qu'avant de mener toute étude approfondie, il est indispensable de sélectionner les paramètres d'intérêt</p>					
1	2	3	4	5	6
Comptage et identification					
Macro-invertébrés benthiques					
– grands échantillons	P ou V	<p>Ajout d'éthanol à 70 % (V/V)</p> <p>Ajout d'un volume approprié de formaldéhyde à 40 % (V/V) neutralisé (au borate de sodium) pour donner une solution à 2 à 5 % (V/V)</p>	<p>Laboratoire</p> <p>Laboratoire</p>	<p>1 an</p> <p>1 an</p>	<p>L'eau dans les échantillons doit d'abord être décantée pour obtenir une concentration maximale de conservation</p>
– petits échantillons (par exemple, collections de référence)	V	<p>Transvasement dans une solution de conservation renfermant de l'éthanol à 70 % (V/V), du formaldéhyde à 40 % (V/V) et du glycérol (dans les proportions, respectivement de 100 + 2 + 1)</p>	Laboratoire	Indéfiniment	<p>Des méthodes spéciales sont requises pour les groupes invertébrés qui sont décomposés par un traitement de conservation normal (par exemple Platyhelminthes et Hirundinea) [1]</p> <p>AVERTISSEMENT – Prendre garde aux vapeurs de formaldéhyde – Ne pas conserver un grand nombre d'échantillons dans les zones de travail.</p>
Periphyton	V	<p>Ajout de 100 parties en volume de solution de Lugol à 1 partie en volume d'échantillon (la solution de Lugol renferme 150 g d'iode de potassium, 100 g d'iode et 18 ml d'acide acétique ($\rho = 1,049 \text{ g/ml}$) par litre et est conservée dans un flacon en verre foncé)</p>	Laboratoire	1 an	<p>Conservé les échantillons à l'obscurité</p>
Phytoplancton	V	Voir Periphyton	Laboratoire	1 an	<p>Conservé les échantillons à l'obscurité</p>
Zooplancton	V	<p>Ajout de formaldéhyde à 40 % (V/V) pour donner de la formaline à 4 % (V/V) ou addition de solution de Lugol</p>	Laboratoire	1 an	<p>Un ajout supplémentaire de solution de Lugol peut être nécessaire si une décoloration se produit.</p>

[1] SCHWOERBEL, J. *Methods of hydrobiology (Freshwater Biology)* Oxford, Pergamon, 1970, 200 pp

ISO 5667/3-1985 (F)

Tableau – Techniques généralement convenables pour la conservation des échantillons (suite)

1	2	3	4	5	6
Masse fraîche et sèche Macro-invertébrés benthiques Macrophytes Periphyton Phytoplancton Zooplancton Poissons	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C —	Sur place ou laboratoire Sur place	24 h	Ne pas congeler à - 20 °C. L'analyse doit être effectuée le plus tôt possible et pas au-delà de 24 h.
Taux de cendres Macro-invertébrés benthiques Macrophytes Periphyton Phytoplancton	P ou V	Filtration et réfrigération entre 2 et 5 °C Congélation à - 20 °C Congélation à - 20 °C Filtration et congélation à - 20 °C	Laboratoire Laboratoire Laboratoire Laboratoire	6 mois 6 mois 6 mois 6 mois	
Calorimétrie Macro-invertébrés benthiques Phytoplancton Zooplancton	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C puis filtration et stockage dans un dessiccateur	Laboratoire	24 h	L'analyse doit être effectuée de préférence le plus tôt possible et en tout cas avant 24 h.
Essais de toxicité	P ou V	Réfrigération entre 2 et 5 °C	Laboratoire	36 h	La période de conservation varie suivant la méthode d'analyse utilisée.
		Congélation à - 20 °C	Laboratoire	36 h	