



MÉTHODE	VERSION	DATE D'ENTRÉE EN VIGUEUR
P-3	3	10-12-2023
Placement de piézomètres et techniques d'équipements		

DESCRIPTIF		
Paramètres		
Références normatives	NF X 31-614	2017

DOMAINE D'APPLICATION	
Matrice	Eaux souterraines

1. Objet

Cette méthode présente les bonnes pratiques en matière de forages destiné à l'équipement des piézomètres pour la surveillance environnementale des sites (potentiellement) pollués. Les bonnes pratiques en matière de prélèvements sont décrites à la P4.

2. Procédure

2.1 Techniques de forages

Le choix de la technique de forage utilisée est lié à la nature des formations géologiques ou anthropiques à traverser et aux dimensions (diamètre et profondeur) de l'ouvrage à placer.

De manière générale, les techniques utilisées devront éviter de perturber le milieu en place. La mise en œuvre de fluides de forages est à éviter.

Les forages réalisés avec un outil de petit diamètre ne permettent généralement pas de placer des piézomètres dans le respect des bonnes pratiques (cf. P4). Cependant, dans le cadre d'études environnementales, l'utilisation d'une gouge à percussion de diamètre faible (60mm ou 2") est fréquente et admise. Il revient à l'expert de tenir compte des limites de cette technique (espace annulaire trop petit, colmatage des crépines et mauvaise alimentation, utilisation ou non de chaussette, quantité limitée de sol à



échantillonner).

2.1.1 Formations meubles

En zone non saturée, la cohérence des terrains meubles limoneux ou argileux est suffisante pour éviter l'éboulement du trou de forage. En zone saturée, toutes les formations meubles ont tendance à s'ébouler. La technique de forage la mieux adaptée à ces terrains est le battage d'une gouge (ou cuiller) à sec avec tubage à l'avancement. De plus, cette technique permet aussi de récupérer les échantillons de sol pour analyse.

Lorsqu'un forage en terrain meuble (par ex. sable) doit être poursuivi plusieurs mètres sous le niveau statique de la nappe, de l'eau de distribution peut être ajoutée pour **éviter les remontées de sédiments dans le tubage et l'ensablement de l'outil de forage**. Il est alors primordial de consigner le volume utilisé et d'en tenir compte lors du développement de l'ouvrage.

2.1.2 Formations cohérentes

Si la nappe à échantillonner se trouve en terrain cohérent, il faut généralement stabiliser les terrains de couvertures par la mise en place d'un avant-puits ou d'un tubage à l'avancement (voir 2.3.6). A moins d'utiliser un carottier diamanté, les techniques courantes sont destructives et ne permettent qu'une analyse visuelle partielle des terrains traversés. Les échantillons de sol prélevés ne sont pas représentatifs pour des analyses chimiques pertinentes.

L'emploi de technique avec lubrifiant ou boues de forage est à éviter. Les fluides de transport à privilégier pour la remontée des déblais sont l'air et l'eau. Ils doivent cependant être évités si possible.

Les méthodes de forages usuelles dans le contexte d'étude environnementale du sol et de l'eau souterraine sont détaillées dans la méthode P6.

2.2 Prévention des pollutions

2.2.1 Pollution par le matériel mis en œuvre

L'état du matériel doit être contrôlé régulièrement afin d'éviter toute pollution (carburant, fluides hydrauliques, lubrifiants). Un kit anti-pollution peut être tenu à disposition. Le matériel doit être nettoyé entre chaque forage (avec une brosse et/ou de l'eau). **Le nettoyage à l'eau est obligatoire entre chaque forage lorsque de la pollution est observée ou que le sol est humide et adhère à l'outil de forage**. Dans ce cas, l'utilisation d'une brosse ou d'une spatule ne suffit pas à éviter des pollutions de l'eau via transport de sol pollué entre forages. Lorsque le matériel est souillé par des composés huileux, peu solubles dans l'eau, du savon peut être ajouté à l'eau. De l'acétone imbibée sur un tissu peut également être utilisé pour frotter les derniers résidus présents sur le matériel. Cette pratique présente l'avantage de maintenir la zone de travail propre et sèche.

L'emploi de lubrifiant est parfois nécessaire à la mise en place d'un tubage ou entre les éléments du train de tige. Dans ce cas, des lubrifiants à base d'huiles végétales doivent être utilisés. Une attention particulière sera portée au développement du puits, exécuté rapidement après son installation.



En cas de pré-forage d'une surface dure à l'aide d'une scie cloche, les eaux de lubrification ne peuvent pas être évacuées dans le trou de forage.

2.2.2 Pollution par les déblais de forage

Il est vivement déconseillé d'utiliser les déblais dont la contamination est avérée pour remblayer l'espace annulaire lors du placement d'un piézomètre. Ils doivent être évacués du site et traité comme un déchet, vers la filière adéquate.

2.2.3 Pollution par mélange de nappes

Si deux nappes sont superposées, il faut veiller à ne pas les mettre en communication afin d'éviter toutes contaminations croisées.

Si seule la nappe supérieure est ciblée, **il est recommandé de ne pas percer l'horizon peu perméable (mur de l'aquifère)**. Le cas échéant, il faut rapidement remblayer le puits avec de l'argile gonflante jusqu'à la base de l'horizon peu perméable pour reconstituer le mur de l'aquifère.

Si seule la nappe inférieure est ciblée, le forage devra être réalisé avec tubage à l'avancement. Un avant-puits pourrait aussi être installé (voir 2.3.6).

2.2.4 Utilisation de fluides de forage

Dans le cadre des investigations de sites pollués, les mousses et boues minérales ou biodégradables doivent être évitées. L'air et l'eau sont les fluides à privilégier.

Si l'emploi de ces fluides est toutefois nécessaire, le bureau d'étude doit s'assurer de l'absence d'interférence possible avec les substances recherchées. La qualité de l'eau souterraine ne doit pas être altérée. Pour de plus amples informations, le lecteur est renvoyé à la norme NF-X 31 614.

2.3 Géométrie de l'ouvrage et matériaux employés

2.3.1 Dimension du forage et de l'équipement du puits

Le diamètre choisi influe directement sur les coûts de forage et sur celui de l'échantillonnage des eaux souterraines. Il est dépendant de la profondeur de la nappe à échantillonner qui déterminera le type de pompe à utiliser. Le diamètre de forage doit tenir compte du diamètre nominal de la (des) pompe(s) choisie(s) et de l'encombrement des sondes piézométriques, échantillonneurs, etc. La présence de câbles électriques, brides et attaches diverses doit également être prise en compte. Plus le forage est profond, plus le diamètre de forage et d'équipement doit être large pour permettre le passage des outils nécessaires à un prélèvement en bonne et due forme.



Au minimum, le diamètre du tubage piézométrique doit être égal à la moitié de celui du forage. Pour des ouvrages utilisés à long terme (monitoring et assainissement par ex.), le diamètre de forage doit garantir une épaisseur de massif filtrant suffisant (35mm, voir § 2.3.4).

L'épaisseur du tubage doit être suffisante pour assurer une bonne résistance.

La profondeur de l'ouvrage doit être adaptée aux objectifs recherchés (surnageant, polluant dense, nappe moyenne). La hauteur d'eau dans le piézomètre doit également être suffisante pour une alimentation correcte qui évitera le démergement et l'ensablement de la pompe.

2.3.2 Nature des matériaux d'équipement

Les matériaux qui participent à l'équipement du puits, (tubage, bouchon, filtre) doivent être neutres vis-à-vis du milieu et des paramètres analytiques suivis.

Les tubages piézométriques sont habituellement fabriqués en PVC ou en PEHD.

Dans un contexte de pollution des eaux par des hydrocarbures chlorés, le PVC est à éviter car ces polluants attaquent sévèrement ce matériau. Bien que dans la pratique le PEHD soit préféré au PVC en présence de composés chlorés, les sources consultées ne s'accordent pas sur la résistance chimique du PEHD à ces composés (voir Annexe B NF X31-614).

Les tubages vissés sont plus résistants que les tubages collés. Par ailleurs, des solvants issus des colles peuvent également contaminer les échantillons d'eau. L'utilisation des tubes collés est donc proscrite.

Hormis lorsqu'un avant-puits est souhaité, les tubages en acier (simple ou inox) permanents sont peu utilisés dans un contexte de suivi environnemental de la qualité des eaux souterraines. Pour de plus amples informations, le lecteur est renvoyé vers la norme AFNOR NF X31-614.

2.3.3 Types de crépines et positionnement dans le forage

Les crépines ont théoriquement une ouverture optimale en rapport avec la granulométrie du terrain concerné : **plus la granulométrie des sédiments est fine, plus l'ouverture des crépines doit être faible.**

L'efficacité hydraulique d'une crépine dépend principalement de l'importance de la surface des ouvertures par unité de surface. Le choix doit donc être porté vers celle qui, en fonction de la granulométrie de la formation aquifère, permet d'empêcher la venue des particules fines qui pourrait colmater le piézomètre, de préserver la pompe et permettre le prélèvement d'échantillon fiable.

Dans les piézomètres peu profonds, en terrains meubles, il est prudent de choisir une largeur de fente faible (0,1 à 0,5mm) pour garantir une meilleure filtration des particules de sol fines. Dans les piézomètres profonds, en terrains cohérents, la largeur des fentes peut être plus large (1 à 2 mm).

Le positionnement des crépines dans le forage dépend de :

- La nature des formations aquifères à contrôler ;
- La nature des substances recherchées ;



- La distance entre le forage et la source de pollution.

A moins qu'une couche libre (LNAPL) soit suspectée, il faut **privilégier le positionnement des crépines en zone saturée uniquement (crépines non-coupantes)**. De cette façon, l'oxydation et/ou la volatilisation de certains polluants est évitée. Dans ce cas, la crépine sera positionnée au moins 1,0 m sous le niveau d'eau rencontré en cours de forage.

Influence de la nature des formations aquifères à contrôler

Pour les aquifères homogènes et peu épais (de l'ordre de 5 à 10m), une crépine implantée sur toute l'épaisseur de la colonne d'eau est recommandée.

Dans le cas d'aquifères superposés indépendants, liés à des alternances de formations continues perméables et peu perméables bien distinctes et régulières, il faut implanter un forage de contrôle distinct pour chaque formation perméable à étudier. Lors du forage, il faudra prendre soin de ne pas percer les niveaux peu perméables pour éviter toute dispersion verticale de la pollution.

Lorsqu'un gradient vertical de pollution est suspecté dans la nappe, plusieurs techniques sont envisageables :

- Réalisation d'un forage unique comprenant plusieurs piézomètres, chacun étant crépiné à des profondeurs différentes. Les différentes zones sont isolées par des bouchons de ciment ou d'argile. Cette technique est généralement limitée à des ouvrages relativement peu profonds pour lesquels le diamètre requis pour les piézomètres est faible (1" ou 2").
- Réalisation de plusieurs ouvrages voisins à différentes profondeurs, notamment lorsque le diamètre de forage est limité et que l'aquifère est profond (diamètre d'équipement 3" ou 4", voire plus).
- Equipement avec une alternance de crépines courtes et de zones de tubes pleins, réparties sur toute l'épaisseur de l'aquifère. Lors de l'échantillonnage, ce type de piézomètre demande l'utilisation de « packers » hydrauliques ou pneumatiques pour isoler les différentes couches. Cette technique est envisageable, notamment en milieu fissuré ou le réseau des fissures constitue un aquifère réservoir pour lequel les écoulements dans le forage se font à diverses profondeurs (à identifier lors du forage).

Influence de la nature des substances recherchées

Pour la recherche de phase non aqueuse, moins dense que l'eau (couche flottante ou LNAPL), le haut de la crépine doit être placé au niveau de la frange capillaire en période de plus hautes eaux (crépines coupantes).

La base de la crépine doit être placée suffisamment bas sous le niveau piézométrique supposé en période d'étiage. De cette façon, la phase libre pourra être interceptée en toute circonstance. Néanmoins, la délimitation verticale ne doit pas être recherchée au droit d'une zone où une couche de produit est présente.

Pour la recherche de substances en phase non aqueuse, plus dense que l'eau (couche plongeante ou DNAPL), le bas de la crépine doit être placé dans la partie inférieure du forage. Celui-ci doit avoir atteint le mur de l'aquifère.

Influence de la distance entre le forage et la source de pollution

Un panache de pollution dissoute se déplace horizontalement dans le sens d'écoulement général de la nappe ou de la topographie du mur de l'aquifère mais aussi verticalement par advection, diffusion, dispersion et sous l'effet de la recharge pluviométrique. Dans les aquifères épais et peu profonds, l'effet de la recharge peut être important. Dans ce cas, la profondeur d'un forage destiné à suivre l'évolution d'un panache de pollution est d'autant plus



grande qu'il est éloigné de la source de pollution. En cas de dispersion selon la topographie du mur de l'aquifère (polluants denses), les piézomètres doivent atteindre la base de l'aquifère.

Avantages et inconvénients d'une crépine longue lors des prélèvements d'eau

Pour être sûr d'intercepter une éventuelle pollution, une crépine positionnée sur toute l'épaisseur de l'aquifère est nécessaire :

- Dans le cas d'aquifère peu épais ;
- Lorsque les pollutions engendrées ont des propriétés physico-chimiques différentes (solubilité, densité);
- Lorsque que l'étude hydrogéologique préalable ne permet pas de prévoir avec certitude la direction des écoulements ;
- Lorsque la présence d'une pollution doit être confirmée le plus rapidement possible.

Si l'aquifère est épais et la pollution confinée à une zone limitée, ce type de crépines présente l'inconvénient de **diluer fortement les eaux propres et les eaux polluées du panache.**

2.3.4 Massif filtrant et bouchon d'argile gonflante

Le massif filtrant a pour mission d'**empêcher la venue de particules fines issues de la formation aquifère dans le forage, tout en facilitant le transfert de l'eau de la nappe vers la crépine.** Les matériaux qui constituent le massif filtrant sont habituellement des graviers ou des sables siliceux roulés, lavés et calibrés. Le massif filtrant, tout comme le bouchon d'argile, ne doivent pas être altérables dans le milieu. D'une manière générale, on peut estimer que le diamètre des particules les plus fines du massif filtrant doit être au moins deux fois supérieur à la largeur des ouvertures de la crépine.

Le massif filtrant doit être placé sur toute la hauteur de la partie crépinée augmentée de 10% pour couvrir le tassement, avec un minimum de 50cm au-dessus du sommet de la crépine.

Pour les piézomètres de 1" à 5", la norme NF X 31 614 recommande un massif filtrant de 35mm d'épaisseur minimum. Tenant compte d'un diamètre de forage équivalent à deux fois le diamètre d'équipement (voir §4.1), les recommandations de la norme ne sont pas respectées pour les piézomètres de diamètre intérieur 1" et 2", installés couramment dans le cadre des études environnementales. Sans considération de l'épaisseur du tube, l'espace annulaire est réduit à environ 12,5mm et 25,4mm d'épaisseur autour du tube, ce qui est peu et favorise l'installation de piézomètres mal alimenté. En considérant le respect des 2 règles (diamètre de forage et 35mm de massif filtrant), l'épaisseur de massif filtrant est suffisante à partir d'un diamètre d'équipement de 3".

Pour les diamètres 1" et 2", l'ISSeP a donc choisi d'**imposer** un diamètre de forage équivalent au minimum à 2X le diamètre intérieur du piézomètre. Le respect de l'épaisseur de massif filtrant de 35mm est une **recommandation** pour les piézomètres 1" et 2", en particulier si les piézomètres sont utilisés à long terme (monitoring par ex.).

Les caractéristiques du massif filtrant doivent être adaptées à la granulométrie et à la nature lithologique de l'encaissant.

Les chaussettes synthétiques ne sont utiles que lorsque les horizons traversés sont constitués de matériaux très fins et que le massif filtrant n'est pas suffisant à limiter leur venue dans le piézomètre (cas des piézomètres 1" avec espace annulaire réduit par ex.).



Les diamètres minimaux de forage imposés et recommandés sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Diamètre minimum intérieur du piézomètre	Épaisseur minimale du massif filtrant	Diamètre minimum du trou de forage
1" (25,4mm)	12,5mm	50,8 mm (imposition)
	35mm	95mm (recommandation)
2" (50,8mm)	25,4mm	101,6mm (imposition)
	35mm	120mm (recommandation)
3" (76,2mm)	38,1mm	152,4 mm (imposition)
4" (101,6mm)	50,8mm	203,2 mm (imposition)
5" (127mm)	63,5mm	254 mm (imposition)

Un bouchon d'argile gonflante est mis en place dans l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant sur au moins 1m. Le coefficient de gonflement de l'argile sera d'au moins 3. L'introduction d'eau dans l'espace annulaire est utile afin de permettre le gonflement des argiles.

2.3.5 Matériaux de déblais

Après la mise en œuvre du massif filtrant et du bouchon d'argile, le reste de l'espace annulaire peut être remblayé à l'aide des déblais extrait du forage, pour autant qu'ils ne soient pas pollués. Idéalement, les déblais sont utilisés de sorte à reconstituer les horizons de sol rencontrés en cour de forage.

Les déblais non pollués qui n'auraient pas pu être utilisés peuvent être laissés sur place, si possible. **Les déblais pollués sont évacués du site le plus rapidement possible pour une élimination en centre de traitement.** S'ils doivent être stockés temporairement, il faut éviter la percolation d'eau de pluie en stockant les déblais sur une base étanche et en les couvrant d'une bâche.

2.3.6 Avant-puits et tubage à l'avancement

L'avant-puits à large diamètre peut être installé lors de l'exécution de puits profonds (plus de 20m) et dans deux cas :

- **Pour traverser des terrains meubles boulant et arriver sur les formations aquifères cohérentes ;**
- **Pour soustraire une tranche de terrains aquifères ou non du forage piézométrique proprement dit.**

Le trou est alors équipé d'un tubage d'un diamètre légèrement inférieur au diamètre de forage. Pour isoler une nappe captive, le tubage doit être descendu jusqu'à un terrain consolidé ou à défaut jusqu'au toit de l'aquifère. L'espace annulaire est rempli par au moins un mètre d'argile gonflante à la base (granulés ou poudre en vrac). Il est ensuite cimenté sur le reste de la hauteur par injection d'un mélange de ciment Portland (2/3) et d'eau (1/3). Le volume de ciment à fabriquer est calculé en ajoutant un coefficient minimum de 30% par rapport au volume



théorique. Ce coefficient peut être plus important en terrain faillé. Après prise, le forage est continué avec un diamètre inférieur.

Le tubage à l'avancement est provisoire et doit être retiré progressivement en cours d'équipement du puits. Lorsqu'il existe plusieurs niveaux aquifères, la mise en place de cimentations successives est nécessaire pour éviter les mélanges d'eau. Le télescopage de tubages est alors requis.

2.4 Développement du piézomètre après équipement

Le développement sert à **mobiliser activement la colonne d'eau pour éliminer les éventuels colmatages et les particules fines accumulées dans le puits**. Le développement (ou nettoyage du puits) permet d'élargir les voies de circulation de l'eau souterraine proche du forage en les décolmant. **Il doit être poursuivi jusqu'à obtention d'une eau la plus claire possible, compte tenu du contexte environnemental et géologique**. La diminution de la charge en suspension dans l'eau peut être évaluée à l'aide de mesure de la turbidité. Le développement doit être réalisé **le plus rapidement possible** après l'équipement du piézomètre pour **éviter les colmatages irréversibles**, et au maximum dans les 7 jours. Dans le cas d'aquifères superposés séparés par un horizon peu perméable reconstitué à l'aide d'argile gonflante, un délai de 1 à 3 jours est admis pour permettre une étanchéité optimale du bouchon bentonitique. Il existe de nombreuses techniques pour développer un piézomètre. L'ISSeP privilégie la méthode la plus répandue : **l'utilisation d'une pompe à débit élevé pour induire un rabattement maximum**. Lors du pompage, la pompe peut être descendue à plusieurs paliers successifs à débit constant jusqu'à l'obtention d'eau claire.

Lorsque de l'eau a été utilisée pour faciliter la réalisation du forage, le volume d'eau doit être connu. Le volume pompé dans le cadre du développement doit au moins dépasser le volume d'eau injecté.

Si elles sont propres ou modérément contaminées, les eaux pompées sont rejetées à l'égout si possible. En l'absence d'égout, les eaux propres sont déversées à une distance suffisante pour éviter une infiltration rapide dans le piézomètre. Si les eaux sont contaminées, le volume de développement des ouvrages de petits diamètres peut généralement être collecté et être évacué dans un égout plus éloigné. En cas de forte contamination et/ou de volume important, un conteneur de récolte et une évacuation en centre de traitement doivent être envisagés.

En présence d'une phase libre, le développement doit être évité.

2.5 Protection, repérage et nivellement

Idéalement, les piézomètres sont protégés soit par un capot de sécurité hors sol, soit par un pot de rue au ras du sol avec cimentation dans un socle au ras du sol ou débordant. La protection apporte une sécurisation afin d'éviter les pollutions volontaires après installation de l'ouvrage. En outre, les protections permettent également de retrouver plus facilement les ouvrages et d'éviter les destructions accidentelles. Ces protections sont vivement recommandées pour les ouvrages profonds et coûteux. Néanmoins, dans l'objectif de réduire les coûts, en l'absence de circulation sur le site et si les piézomètres sont voués à disparaître à court terme, il est admis de ne poser aucune protection.

Les points de référence suivants peuvent être nivelés :

- De préférence, le rebord du tube piézométrique (partie haute ou basse à mentionner dans la fiche de



- prélèvement lorsque le piézomètre est coupé en biais) ;
- Le rebord du tube métallique de protection, capot ouvert ;
 - Le rebord supérieur de la margelle ;
 - Le terrain naturel au droit de l'ouvrage.

La hauteur du repère doit être reprise dans chaque fiche de prélèvement.

Chaque piézomètre doit être identifié clairement et durablement par un numéro et localisé sur un plan « as built ».

Le protocole P8 présente les méthodes de géoréférencement recommandées et les précisions attendues. Dans tous les cas, l'incertitude sur la mesure doit être prise en compte.

2.6 Abandon et comblement de forage

Voir norme NF X10-999 article 18.

3. Informations de révision

Les principales modifications apportées à cette procédure par rapport à la version précédentes sont :

- Le diamètre de forage minimal pour garantir un bon équipement ;
- Par défaut, la position des crépines en zone saturée uniquement. Pas de crépines « coupantes » s'il n'y a pas suspicion de couche de produit surnageant ;
- Le développement des ouvrages.

4. Annexes

Sans objet