



RÉPUBLIQUE D'HAÏTI
DINEPA

Direction Nationale
de l'Eau Potable
et de l'Assainissement

DIRECTIVE TECHNIQUE

Conception et réalisation de forages

Code : 1.2.1 DIT 3

Date de rédaction : mercredi 25 avril 2012

Version : mardi 27 août 2013

Version finale



Note aux lecteurs

Les prescriptions techniques générales s'appliquent aux opérations à réaliser en Haïti et relevant du champ de compétence de la Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). Elles constituent un référentiel, certaines à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle, d'autres ayant un rôle d'information et de support complémentaire.

Les documents à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle sont :

- **Les Fascicules Techniques** indiquant les principes obligatoires et les prescriptions communes à une sous thématique technique ;
- **Les Directives Techniques** prescrivant les règles minimales imposées pour la conception et la réalisation ainsi que la gestion d'ouvrages spécifiques.

Tout propriétaire et/ou réalisateur est tenu de respecter au minimum les prescriptions qui y sont indiquées. Toute dérogation devra faire l'objet d'une autorisation au préalable et par écrit de la DINEPA.

Les documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire, sont :

- Les fiches techniques et Guides techniques présentant ou décrivant des ouvrages ou des actions dans les différentes thématiques ;
- Les modèles de règlements d'exploitation ou de gestion ;
- Les modèles de cahiers des clauses techniques particulières, utilisables comme « cadres - type » pour les maîtres d'ouvrages et concepteurs ;
- Divers types de modèles de documents tels que procès verbaux des phases de projet, modèles de contrat ou de règlement, contrôle de bonne exécution des ouvrages, etc.

Ces documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire sont compatibles avec la réglementation imposée et peuvent préciser la compréhension des techniques ou fournir des aides aux acteurs.

Le présent référentiel technique a été élaboré en 2012 et 2013 sous l'égide de la DINEPA, par l'Office International de l'Eau (OIEau), grâce à un financement de l'UNICEF.

Dépôt légal 13-11-451 Novembre 2013. ISBN 13- 978-99970-51-10-3.

Toute reproduction, utilisation totale ou partielle d'un document doit être accompagnée des références de la source par la mention suivante : *par exemple* « extrait du référentiel technique national EPA, République d'Haïti : *Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1* (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013) »

Sommaire

1. Note préliminaire	4
2. Principe général.....	4
3. Préliminaires à un forage.....	4
3.1. Recherche en eau souterraine	4
3.2. Besoins pour un point d'eau.....	6
3.3. Techniques de forage.....	7
3.3.1. Technique de forage rotary	7
3.3.2. Technique de forage marteau fond de trou (MFT)	8
4. Préparation au forage.....	9
4.1. Equipements de forage	9
4.2. Choix de la technique à utiliser	10
4.3. Choix du diamètre de tubage	11
4.4. Choix du diamètre de l'outil	11
4.5. Prétubage.....	11
4.6. Tubage	12
4.7. Crépine.....	12
4.7.1. Type de crépines	12
4.7.2. Méthode de mise en place.....	13
4.7.3. Choix du matériau.....	14
4.7.4. Contrôle au moment de la mise en place	14
4.7.5. Contrôle à posteriori.....	14
4.8. Volume du forage.....	15
5. Préparation du chantier	15
5.1. Fosses à boue.....	16
5.1.1. Dimension des fosses pour un forage peu profond (< 30 m).....	16
5.1.2. Dimensions des fosses pour un forage de plus de 30 mètres de profondeur	16
5.2. Préparation de la boue de forage.....	17
5.3. Pression à appliquer sur l'outil	18
5.4. Vitesse d'air et de boue.....	18
5.5. Gravier de protection des crépines	18
5.6. Profondeur de forage et longueur des crépines	18
6. Equipement du forage.....	18
6.1. Pose du tubage et centreurs/stabilisateurs	18
6.2. Protection du forage : cimentation.....	19
6.3. Tête de forage.....	19

1. Note préliminaire

Les pompes nécessitent un forage pour permettre de prélever l'eau en sous-sol. Ce forage peut être réalisé de plusieurs manières, qui sont développées ci-dessous. Il faut noter qu'il n'y a pas de différence majeure entre les types de forage, si ce n'est que les diamètres de tubes varient en fonction des pompes installées.

2. Principe général

Quel que soit le type de forage, le principe est de réaliser un trou de 10 à 80 centimètres de diamètre, avec une profondeur variable permettant d'atteindre de l'eau en profondeur.

3. Préliminaires à un forage

3.1. Recherche en eau souterraine

Les eaux souterraines sont généralement de meilleure qualité bactériologique que les eaux de surface et, de ce fait, sont privilégiées comme source d'alimentation. Mais avant de débiter les travaux d'exploration, il est préconisé de délimiter une zone de recherche qualitativement assurée sur le long terme pour que la solution du forage soit économiquement viable.

Par exemple, l'existence connue de forages déjà contaminés (bactériologiquement ou chimiquement) exclura une zone entière sur laquelle un nouveau forage pourrait à court ou moyen terme être à son tour contaminé et donc être non pérenne, ou nécessiter des traitements coûteux à terme. La construction d'une installation de traitement pour des ressources existantes de qualités faibles ou pour une eau de surface disponible à proximité peut alors être préférée à la recherche de nouveaux forages dont la pérennité n'est pas assurée.

Economiquement il faut garder à l'esprit en établissant la limite de la zone de recherche que la qualité de l'eau soutirée d'un puits peut se détériorer après quelques mois ou quelques années d'exploitation, ce qui peut entraîner la mise en place d'une installation de traitement y compris pour des problématiques autres que la contamination par les activités humaine ou industrielles. La contamination est parfois naturelle. C'est le cas par exemple de la contamination saline (« biseau salé » en zone côtières) ou minérale (métaux lourds, arsenic, naturellement mobilisés par les tirages d'eau dans les roches).

Une recherche en eau se réalise généralement en trois phases :

Phase I : Synthèse de l'information disponible

Elle permet de caractériser le contexte hydrogéologique (études hydrogéologiques, banque de données hydrogéologiques du pays, cartes géologiques, cartes des dépôts meubles, forages réalisés pour l'exploration minière ou de minéraux industriels, photographies aériennes, plans de zonage, etc.). L'ensemble de ces informations permettra d'identifier (sans visite sur le terrain) des secteurs de recherche selon un ordre de priorité pour la phase exploratoire ultérieure.

Phase II : Phase exploratoire.

Cette deuxième phase, réalisée sur le terrain, consiste à identifier les sites présentant le meilleur potentiel aquifère parmi ceux retenus à la phase I. Elle débute habituellement par des travaux d'exploration réalisés à l'aide de méthodes géophysiques (méthodes gravimé-

triques, méthodes électriques, méthodes électromagnétiques, méthodes sismiques) et se termine par un forage d'exploration de faible diamètre (qui permet le prélèvement de matériaux pour la calibration des méthodes géophysiques et le prélèvement d'eau souterraine pour une caractérisation préliminaire).

🚧 Phase III : Essais de pompage.

Les forages d'exploration sont de petits diamètres, ce qui coûte moins cher à réaliser. Ils permettent de confirmer la présence de la nappe et sa profondeur.

Le ou les forages d'essai sont réalisés en élargissant le diamètre d'un forage d'exploration, on parle de réalésage. C'est dans ces forages d'essai que seront réalisés les pompages qui permettront de confirmer la capacité de la nappe.

A l'endroit du forage d'exploration présentant le meilleur potentiel aquifère, cette dernière phase de recherche consiste à réaliser un ou plusieurs forages d'exploration en puits d'essai. Le(s) puits d'essai est construit de façon à obtenir les informations permettant le calcul de la capacité du puits et le prélèvement d'une eau de qualité représentative de celle de l'aquifère. C'est à cette étape que les essais de pompage de longue durée (essais de nappe) sont réalisés et que des échantillons d'eau sont prélevés et analysés. D'un point de vue quantitatif, il est préférable d'effectuer les essais durant une période sèche afin d'obtenir la capacité d'exploitation minimale.

Dans le cadre de forages et des SAEP alimentés par pompage (thermique ou solaire), il est ainsi obligatoire de procéder à un essai de pompage qui permettra de déterminer la capacité du (des) forage(s) à alimenter un système. A minima, il sera exigé un essai par paliers non enchaînés (ci-dessous) associé à un essai de nappe.

Les essais de pompage sont nécessaires pour savoir si le forage pourra soutenir un débit suffisant pour l'usage qui en est prévu. Dans le cadre des pompes à motricité humaine, les tests seront réalisés pour un débit de 1 m³/h au moins¹.

Les essais de pompages seront de deux types :

- **essais par paliers** à 4 débits différents de valeurs croissantes, d'une durée de 1h à 2 h chacun, avec entre chaque palier un arrêt correspondant à une durée identique à celle du pompage avec suivi en continu des niveaux d'eau, de la température de l'eau d'exhaure, ainsi que des débits pompés. Chaque palier de pompage devra être réalisé à un régime de débit constant durant toute sa durée. A défaut, il devra être repris intégralement.
- **essai de nappe** par pompage à un débit défini au préalable (débit inférieur au débit critique de l'ouvrage tel que défini à la suite des débits par paliers) pendant 24 h² minimum avec suivi en continu des niveaux d'eau, de la conductivité électrique et de la température de l'eau d'exhaure, ainsi que des débits pompés. La remontée sera suivie pendant au moins 6 h. Les éventuels forages existants à proximité, une rivière proche (rayon de 300 m) ainsi qu'un puits proche (rayon de 300 m) feront également l'objet d'un suivi de niveaux avec ces mêmes durées.

¹ Un forage dont le débit d'exploitation est inférieur à 1m³/h est considéré comme négatif et ne peut être exploité. Il sera fermé.

² Pour les forages destinés à être équipés de PMH, la durée d'essai sera de 8h.

Pour des forages de gros diamètre et/ou délivrant des débits importants³, il pourra être demandé d'utiliser des temps de pompage plus longs. Les données et les interprétations de ces essais devront être annexées au rapport de faisabilité technique soumis à la DINEPA.

Les essais de pompage permettront de déterminer le débit que peut soutenir un forage, d'une part, et doivent surtout permettre d'obtenir une courbe de rabattement de la hauteur d'eau en fonction du débit, d'autre part, pour un forage à fort débit. Cela est essentiel pour choisir une pompe à installer ensuite.




Phase IV : Détermination d'un périmètre de protection.

Dans l'éventualité d'une exploitation du puits, la détermination de l'aire d'alimentation et de la vulnérabilité des eaux souterraines est nécessaire afin d'établir les périmètres de protection du puits. Le périmètre de protection sera au strict minimum d'un rayon de 50 m autour du forage (loi haïtienne de 1955), et devrait faire une surface minimale de 5 hectares, découpé en fonction du bassin versant vers le forage. Des dimensions supérieures pourront être requises, à l'appréciation de l'hydrogéologue.

L'étude hydrogéologique devra également comprendre une évaluation des impacts du pompage projetée sur d'autres usagers de la ressource d'eau souterraine et sur l'environnement (débit d'étiage d'un cours d'eau et milieu humide). À cette fin, des travaux complémentaires pourront être requis.

3.2. Besoins pour un point d'eau

La conception d'un point d'eau se fait en trois étapes :

-  le forage
-  la réalisation du trottoir
-  le montage de la pompe.

Celle qui nous intéresse plus particulièrement ici est le forage : Il s'agit du poste budgétaire le plus important, qui mobilisera généralement 50 à 60 % des ressources financières nécessaires à la mise en place de la pompe.

Le schéma ci-dessous (Figure 1 -) indique les étapes de réalisation d'un forage.

³ Diamètre > 10 pouces et/ou débit d'exploitation > 50 m³/heure

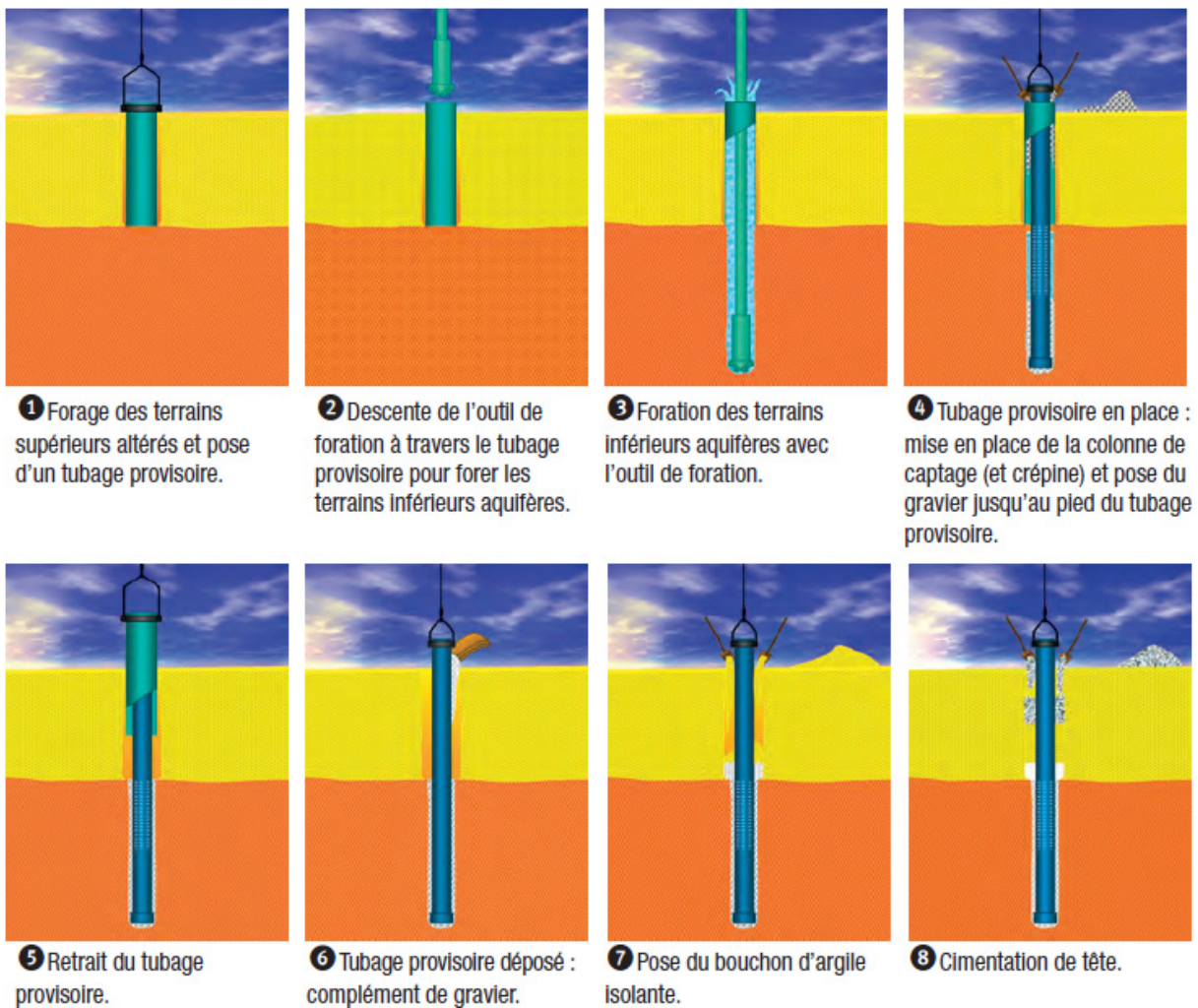


Figure 1 - Etapes de réalisation d'un forage avant pose d'une pompe à motricité humaine. (Source : Karine Frouin, (2011), Agence Française de Développement, division Eau et Assainissement, *Guide méthodologique : Réalisation et gestion des forages équipés d'une pompe à motricité humaine en Afrique subsaharienne*)

La crépine est un tube percé de fentes qui permettent l'entrée de l'eau dans le forage.

3.3. Techniques de forage

3.3.1. Technique de forage rotary

Les techniques de forage rotary à air ou à boue fonctionnent comme le décrit le schéma ci-dessous. Elles sont adaptées au forage dans des terrains sédimentaires uniquement, éventuellement des terrains sédimentaires durs si la machine utilisée est puissante.

Il faut cependant noter que si l'on utilise une technique rotary à air, ce n'est plus de la boue qui est injectée dans les tubes de forage, mais de l'air. Il faut également savoir qu'il n'y aura pas formation de cake (cf. Figure 2 pour la définition du terme cake).

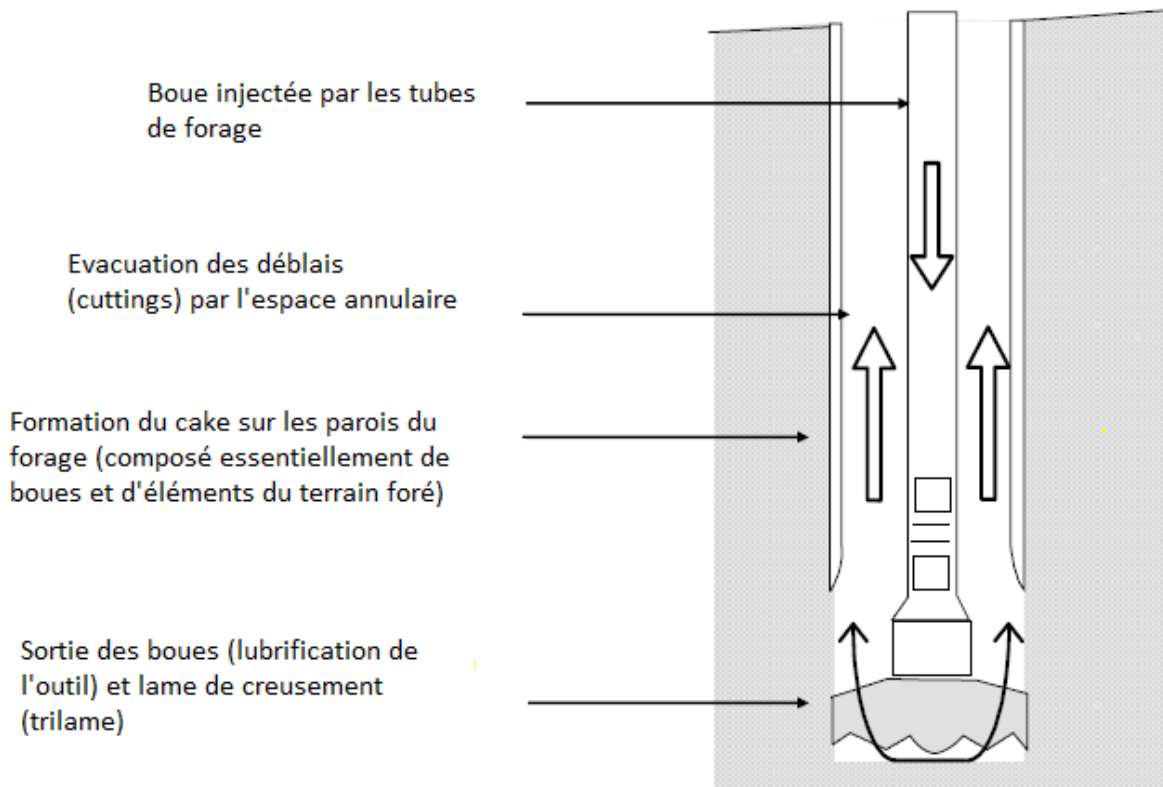


Figure 2 - Principe de la technique de forage rotary (Source : ACF, (2004), *Le forage*)

3.3.2. Technique de forage marteau fond de trou (MFT)

La technique de forage marteau fond de trou est adaptée à des terrains durs ou à des formations rocheuses. C'est une technique qui est rapide (une dizaine de mètres par heure). Son principe est résumé par le schéma ci-dessous.

Forage en percussion : l'air comprimé sert à actionner le piston du marteau, qui va frapper sur le taillant. L'air s'échappe ensuite dans l'espace annulaire, en entraînant les déblais (cuttings)

Soufflage et évacuation des déblais (cuttings) : Le taillant n'est plus en appui, la totalité de l'air s'écoule au travers du marteau sans le faire fonctionner, et s'échappe dans l'espace annulaire

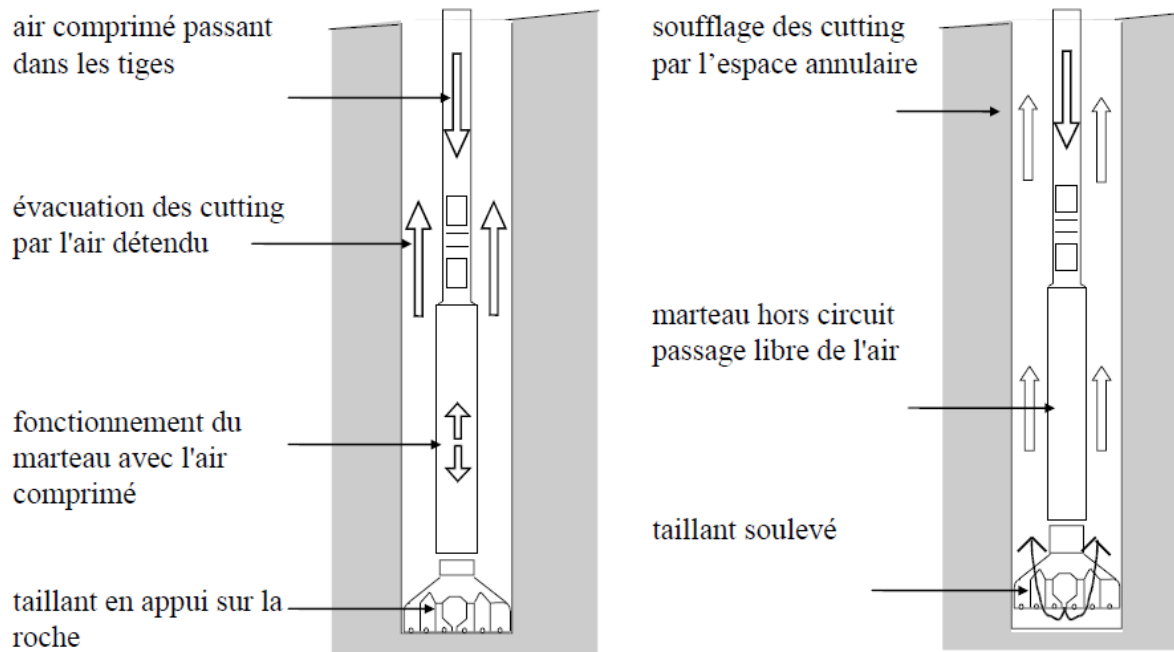


Figure 3 - Principe du forage marteau fond de trou (Source : ACF, (2004), *Le forage*)

4. Préparation au forage

4.1. Equipements de forage

Une machine permettant d'effectuer les forages sera toujours nécessaire, quelle que soit la technique utilisée. Les forages pourront être réalisés par le procédé rotary pour les terrains pratiquement tendres et l'emploi de tout autre procédé de forage ne sera autorisé qu'à la condition qu'il procure les mêmes avantages que le procédé retenu dans le CCTP.



Figure 4 - Kit de forage déployé depuis un véhicule motorisé

4.2. Choix de la technique à utiliser

Le choix de la technique de forage peut parfois s'avérer complexe, il vaut donc mieux choisir en se servant de l'organigramme ci-dessous :

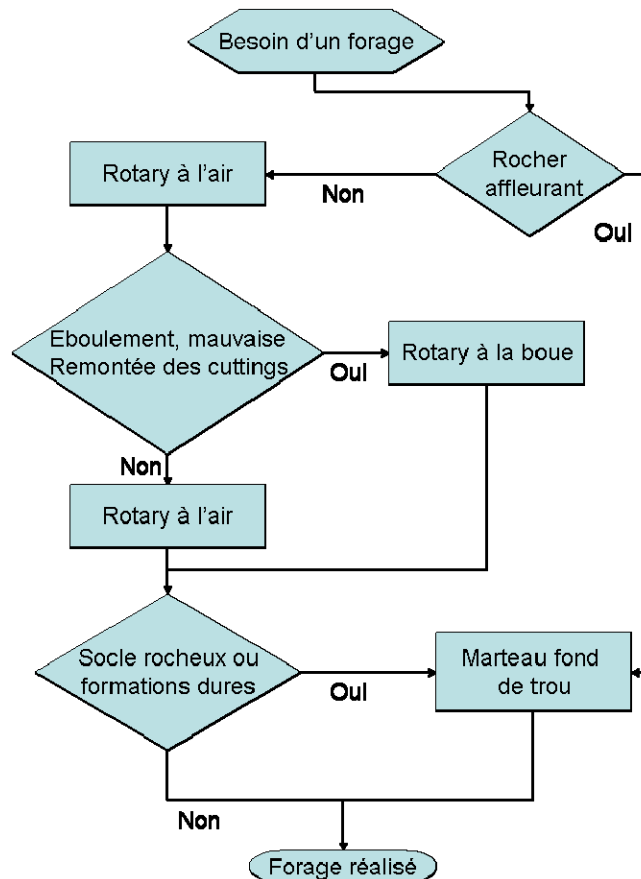


Figure 5 - Organigramme de choix de technique de forage

Comme le montre cet organigramme, il est tout à fait possible de devoir changer de technique en cours de forage, suite par exemple à la rencontre d'un socle rocheux. On parle alors de forage mixte.

4.3. Choix du diamètre de tubage

En règle générale, le diamètre est déterminé en fonction du débit désiré. Toutefois, pour les pompes à motricité humaine, il sera généralement de 4 pouces. Pour les autres forages, il dépendra du diamètre extérieur des pompes (lui-même imposé par les débits désirés) avec un à deux pouces de jeu autour de la pompe elle-même pour permettre son refroidissement.

Tableau 1 : Diamètres de tubage en fonction des gammes de débit et/ou des diamètres extérieurs de pompes

Diamètre extérieur des pompes (pouces)	Diamètre de tubage recommandé (pouces)	Gamme des débits prévus (m ³ /h)
3"	4" à 5" (il existe du 4"1/2)	1 à 3 m ³ /h
4"	5" ou 6"	3 à 10 m ³ /h
6"	8"	10 à 50 m ³ /h
8"	9" ou 9" 5/8	50 à 150 m ³ /h

4.4. Choix du diamètre de l'outil

Le choix dépendra du diamètre extérieur du tubage nécessaire à la pompe. Généralement, pour des pompes à motricité humaine, on utilise des diamètres de 4 pouces (110 mm). Le tableau ci-dessous (Tableau 2) récapitule les diamètres d'outil à utiliser.

Tableau 2: Diamètres d'outil à utiliser en fonction des diamètres de tubage prévus

Diamètre extérieur du tubage (pouces – mm)	Diamètre minimal de l'outil à utiliser
4" – 110 mm	6" – 150 mm
4" ½ – 125 mm	6" ½ – 165 mm
6" – 165 mm	8" – 200 mm
6" ½ – 180 mm	8" ½ – 215 mm
7" – 195 mm	9" 5/8 – 245 mm

A retenir : Quelque soit le diamètre de tubage prévu, l'outil devra au strict minimum avoir un diamètre de 2 pouces plus grand que le diamètre du tubage.

4.5. Prétubage

Le prétubage n'est pas systématique mais dépend de la stabilité des parois du forage. Les terrains de surface étant souvent peu consolidés, il est souvent nécessaire d'installer un prétubage pour les stabiliser pour la suite du forage. Il est recommandé de cimenter la base du prétubage par un coulis de ciment lorsqu'il y a des problèmes importants d'érosion et d'éboulement (le flux d'air peut, au fur et à mesure, creuser une cavité à la base du prétubage dans les arènes granitiques par exemple) ou d'infiltration de pollution de surface (nappe superficielle polluée que l'on veut isoler).

Au rotary, même pour des profondeurs importantes (par exemple supérieures à 100 m), les risques d'érosion des parois et d'effondrements sont réduits car la boue en formant un cake stabilise les parois et l'érosion est bien moindre (vitesse de circulation faible de la boue). Les terrains de surface peuvent être bouillants (sables, sols) et nécessiter un prétubage sur quelques mètres.

Un prétubage PVC peut être temporaire et retiré lorsque sa profondeur d'installation est inférieure à 20 mètres. Au-delà, il n'est pas possible de le retirer sans le casser. Pour pallier à ce problème, il est possible d'utiliser un prétubage en acier inoxydable, mais il faudra être bien certain qu'on dispose d'une force de levage suffisante pour le remonter.

Le tableau ci-dessous donne des exemples en contexte sédimentaire ou consolidé des tailles d'outils nécessaires pour un tubage en 125 mm (4" 1/2) et 110 mm (4").

Tableau 3 : Exemples en contexte sédimentaire

Contexte géologique	Technique à utiliser	Prétubage (mm)	Outil (mm)	Tubage (mm)	Outil (mm)	Taillant (mm)
Sédimentaire	Rotary	167 – 180	215	110	150	
Sédimentaire	Rotary	178 – 195	244	125	165	
Consolidé	MFT	167 – 180	215	110		150
Consolidé	MFT	178 – 195	244	125		165

Le prétubage doit pouvoir résister à une pression de 1 bar par tranche de 10 mètres de profondeur du forage (10 bars pour une profondeur de 100 mètres).

4.6. Tubage

En pratique, un tubage en PVC pression de diamètre nominal 100 (4") ou 125 mm (5") peut être utilisé à condition que les limites internes et externes soient respectées. Un tubage en acier inoxydable peut également être utilisé, mais il est plus cher. De plus, il faudra veiller à ce qu'il soit bien résistant à la corrosion, et que tous les éléments du tubage soient réalisés dans le même acier pour éviter les effets de pile qui pourraient dégrader le matériel.

L'espace minimum entre le diamètre de forage et le tubage d'équipement est de 19,5 mm de chaque côté.

4.7. Crépine

Schématiquement la crépine est un tube ajouré laissant le passage à l'eau tout en maintenant la formation. En tant qu'interface avec la ressource, elle constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation. Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, et de la nature de l'aquifère.

Elle devra répondre aux critères suivants :

- ✚ Permettre la production de fluide sans particule fine
- ✚ Rester inerte vis-à-vis du fluide à capter (interaction de matériaux mais aussi turbulence)
- ✚ Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation
- ✚ Ne pas risquer un vieillissement prématuré
- ✚ Induire des pertes de charge minimales.

4.7.1. Type de crépines

Une crépine se caractérise :

- ✚ Par la nature du matériau qui la constitue
- ✚ Par sa longueur (minimum 3m, pouvant atteindre des valeurs très supérieures)
- ✚ Par la forme des ouvertures
- ✚ Par la taille des ouvertures

✚ Par le coefficient d'ouverture.

Les caractéristiques géométriques (taille, densité et forme des ouvertures) dépendent de la nature et des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère définies lors du suivi de forage (analyse granulométrique, digraphie, ...).

Préconisation sur la taille des ouvertures de la crépine :

Tableau 4 : Choix des ouvertures des crépines en fonction de la granulométrie de l'aquifère

(Source : ACF, (2007), *Eau, assainissement, hygiène pour les populations à risque*, Editions Hermann)

Taille des grains de l'aquifère	Taille des grains du gravier filtre	Taille des orifices de la crépine
0,1 à 0,6 mm	0,7 à 1,2 mm	0,50 mm
0,2 à 0,8 mm	0,1 à 0,5 mm	0,75 mm
0,3 à 1,2 mm	1,5 à 2,0 mm	1,00 mm
0,4 à 2,0 mm	1,7 à 2,5 mm	1,50 mm
0,5 à 3,0 mm	3,0 à 4,0 mm	2,00 mm

Pour un forage avec débit espéré $< 50 \text{ m}^3/\text{j}$, la totalité de la crépine aura une taille d'ouverture liée au matériau le plus fin rencontré sur sa hauteur.

Pour un forage avec débit espéré $> 50 \text{ m}^3/\text{j}$, on pourra faire en fonction des granulométries rencontrées, avec des portions de 1 m de crépine (cf. figure 6 ci-dessous).

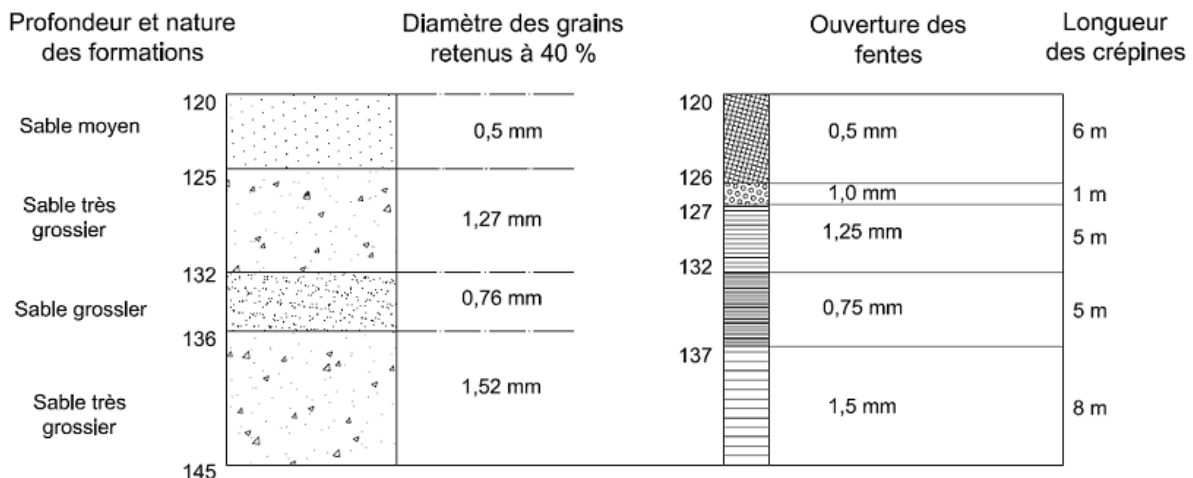


Figure 6 - Caractéristiques de la crépine selon la nature du terrain

4.7.2. Méthode de mise en place

Les ouvrages de captage dans leur majorité sont de l'un des deux types suivants :

- ✚ Ouvrage à équipement monolithique (1 seul diamètre), les crépines sont alors descendues au bout des tubages pleins
- ✚ Ouvrage télescopé à crépine de diamètre inférieur à celui du tubage d'occultation des niveaux supérieurs.

L'assemblage des crépines se fait soit alors par filetage, par soudage ou collage (PVC). La présence de crépines simplement posées en fond de trou est à proscrire dans la mesure du possible car ceci peut être la cause de by-pass par circulation dans l'annulaire.

4.7.3. Choix du matériau

La crépine peut être réalisée en PVC pression ou en acier inoxydable, avec une attention particulière portée à la résistance à la corrosion. Il faudra de plus vérifier la compatibilité des matériaux de la crépine et du tubage (couplage électrochimique à éviter).

4.7.4. Contrôle au moment de la mise en place

Il faut veiller à ce que :

- ✚ Le matériel approvisionné corresponde bien aux spécifications choisies et calculées et ne soit pas endommagé au cours des transports et stockages
- ✚ Les cotes prévues de pied et de tête de crépine soient respectées
- ✚ L'assemblage par collage (colle alimentaire), vissage ou soudage soit fait dans les règles de l'art (couple de rotation et technique de soudure appropriée)
- ✚ L'ensemble soit nettoyé (décapé et passivé pour les aciers inox) et désinfecté avant d'être mis en place.

4.7.5. Contrôle à posteriori

Lors des pompages d'essai après développement, on contrôlera que le pourcentage de particules fines reste en dessous des limites fixées au cahier des charges.

Les fentes de la crépine doivent être horizontales, de 6 à 7 cm de long, et de 0,5 à 2 mm de large. Elles peuvent être réalisées à la scie de la façon montrée dans le schéma de la figure ci-dessous. L'espacement entre les fentes ne doit pas compromettre la tenue mécanique de la crépine (valeur de l'espacement des fentes de l'ordre du cm).

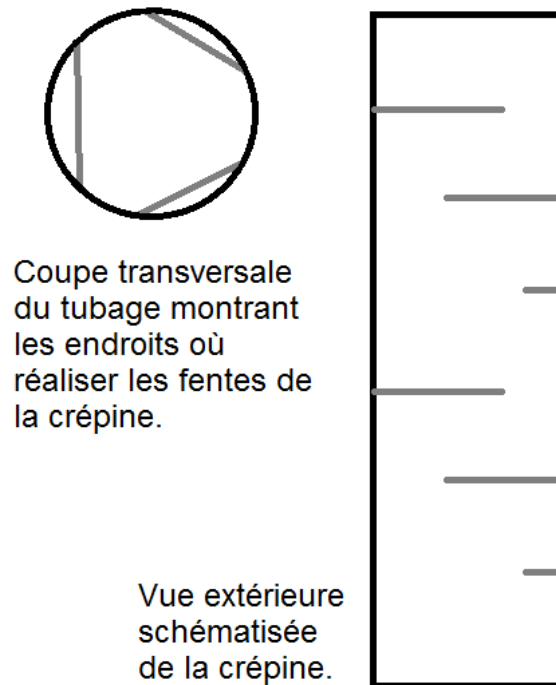


Figure 7 - Vues permettant de déterminer la façon de réaliser les fentes de la crépine

Les fentes peuvent également être réalisées en dessous les unes des autres pour plus de commodité quand on scie.

4.8. Volume du forage

Le volume du forage est calculé en fonction du diamètre du forage, et de la profondeur que l'on souhaite atteindre.

$$V = \frac{\pi \times r^2 \times h}{1000}$$

Où r est le rayon de l'outil utilisé, et h la profondeur du forage atteinte avec cet outil, le tout en mètres. Le volume sera davantage exprimé en litres qu'en décimètres cube.

Tableau 5 : Tableau de volumes pour des forages type en 4", 6" et 8" d'une profondeur de 35, 45 et 60 m compte non tenu d'un prétubage.

Diamètre de l'outil en pouces	Profondeur du forage en mètres		
	35	45	60
4	1,14	1,46	1,95
6	2,55	3,28	4,38
8	4,54	5,84	7,78
Volume du forage en mètres cube			

5. Préparation du chantier

Une zone de travail doit être bien délimitée. Généralement, on met le compresseur et l'unité hydraulique au côté opposé des fosses à boue, ou d'évacuation des déblais MFT, de façon à ce qu'il ne reçoive pas de poussières de forage (là d'où vient le vent pour la machine). On doit prévoir un accès au chantier pour un approvisionnement en eau, et mettre en place un périmètre de sécurité.

Le chantier doit être organisé de façon à permettre au foreur de voir la totalité du site et d'intervenir rapidement si un problème survient.

Pour faciliter le calage de la machine de forage, il est recommandé d'aplanir la zone de travail. Il est également recommandé d'installer tous les moteurs et appareils sur un plan horizontal.

5.1. Fosses à boue

Elles sont à mettre en place pour tout forage de type rotary. Il doit y en avoir deux : une qui reçoit la boue évacuée par la machine et leur permet de décanté, et une qui recevra la boue décantée pour être pompée et renvoyée dans la machine. Vu de dessus, leur positionnement doit être comme montré dans la figure ci-dessous.

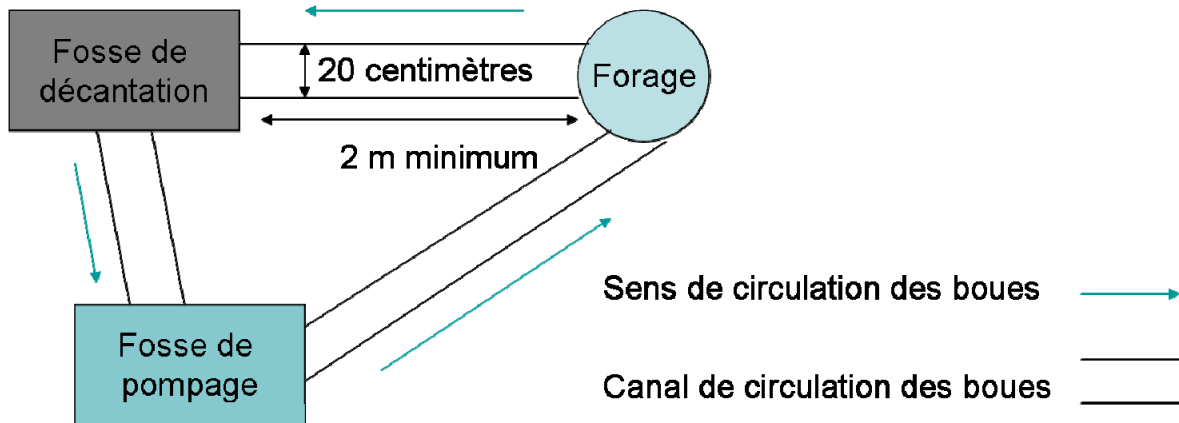


Figure 8 - Schéma de principe de positionnement des fosses à boue

5.1.1. Dimension des fosses pour un forage peu profond (< 30 m)

Pour un forage peu profond, on peut prendre les dimensions suivantes :

- ✚ Fosse de décantation de 0,2 m³ environ, soit 0,6 x 0,6 x 0,6 m
- ✚ Fosse de pompage d'environ 1 m³, soit 1 x 1 x 1 m.

5.1.2. Dimensions des fosses pour un forage de plus de 30 mètres de profondeur

Les dimensions des fosses à boues sont calculées en fonction du volume de forage, et de la largeur calculée à partir de cela.

$$l \approx \sqrt[3]{V \times \frac{2}{60.4}}$$

Où l est la largeur en décimètres, et V le volume du forage en litres (soit 1000 fois le résultat trouvé avec la formule présente au 4.8, Volume du forage.).

Tableau 6 : Valeurs de l pour des forages de 4, 6, et 8 pouces pour des profondeurs de 35, 45, et 60 mètres.

Diamètre de l'outil en pouces	Profondeur du forage en mètres		
	35	45	60
4	3,3	3,7	4,1
6	4,4	4,8	5,3
8	5,4	5,9	6,5
<i>l (décimètres)</i>			

Pour la fosse de décantation :

- ✚ Largeur = l
- ✚ Longueur = 2,5 x l
- ✚ Profondeur = 0,85 x l

Pour la fosse de pompage :

- ✚ Largeur = l
- ✚ Longueur = 1.25 x l
- ✚ Profondeur = 0,85x l

En pratique, donc, pour un outil de 8 pouces et une profondeur de 60 mètres, la fosse de décantation mesurerait environ 65 x 165 x 55 cm, et la fosse de pompage mesurera 65 x 85 x 55 cm environ.

Pour tout forage de moindre profondeur et/ou diamètre, on pourra faire des fosses plus petites, mais on gardera le minimum indiqué dans le paragraphe 0,

Dimension des fosses pour un forage peu profond (< 30 m).

5.2. Préparation de la boue de forage

Dans des terrains argileux, on utilisera de l'eau pure, qui se chargera peu à peu en argile au fur et à mesure du forage. Dans tous les autres cas (y compris quand on ignore la nature du sol), on préparera un mélange de boue qu'on pourra alléger ou épaissir selon les besoins. Pour être certain de pouvoir alléger rapidement les boues, il faut avoir à disposition une réserve d'eau de 1 ou 2 mètres cube.

Il est possible de trouver deux produits :

- ✚ La polycol : c'est un produit polymère très répandu en forage rotary, qu'il faut doser entre 2.5 et 5 kg par m³ d'eau. Le mélange eau + polycol est plus homogène que le mélange eau + bentonite et son utilisation demande moins d'attention. Il existe de nombreux types de polycol avec des caractéristiques différentes en fonction des contextes où l'on fore (milieu salin, anti-colloïdes, climat, polycol biodégradable etc.).
- ✚ La bentonite : c'est une argile en poudre qu'il faut doser entre 15 et 30 kg par m³ d'eau. Son risque majeur de colmatage de l'aquifère en fait aussi son avantage dans des terrains très perméables (aquifères, graviers, sables, silts) où les pertes de boue peuvent être importantes ainsi que les risques d'effondrement.

Pour obtenir un mélange homogène, la polycol ou la bentonite doit être saupoudrée au dessus du jet d'eau pendant le remplissage de la fosse.

5.3. Pression à appliquer sur l'outil

Pour la méthode MFT, elle est de 100 à 200 kilogrammes par pouce de diamètre d'outil⁴ (600 à 1200 kilogrammes pour un outil de 6" de diamètre).

Pour la méthode rotary et un trilame, elle est de 225 kilogrammes par pouce de diamètre d'outil, et pour un tricône, de 450 kilogrammes.

Il faudra tenir compte du poids des tiges et réduire la pression appliquée pour chaque mètre de tige ajouté.

5.4. Vitesse d'air et de boue

De façon à assurer une remontée des cuttings, une vitesse suffisante devra être appliquée à l'air ou à la boue. L'idéal est de commencer à une petite vitesse et de l'accroître jusqu'à obtenir une vitesse suffisante pour permettre la remontée.

5.5. Gravier de protection des crépines

Concernant le massif de protection on se réfèrera aux prescriptions de la Directive Technique relative à l'Equipement de forage (1.2.1 DIT5).

5.6. Profondeur de forage et longueur des crépines

Si l'on rencontre l'eau à une certaine profondeur (35 mètres par exemple), il est bon de continuer le forage sur encore quelques mètres. Au fond du forage, on mettra en place un sabot de pied constitué d'un tuyau d'un mètre de longueur au minimum, plein, bouché à son extrémité pour récupérer les particules fines qui seraient entrées dans la crépine. Sur quelques mètres au-dessus (3 minimum, et jusqu'à 10 mètres pour un forage à usage intensif), on mettra en place un tubage avec des fentes permettant à l'eau de s'infiltrer dans le forage.

La crépine devra faire quoi qu'il arrive une longueur minimale de 3 mètres. En dessous, on devra disposer un mètre de tuyau plein et bouché à son extrémité, de façon à récolter les petites particules qui auraient pu passer dans la crépine, et d'éviter qu'elles ne la colmatent. Cela augmente la durée de vie avant colmatage de la crépine.

6. Equipement du forage

6.1. Pose du tubage et centreurs/stabilisateurs

Le PVC étant un matériau flexible, il est obligatoire de poser des centreurs ou stabilisateurs à intervalles réguliers pour garder un tubage bien centré dans le forage. Cela permettra également d'avoir une crépine qui sera bien centrée dans le gravier filtrant. Un centreur devra être posé tous les 15 mètres de tubage. Le centreur peut être constitué de bandes métalliques flexibles ou de centreurs PVC qui entourent le tubage, et permettent de pousser de façon égale sur les parois du forage de façon à centrer le tubage.

⁴ Source : ACF,(2007), *Eau, assainissement, hygiène pour les populations à risque* , Editions Hermann

6.2. Protection du forage : cimentation

La cimentation est une opération indispensable qui permet de protéger le forage des pollutions extérieures; même si une dalle est par la suite construite autour du tube de forage (mise en place d'un trottoir en surface), seule une cimentation correcte peut prévenir les écoulements d'eau d'infiltration qui peuvent se développer le long du tubage. Elle doit se faire tout le long du tubage, longueur de gravier filtre (crépine) et bouchon d'argile exceptées. Un bouchon d'argile doit être mis entre le gravier filtre et le ciment, pour éviter que le laitier de ciment ne colmate le massif filtrant.

Cette opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au-dessus du massif de gravier, jusqu'à la surface du sol. Le dosage est d'environ 50 litres d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne 75 litres de laitier. Si vous disposez de bentonite, utiliser le mélange suivant : 70 litres d'eau, 4 kg de bentonite et 100 kg de ciment; ce mélange évitera à l'eau de filtrer hors du ciment, mais le temps de prise sera légèrement supérieur. On cimentera en amenant le ciment sous pression par le fond.

Si la hauteur de cimentation est forte (> 30 m), on devra cimenter en deux étapes, la hauteur de ciment diminuant du fait de l'absorption par les terrains environnants.

6.3. Tête de forage

La tête du forage dépassera le terrain naturel d'au moins 0,5 m (pour prévenir les intrusions d'eau). Toutefois, en zone inondable, des dispositions particulières devront être prises. L'entrepreneur fournira et posera un capot à fermeture étanche cadénassée.

Après la fin des travaux de foration et d'équipement, et avant la prise de cimentation de surface, il sera mis en place une protection étanche de la tête de l'ouvrage qui assurera la continuité de l'étanchéité garantie par la cimentation annulaire avec le milieu extérieur.

Une dalle de béton d'une surface minimale de 1 m² et d'une hauteur de 0,30 m au dessus du terrain naturel sera aménagée autour de la tête de forage.

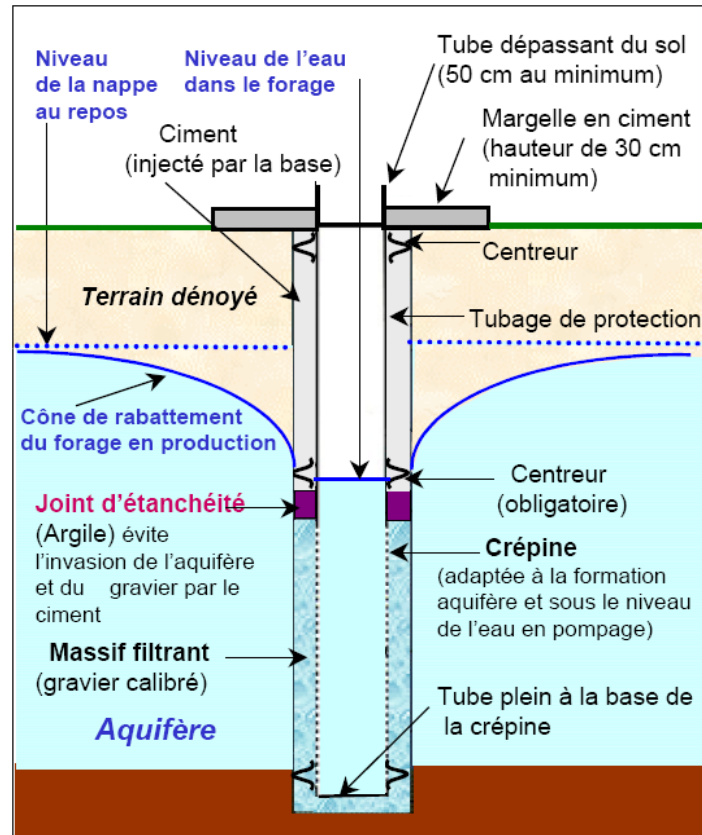


Figure 9 - Vue en coupe d'un forage équipé (Source : BRGM, Des forages de qualité en région Centre)