



Université de Liège (ULG)

Faculté des Sciences Appliquées - Département ArGEnCo

Architecture, Géologie, Environnement et constructions Secteur GEO³

Géotechnologies, Hydrogéologie, Prospection Géophysique

Méthodologie pour la réalisation de micro-piézomètres

Elie SAURET^{1,2}, Serge BROUYERE¹, Philippe ORBAN¹

¹ Université de Liège, Département ArGEnCO, Geo³ - Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement, Bâtiment B52/3, Sart-Tilman, 4000 Liège - Belgique

² **Corresponding mail** : saurelie517@yahoo.fr

Septembre

INTRODUCTION

En Afrique, particulièrement, la réalisation d'un piézomètre de suivi quantitatif/qualitatif des ressources en eau souterraine est une entreprise relativement chère dans la plupart des cas. Les coûts d'investissements du matériel (achat, transport, installation), du consommable (ciment, gravillons, carburant, lubrifiant, eau...), de main d'œuvre, de logistiques...sont les éléments déterminants du prix. Selon Ball (2004), un trou de six pouces et 20 mètres de profondeur réalisé par un derrick classique en Afrique serait de 8837\$ environ. Une somme que les gouvernements préfèrent injecter dans des forages d'approvisionnement en eau potable que dans des ouvrages à but scientifiques

Depuis quelques années, des techniques de foration manuelle ont connu un développement considérable dans le domaine de l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) en Afrique Subsaharienne. Moins couteuses et de mise en œuvre facile, ces techniques permettent aussi la réalisation d'ouvrages de petit diamètre (2-3 pouces).

Ce présent ouvrage, loin d'être une méthodologie élaborée voudrait sur base de « la mallette pédagogique de techniques de forage manuel » de l'Unicef (EntrepriseWorks/Vita, 2009) et; d'expériences acquises au Burkina Faso, fournir quelques informations utiles pour la réalisation d'un trou (micro piézomètre) de petit diamètre et à faible profondeur (moins de 15 m) destiné à des études géologiques (nature et succession des couches) ou hydrogéologiques (suivi quantitatif et qualitatif des eaux souterraines).

I. Généralités

1.1. Les différentes techniques de foration manuelle

Un piézomètre est un puits de petit diamètre creusé dans le sous sol. Quel que soit l'outil de foration utilisé pour le réaliser, il devrait être en mesure : i) de casser/ameublir/couper les couches du sol, ii) d'extraire le matériel cassé, iii) si nécessaire d'assurer la stabilité de la paroi du trou afin d'éviter un effondrement durant le creusement.

Les différentes techniques de foration manuelle reposent en général sur quatre principes : l'utilisation de la tarière, la percussion, le dragage et colmatage à la boue, le fonçage au jet d'eau. Dans cet ouvrage nous ne nous intéresserons qu'à l'utilisation de la tarière manuelle.

1.2. La tarière manuelle

La tarière manuelle est un ensemble de tiges creuses raccordées entre elles et terminées à la base par une soupape en acier inoxydable, qui sert de tête coupante. La friction et la cassure des matériaux rencontrés sont déclenchées par la charge physique et les mouvements rotatifs exercés sur une « tige poignée » fixée sur la première tige. La percussion engendrée par la tête coupante sur les matériaux et la cassure qui en découle, dépendent donc de la combinaison « charges physiques - mouvements rotatifs » exercés par deux ou trois foreurs.

Le prélèvement d'échantillons est possible une fois la profondeur voulue atteinte, et la soupape remplie de cuttings. Selon le diamètre du trou désiré, la nature du sol à forer, la profondeur à atteindre, il existe plusieurs modèles de tarières allant du simple au combiné. Dans le cadre de ce papier, la foration à la « tarière combinée » utilisé avec succès pour des micropiézomètres au Burkina Faso est présentée. La bibliographie complète sur les autres modèles (tarière spirale, tarière gouge, préleveur à pistons ...) est assez bien détaillée sur le site suivant : <http://www.sdec-france.com/produits.php?numprod=124&lg=fr>;

1.3. La tarière combinée

Le « terme combiné » se réfère surtout à l'assemblage de différents types de « têtes coupantes » dans un jet de tarière complet. L'utilité de disposer de 2 à 3 têtes coupantes de spécifications techniques différentes est de permettre de forer dans tout type de matériaux : argiles, limons, sables fins et sables grossiers.

Pour la campagne au Burkina Faso, trois différents types de têtes coupantes utilisés avec succès sont présentés : ce sont les types : Edelman, riverside et soft.

Le type “**Edelman**” permet un minimum de friction durant la pénétration dans le sol et pendant l'extraction des matériaux. Ce qui signifie un effort physique moindre.

Le type “**Riverside**” convient mieux aux carottages dans les sols durs, rigides, mêlés de gravillons et petits cailloux.

Le type “**Soft**” issu du type Edelman, est plus sensible à la torsion et convient uniquement au prélèvement de « sols mous » (argileux).

Les autres pièces de la tarière combinée sont les suivants (figure 1) :

- les tiges supérieures ou tiges de rallonge,

- les tiges inférieures (tête coupante ou soupape) : idéalement, en fonction de la nature du terrain (argileux, sableux ou limoneux) deux à trois têtes coupantes sont nécessaires,
- les manchons d'accouplement des tiges qui permettent de raccorder les tiges entre elles,
- La « tige poignée » : tige comportant au bout un axe court de 60 cm perpendiculaire au train central servant d'appui physique et d'entraînement du dispositif,
- le sac de transport pour l'équipement.

Remarque : le diamètre des tiges varie en fonction de la largeur de trou voulu. Des modèles de 07 cm et 10 cm sont généralement commercialisés.



Figure 1 : Equipement de tarière combinée : 1) Sac de transport, 2) Tige à poignée, 3) Tiges de rallonges, 4) Soupape (tête coupante) Soft, 5) Soupape Edelman, 6) Soupape Riverside

II. Cas pratique : réalisation de micro-piézomètres dans le bassin du Kou au Burkina Faso

Dans le cas du projet « Appui à la gestion et la protection des ressources en eaux souterraines exploitées dans la région de Bobo Dioulasso », des micropiézomètres ont été réalisés dans le bassin du Kou. L'objectif était de réaliser un monitoring des eaux de la plaine alluviale. La présente note décrit la réalisation de l'ouvrage complet : trou nu, développement, équipement et protection, les limites de la foration manuelle en terme de réalisation et d'investigations, les problèmes généralement rencontrés et les solutions envisagées.

2.1. Matériels utilisés

Le matériel pour la réalisation de l'ouvrage complet peut se ranger en cinq catégories :

- *le matériel de foration de type « tarière combinée »* et ses accessoires, décrit au paragraphe précédent.

- *le matériel pour l'équipement du trou*. Ce sont :

- des tubages en PVC « pleins » de diamètre supérieur à ceux des tiges
- des tubages en PVC « crépinés » de diamètre identique aux PVC pleins
- du gravier et du ciment

- *le matériel pour le développement du trou* :

- une pompe immergée ou une motopompe manuelle,
- un groupe électrogène

- *le matériel pour l'emballage et la conservation des échantillons* : des sacs en plastique et,

- *matériels divers* : outils de bricolage mécanique (scie pour découper les tubages, masse, ...), de maçonnerie (pelles, truelles, seau ...), didactiques (de quoi dessiner et écrire)

2.2. Personnel requis

La foration à la tarière manuelle demeurant un travail d'efforts physiques intenses, le personnel requis (nombre), est fonction de leur aptitude physique. Habituellement dans une équipe de foreurs, on distingue :

- une équipe d'ouvriers, chargée du maintien des tiges dans la direction verticale afin d'éviter leur torsion lors de la foration,
- une équipe de foreurs proprement dits, chargée de creuser le trou. C'est elle qui exerce une pression physique sur les tiges afin de faciliter son entrainement dans le trou, l'effritement et la cassure des matériaux,
- un superviseur, chargé de coordonner, surveiller la réalisation de l'ouvrage, recueillir et décrire les échantillons et établir in situ les logs de forage.

Remarque : le nombre de personnes par équipe varie généralement de 2 à 3 voire moins étant entendu que le personnel se remplace d'équipe et de rôle.

2.3. Les différentes étapes de la réalisation du trou (micropiézo-mètre)

2.3.1 Réalisation du trou nu

Le choix de la technique de foration est fonction du contexte géologique du terrain et nécessite des recherches bibliographiques et des investigations de reconnaissances préalables. Dans les terrains peu ou pas consolidés de nature sableuse, ... où des phénomènes d'éboulement sont fréquemment observés, la foration avec tubage à l'avancement du trou est généralement conseillée. Par contre dans les terrains consolidés et indurés, où les risques d'éboulements sont inexistantes, la foration peut se faire sans tubage à l'avancement du trou. Pour la présente campagne, la foration avec tubage à l'avancement a été réalisée. Une équipe de cinq foreurs a été repartie en deux groupes.

Le premier constitué de deux personnes s'est appliqué à maintenir le tubage en PVC et les tiges dans la direction verticale pendant que le second groupe constitué de 2 personnes applique dans un mouvement rotatif une force sur la « tige poignée » sur laquelle est suspendu le troisième foreur (appelé encore pivot central) (voir paragraphe 2.3.5). La pression exercée par la tête coupante sur les matériaux provoque leur effritement et leur broyage.

NB : la ou les personnes chargée(s) du « maintien des tubages et des tiges » n'est (ne sont) pas toujours d'utilité si les forces et les mouvements de rotation exercés sur les tiges n'entraînent pas leur torsion pendant la foration.

Une fois le bedrock altéré ou fracturé atteint, la tête de forage est changée afin de s'adapter aux matériaux durs rencontrés.

A chaque 50 cm un échantillon est prélevé. Les échantillons sont décrits in situ : texture, structure, lithologie, couleur et soigneusement conservés dans des sachets en plastiques. Dans le cas du micropiézo-mètre P04 (log de la figure 2), les têtes de forage Edelman et Soft ont été utilisées pour forer les 3.5 premiers mètres. Au delà de cette profondeur, la tête Riverside a permis de traverser les sables limoneux à bloc de grès altérés rencontrés. Les prélèvements d'échantillons ont eu lieu tous les 50 cm.

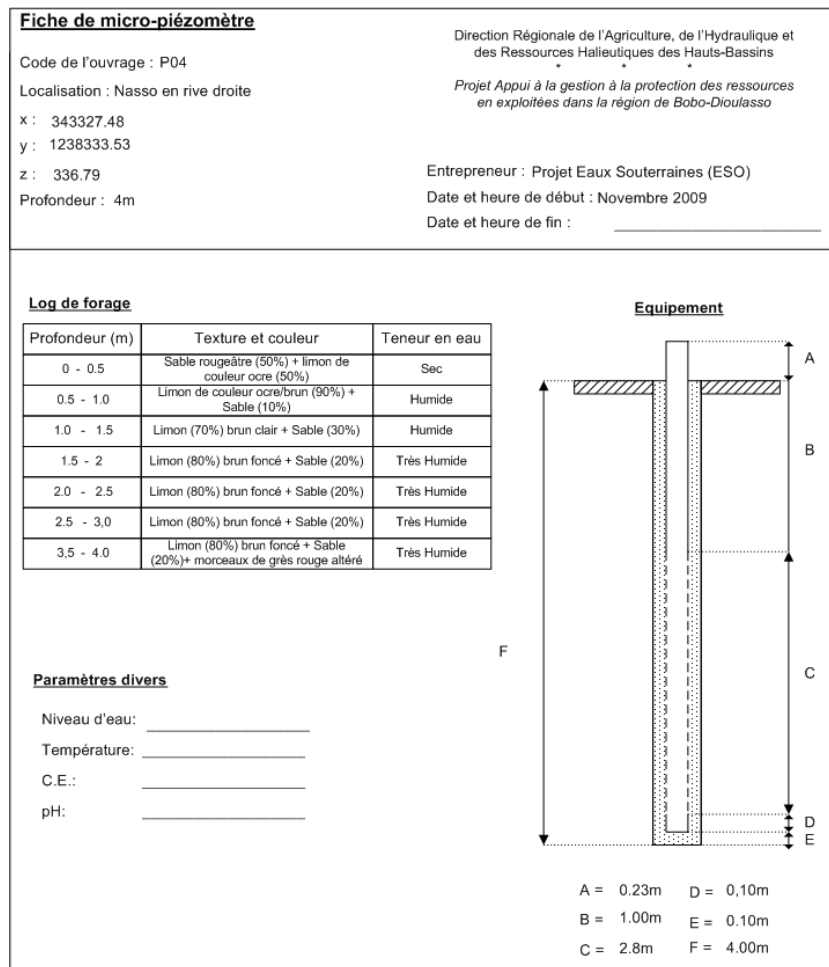


Figure 02 : log de forage et équipement du micropiézomètre P04

2.3.2 L'équipement du trou

A la profondeur voulue, la foration est arrêtée et le trou est équipé. L'équipement a consisté à installer les tubages et mettre en place un massif filtrant dans l'espace annulaire entre les tubages et le trou. Pour la présente campagne, le tubage en PVC crepiné muni d'un sabot décanteur de 10-20 cm en général (figure 3 ci-dessus et paragraphe 2.3.5) est installé de la base du trou jusqu'à 1m au dessous du sol. Le tubage en PVC pleins vient ensuite jusqu'à 1 m au dessus de la surface du sol.

L'espace annulaire est rempli par du gravier de granulométrie au mieux identique à celle de la roche reservoir, de la base du trou à la surface du sol. Très souvent un bouchon imperméable (mélange consistant de ciment et d'eau) est posé au dessus des crepines sur environ 25 cm d'épaisseur. Il sert dans le cas de venues latérales d'eau d'isoler les horizons aquifères non voulus et surtout pour prévenir toute infiltration d'eau de surface.

2.3.3 Développement du trou

Pour la présente campagne un développement par injection de d'eau a été réalisé. Les eaux ont été pompées dans la rivière co-localisée au site de foration et injectées pendant 15 minutes minimum dans chaque ouvrage. Le but de cet exercice étant de nettoyer le trou de tous les « débris » engendrés lors de la réalisation de l'ouvrage et faciliter un bon écoulement souterrain des eaux dans la nappe phréatique.

Le protocole de foration mentionné aux points 2.3, 2.4 et 2.5 a permis de réaliser 33 micropiézomètres de 10 cm de diamètre chacun, disposés en croix et distants l'un de l'autre de 1-2m (Giovanni, 2010) (figure 3).



Figure 03 : Site de Nasso en rive droite du Kou (33 ouvrages disposés en croix)

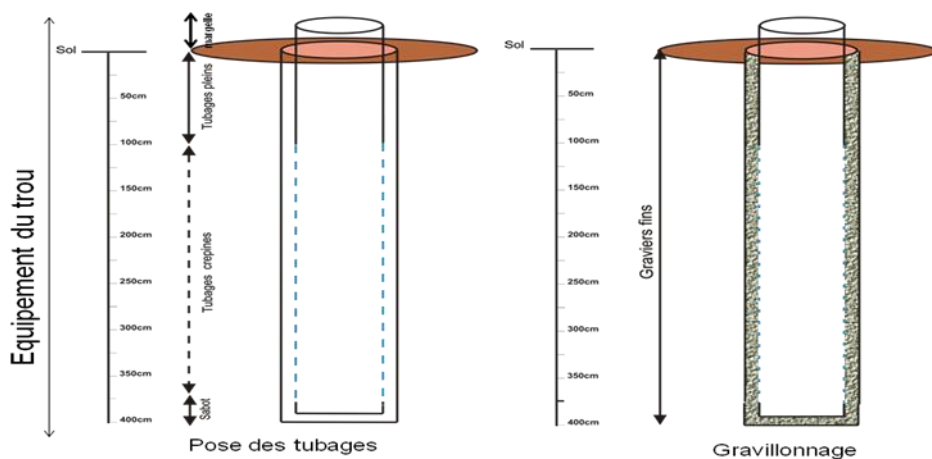
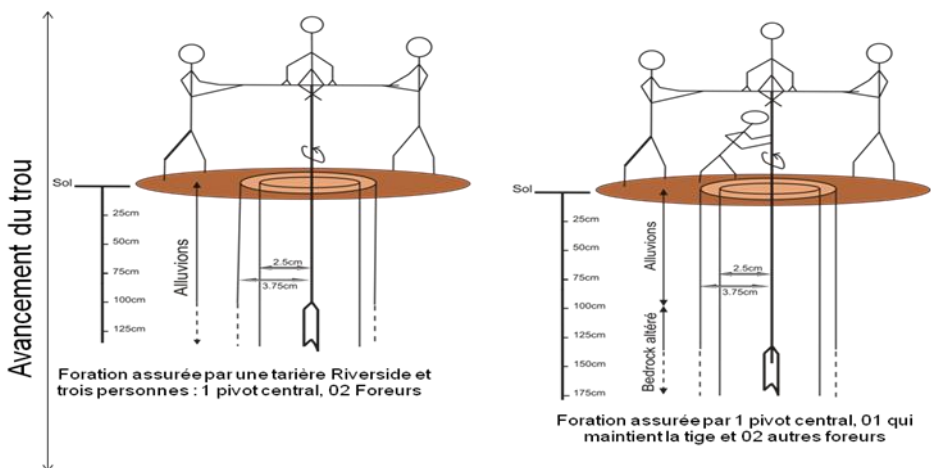
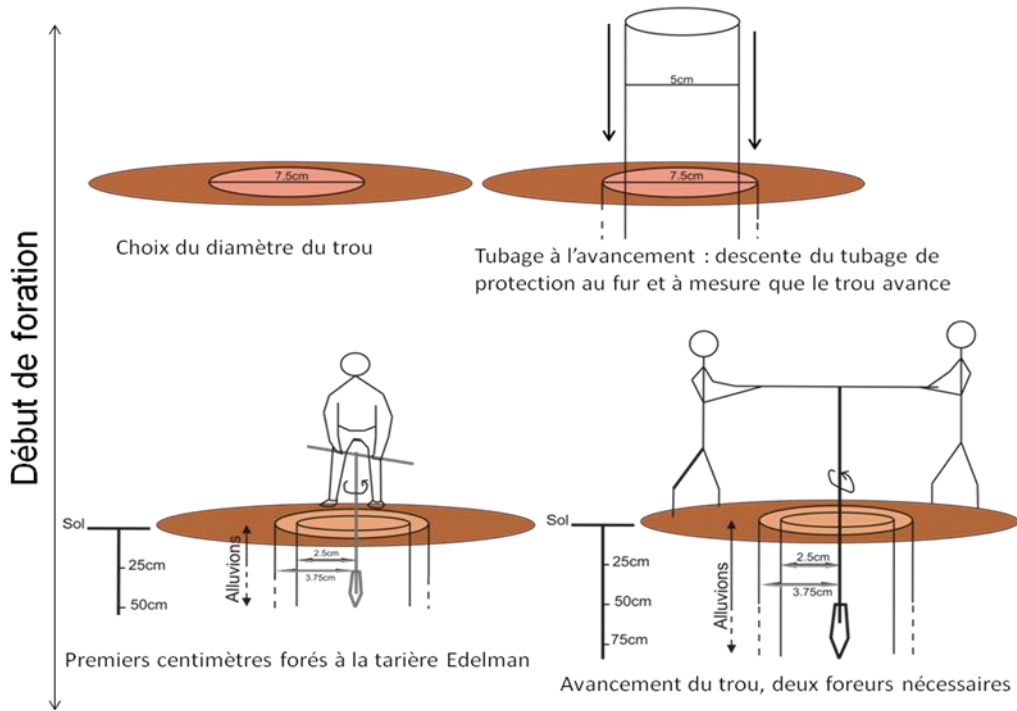
2.3.4 Protection du trou

L'ouvrage une fois terminé est bouché par des capots métalliques ou en PVC. Il doit être aussi protégé par la construction d'une margelle tout autour en ciment ou en argile compactée.

« La carte d'identité (nom, date de réalisation, profondeur, niveau d'eau à la foration...) » de l'ouvrage est souvent mentionnée sur les parois du PVC ou le capot métallique.

2.3.5 Représentation schématique des différentes étapes de la foration

Les différentes étapes de la foration : réalisation du trou nu, développement, équipement, et protection du trou peuvent être schématisées comme suit :



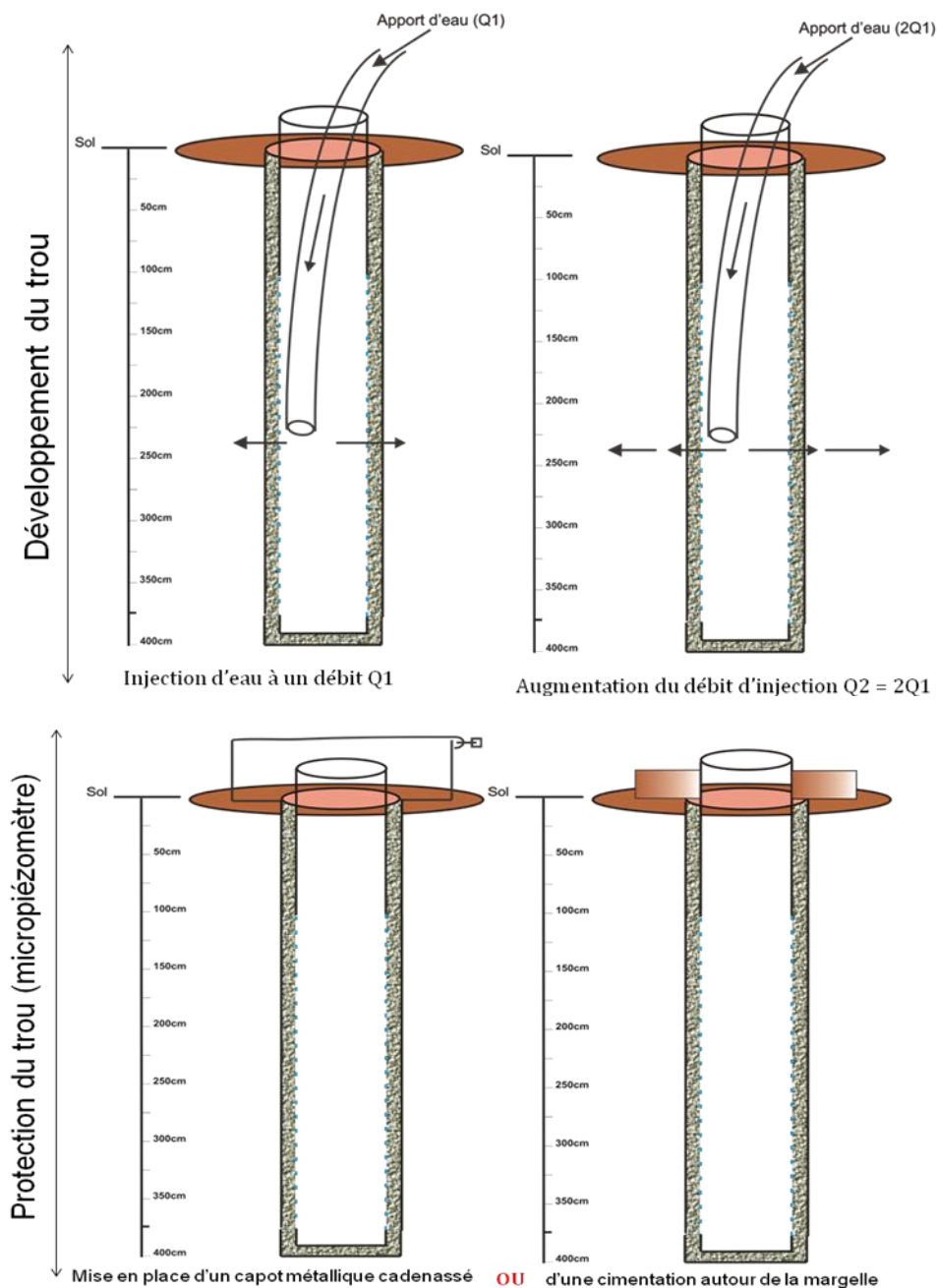


Figure 3 : conceptualisation schématique des différentes étapes de la foration manuelle

III. Difficultés de foration et limites d'investigation

3.1. Difficultés généralement rencontrés et solutions proposées

Les limites de la foration manuelle peuvent être résumées comme suit :

- impossibilité de forer dans les sols durs (bedrock sain),
- profondeur de foration limitée généralement: inférieure à 10 m,

Quant à la réalisation physique de l'ouvrage (micro piézomètre) les problèmes généralement rencontrés et les solutions envisageables sont relayés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Nature des difficultés rencontrées pendant la foration manuelle et solutions envisageables

Nature	Solutions envisageables
Choix du site	Reconnaissance géologique préalable du terrain
Eboulement de terrain	Installation d'un pré tubage – Injection de boue de forage (si disponible)
Mauvaise remontée des cuttings dans les terrains humides	Remonter les tiges – nettoyer et réessayer
Ralentissement de la « tête coupante » dans les roches dures	Revoir et/ou changer la tête coupante, la technique de foration –
Blocage de la rotation des tiges	Injection d'eau

Dans le cas du site de Nasso au Burkina Faso, la plupart des horizons aquifères sont situés à moins de 2 m de profondeur. Les problèmes ont été rencontrés dans les matériaux sableux fins où les cuttings fluaient entre les parois de la tête coupante, rendant leur remontée difficile. Dans les horizons argileux humides, l'adhérence des argiles aux parois de la tête coupante ont rendu la pénétration et l'avancement de la tarière parfois difficiles.

3.2. Limites d'investigations

Les micro-piédomètres présentent quelques limites pour des investigations hydrogéologiques ou géologiques qui se résument comme suit :

- matériaux généralement remaniés lors de la foration, ce qui rend difficile l'établissement de logs de forage fiables,
- débits des ouvrages faibles rendant difficile la réalisation d'essais de pompage/ traçage
- à long terme (deux à trois mois après la réalisation de l'ouvrage) diminution des débits de l'aquifère par suite d'envasement réguliers des crépines nécessitant des curages réguliers

IV. Mémento : Quoi préparer dans une campagne de forage à la tarière manuelle ?

Phase de Bureau

1. Faire une recherche bibliographique sur la nature des matériaux du sous-sol et choisir la technique de foration à employer (foration avec ou sans tubage à l'avancement)
2. Apprêter l'équipement de tarière convenable (simple ou combiné) et prendre tout le matériel disponible : tiges de rallonges, manchons de raccordement, têtes de forage, tige poignée, sac de transport
3. Préparer le matériel pour l'équipement du trou (tubages en PVC pleins et crepinés, gravier, ciment)
4. Préparer le matériel pour l'emballage et la conservation des échantillons
5. Préparer de quoi noter ou dessiner (carnets, stylos, crayons....)
6. Préparer l'équipe des foreurs (nombre suffisant)

Phase de terrain

7. S'assurer de la disponibilité d'une source d'eau à proximité (rivière, piézomètre ou forage existant)
8. Réaliser de l'avant trou (optionnel, dépend du contexte)
9. Repartir l'équipe de foration en trois groupes : celui chargé du maintien des tubages et des tiges, celui chargé de la foration, et le conducteur de chantier
10. Réaliser le trou (forer, équiper, développer)
11. Protéger le tubage par un bouchon et l'ouvrage tout entier par un capot métallique
12. Nettoyer le site de foration et marquer le numéro d'identification du forage

V. Conclusion

La technique de foration manuelle est une technique de mise en œuvre facile, rapide et peu coûteuse. Elle présente néanmoins quelques limites en termes de profondeur d'investigation. Quelques critères objectifs (géologique, hydrogéologique, coût ...) devraient guider le choix des outils convenables pour la foration manuelle.

Références Bibliographiques

- Ball, P. (2004) Solutions vers la réduction du coût des puits d'eau en milieu rural Africain. Notes de terrain. Programme pour l'Eau et l'Assainissement (PEA), RWSN, fondation skat.
- Giovanni, M. (2010). Caractérisation hydrogéologique de la plaine alluviale du bassin du Kou, Bobo-Dioulasso - Burkina Faso. (Mémoire d'Ingénieur, Département de Géologie, Université de Liège): 133p.
- EntreprisesWorks/Vita (2009). La professionnalisation du secteur du forage manuel au Niger. Pratica Foundation, Unicef. 8p.

Sites et liens utiles

- <http://www.sdec-france.com/produits.php?numprod=125&lg=fr>
- <http://tilz.tearfund.org/Francais/Pas+%C3%A0+Pas+51-60/Pas+%C3%A0+Pas+51/Puits+for%C3%A9s+%C3%A0+la+main.htm>
- http://www.unicef.org/wash/files/1_case_FR_June09.pdf
- http://www.unicef.org/wash/files/2_case_FR_June09.pdf
- http://www.unicef.org/wash/files/3_case_FR_June09.pdf
- http://www.unicef.org/wash/files/4_case_FR_June09.pdf
- http://www.unicef.org/wash/files/5_case_FR_June09.pdf
- http://www.pat-drill.com/pdf/WSP_Solution_french.pdf