

Supervision des forages d'eau potable

Guide à l'intention des superviseurs



Résumé

La qualité de la supervision des forages joue un rôle primordial dans la réalisation de puits pérennes. Le présent guide s'adresse aux géologues et aux ingénieurs responsables de la construction de forages ainsi qu'aux chefs de projet. Il peut servir à la fois d'outil de formation et de manuel.

Le présent document décrit les responsabilités du superviseur aux différents stades de la construction d'un forage. Il explique ce qu'il convient de faire à chaque étape pour s'assurer que le foreur livre un ouvrage conforme aux dispositions contractuelles.

On attend du superviseur un grand professionnalisme et des compétences dans les domaines de la géologie, de l'hydrogéologie et de la construction de forages. Bien qu'il représente le client, il doit régler les éventuels litiges en rapport avec le contrat avec honnêteté, impartialité et équité. Les superviseurs de forages peu expérimentés ont besoin de l'appui de collègues chevronnés.

La présente publication fait partie d'une collection consacrée à la réalisation de forages publiée par le RWSN, qui comprend également les documents suivants:

- Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages (Danert *et al.*, 2010)
- Développement de l'accès durable à l'eau souterraine: utilisation, protection, amélioration (Furey, 2014)
- Implantation des forages – guide à l'intention des chefs de projet (Carter *et al.*, 2014)
- Analyse des coûts et détermination des prix – guide à l'intention des entreprises de forage d'eau (Danert *et al.*, 2014)
- Passation de marchés et gestion des contrats de construction de forages – guide à l'intention des superviseurs et chefs de projet (Adekile, 2014)

L'auteur part du principe que les lecteurs auront accès aux autres documents, tous accessibles sur le site web du RWSN à l'adresse: <http://www-rural-water-supply.net>.

Table des matières

Résumé	2
Introduction	2
Principes de la supervision des forages.....	3
Déroulement et étapes de la construction d'un forage	5
Étape 1: Inspection	6
Étape 2: Implantation du forage.....	6
Étape 3: Réunion préalable à la mobilisation.....	7
Étape 4: Mobilisation.....	7
Étape 5: Foration.....	8
Étape 6: Modifications de la conception sur site.....	11
Étape 7: Développement du forage et achèvement du chantier	13
Étape 8: Démobilisation.....	16
Étape 9: Rédaction de rapports et réception de l'ouvrage....	16
Observations finales.....	16
Glossaire	17
Annexe A: Liste de contrôle du projet à l'intention du foreur ..	18
Annexe B: Listes de contrôle des étapes du forage à l'intention du superviseur.....	19
Annexe C: Agencement des fosses de circulation/décantation	23

Introduction

Actuellement, la communauté internationale redouble d'efforts pour réaliser les Objectifs du Millénaire pour le Développement relatifs à l'eau potable et l'accès universel sera peut-être bientôt à l'ordre du jour partout dans le monde. S'il faut s'en féliciter, la volonté de servir davantage de personnes ne doit toutefois pas nuire à la qualité. Un forage mal conçu peut cesser de fonctionner au bout d'un an avec pour conséquences le gaspillage des sommes investies et la déception des usagers. Si des professionnels qualifiés ne supervisent pas convenablement la foration et la construction, la tentation de faire des économies à tout prix risque de compromettre la qualité et d'entraîner l'échec des services. La qualité des forages ne doit pas pâtir de l'absence de supervision. Il revient aux États, aux ONG et aux institutions concernées d'y veiller.

L'approvisionnement en eau des régions rurales passe souvent par les puits et les forages, qui constituent les principaux points d'accès à l'eau souterraine. On estime qu'1,25 milliard de personnes tirent directement leur eau potable de forages (OMS/UNICEF, 2012). En supposant que 40 % de l'eau potable acheminée par des canalisations proviennent de forages, ce sont 2,9 milliards de personnes (42 % de la population mondiale) qui dépendent de forages. Présentes quasiment partout, les nappes phréatiques et les sources sont relativement faciles à exploiter et leur utilisation ne coûte pas cher. Elles sont également davantage à l'abri de la pollution que d'autres sources d'eau.

Il est crucial que le rapport qualité/investissements à long terme des forages soit optimal, c'est-à-dire qu'ils remplissent leur fonction pendant 20 à 50 ans. Dans certains pays africains, jusqu'à 60 % des sources d'eau souterraine ne sont pas exploitées. La mauvaise qualité des ouvrages contribue à cette sous-exploitation. L'une des meilleures solutions à ce problème consiste à améliorer la qualité des travaux, le professionnalisme du secteur et plus particulièrement la supervision.

Encadré 1: Raisons de l'importance d'une supervision de qualité

Abuja, Nigéria: un forage de 35 m de profondeur devait être construit. Le superviseur s'est rendu tardivement sur le chantier et, à son arrivée, le foreur avait déjà atteint une profondeur de 60 m. Il prétendait ne pas avoir trouvé beaucoup d'eau à 35 m et avoir été contraint de continuer. De toute évidence, il ne cherchait qu'à se faire payer des mètres supplémentaires mais il s'est avéré impossible de prouver sa mauvaise foi. La clause contractuelle stipulant l'interdiction de commencer le forage sans la présence d'un superviseur sur le chantier aurait pu être invoquée mais comme il s'agissait d'un cas exceptionnel, l'argument du foreur a été jugé recevable. Conclusion: le superviseur ne doit pas faire attendre le foreur.

Lagos, Nigéria: le cahier des charges prévoyait l'utilisation d'un système télescopique. Après avoir foré, tubé et colmaté un trou de grand diamètre, le foreur s'est attaché à forer le colmatage à l'aide d'un trépan de plus petit diamètre. Le colmatage n'a pas résisté, provoquant une infiltration de sable et d'eau. Deux chargements de camion ont été nécessaires pour évacuer le sable du chantier. Le foreur a expliqué ne pas avoir l'habitude de la technique prévue par le cahier des charges et aurait préféré faire appel à une autre méthode pour réaliser le forage demandé. Un hydrogéologue expérimenté du ministère des Ressources en eau a été sollicité pour agir comme arbitre. Il a reproché au superviseur de ne pas avoir organisé de réunion préalable à la signature du contrat afin de vérifier la capacité du foreur à exécuter le travail demandé, et au foreur de ne pas avoir proposé de méthode entrant dans son champ de compétence. Conclusion: rédiger avec le foreur un protocole d'accord avant le début des travaux.

In Le RWSN (Réseau pour l'approvisionnement en eau en milieu rural) a publié en 2010 le Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages en s'appuyant sur les bonnes pratiques internatio-

nales. Ce document s'articule autour de neuf principes (encadré 2) permettant aux organisations internationales, aux entreprises privées et aux ONG de comparer leur approche aux bonnes pratiques internationales. Le RWSN publie aujourd'hui des documents d'orientation détaillés abordant chacun de ces principes afin de renforcer ce Code de bonnes pratiques et d'aider les professionnels à l'appliquer.

Le présent guide qui en fait partie, s'intéresse à la supervision. Celle-ci relève du Principe 6, selon lequel: «*La supervision doit être effectuée par le personnel du gouvernement ou par le secteur privé. Des experts supplémentaires peuvent être engagés pour combler les lacunes en termes de compétences avec l'objectif de renforcer l'expertise à long terme*». Le RWSN a identifié une insuffisance des compétences dans le domaine de la supervision des forages. Le présent manuel s'adresse donc aux superviseurs peu expérimentés, par exemple les géologues et les ingénieurs fraîchement diplômés, les techniciens généralistes et les chefs de projet. L'application des recommandations contenues dans le présent guide devrait leur permettre de réduire les coûts globaux des forages, d'améliorer la qualité du produit fini et de produire un ensemble de documents écrits qui aideront les responsables des services d'approvisionnement en eau des régions rurales à exploiter et à entretenir ces points d'eau sur le long terme.

Pour tirer un parti optimal du présent guide, les lecteurs devront posséder une connaissance approfondie des pratiques de détection et de forage des *aquifères* et l'utiliser conjointement aux autres publications de la collection Code de bonnes pratiques (énumérées dans le résumé en page 2). Noter également le glossaire des termes techniques (page 20) signalés dans le texte par des *italiques*.

Encadré 2: Neufs principes généraux relatifs à la réalisation de forages

1	Entreprises professionnelles de forage et consultants - la construction des forages et la supervision sont réalisées par des organisations professionnelles compétentes qui respectent les normes nationales et sont réglementées par le secteur public.
2	Implantation - des pratiques d'implantation éprouvées utilisant les moyens scientifiques et les compétences adaptées sont mises en œuvre.
3	Méthode de construction - la méthode de construction choisie pour le forage est la plus économique compte tenu de la conception de l'ouvrage et des techniques disponibles dans le pays. La technologie de forage doit correspondre à la conception des ouvrages.
4	Passation des marchés - les procédures de passation des marchés garantissent que les contrats sont attribués à des consultants et des entrepreneurs de forage expérimentés et compétents.
5	Conception et construction - le forage est conçu dans l'optique du meilleur rapport qualité/prix, pour une durée de vie de 20 à 50 ans et respecte les spécifications minimales répondant à l'utilisation souhaitée du forage.
6	Gestion des contrats, supervision et paiement - des mesures adéquates garantissent la bonne gestion du contrat, la supervision et le respect de l'échéancier de paiement de l'entreprise de forage.
7	Données et informations - des données de bonne qualité sur l'hydrogéologie et la réalisation de chaque forage sont collectées à un format standard et remises à l'autorité gouvernementale compétente.
8	Base de données et tenue d'archives - le stockage des données hydrogéologiques est entrepris par une institution du gouvernement central qui met à jour les archives, garantit l'accès gratuit à l'information et utilise ces données pour la préparation des spécifications.

9 **Suivi** - des visites régulières aux usagers des nouveaux forages sont effectuées pour évaluer leur fonctionnement à moyen et long terme et les résultats en sont publiés.

Principes de la supervision des forages

Buts, rôles et responsabilités

La supervision des forages a pour objectif de garantir la conformité de la construction aux *spécifications* et de veiller à l'exactitude de toutes les données recueillies et consignées pendant le processus ainsi qu'à leur transmission aux autorités compétentes. Même si les forages sont confiés à une entreprise compétente (dénommée ci-après le «foreur»), leur qualité dépend de la manière dont la supervision est effectuée. Sans une bonne supervision, la qualité des travaux effectués risque de ne pas être à la hauteur des attentes. Un foreur expérimenté peut facilement tromper un superviseur novice. Il faut donc former les superviseurs et leur donner l'opportunité d'acquérir les connaissances qui leur permettront de mener à bien leur mission.

Encadré 3: Rôles et responsabilités en matière de forages

Les membres des **communautés** sont les usagers finaux des services d'eau potable. Ils doivent participer au processus d'implantation et de conception afin que le produit fini réponde à leurs besoins. Si les communautés participent à la supervision, il convient de renforcer considérablement leurs compétences avant de leur confier la responsabilité des détails techniques ou contractuels.

Le **client** est l'organisation ou la communauté qui sous-traite la construction du forage. Il doit respecter les obligations réglementaires et déléguer sur le site des superviseurs convenablement formés pendant toute la durée des opérations de foration.

À noter qu'il est important que les **autorités du district** participent au processus, même si elles ne sont pas le client. Elles doivent être présentes lors de la réunion de pré-mobilisation ainsi qu'à la supervision de fin de la construction.

L'**organisme de financement** paie pour le forage. Il peut s'agir du client ou d'une autre organisation, par exemple un partenaire international de développement ou une ONG. L'organisme de financement ne doit pas imposer de conditions susceptibles d'engendrer des incitations négatives ou de saper la viabilité à long terme du produit fini (par exemple, en favorisant l'offre la moins disante en terme de prix au détriment de la qualité). Il doit respecter les systèmes mis en place par les autorités nationales ou locales.

L'**organisme de réglementation** délivre les permis ou les licences de forage ou de captage. Le client doit s'informer des obligations légales le plus tôt possible afin d'éviter les retards.

Le **chef de projet** est en général responsable d'un projet plus vaste. Les activités de forage ne constituent que l'un des éléments d'un plan de projet couvrant la formation/mobilisation des communautés, la sélection de la pompe, la conception et la construction des points d'eau et la création ou la consolidation d'un service rural d'approvisionnement en eau potable.

Le **superviseur** est parfois appelé «inspecteur de l'atelier de forage». En général, la supervision est effectuée par le personnel du client ou un consultant. Le superviseur peut être un hydrogéologue, un ingénieur ou un technicien. Bien que le foreur et le superviseur collaborent à la fourniture de l'ouvrage, leurs rôles diffèrent. Le superviseur doit veiller à ce que le foreur respecte les *spécifications techniques*, effectue toutes les mesures requises, tienne un registre à jour et garantisse le respect des procédures en matière de santé et de sécurité.

Le **foreur ou entrepreneur** est l'organisation qui exécute la foration. Selon le cas, il s'agira d'une société privée indépendante ou bien d'une équipe interne travaillant pour une administration ou une ONG. Le foreur est responsable de la foration conformément aux spécifications. Chaque foreur doit désigner un «rapporteur» présent sur le site en permanence, chargé de collationner toutes les mesures et de remplir les formulaires.

Niveaux de supervision

La supervision des forages comporte trois niveaux:

- 1. Supervision permanente:** le superviseur accompagne l'équipe de forage du début à la fin du processus, de l'inspection à la *démobilisation*. Les programmes de grande ampleur comprenant de multiples ateliers de forage comptent plusieurs superviseurs, qui séjournent dans le camp des foreurs et les accompagnent sur le chantier tous les matins. Ce niveau de supervision est idéal mais nécessite des ressources qui ne sont pas toujours disponibles.
- 2. Supervision ponctuelle:** le superviseur responsable de plusieurs ateliers de forage risque de ne pouvoir assister qu'aux phases décisives des travaux. Les activités à effectuer en sa présence doivent être stipulées dans le contrat, de même que les conséquences du non-respect de ces dispositions. En revanche, le superviseur est tenu de se rendre rapidement sur le chantier et de ne pas provoquer de retards inutiles. Les activités concernées sont les suivantes:
 - *mobilisation*;
 - vérification de l'implantation/sélection du site;
 - achèvement de la foration;
 - tubage;
 - développement du forage;
 - essais de pompage;
 - *démobilisation*;
 - construction de la plateforme et installation de la pompe (délégation possible, en fonction du contrat).

Le rapporteur, qui appartient à l'équipe de forage (encadré 3), joue un rôle incontournable. Il est chargé de collationner les mesures et de remplir les formulaires à toutes les étapes du processus énumérées ci-dessus. Sa fonction doit figurer dans les documents contractuels.

Figure 1: Exemple d'équipement: mètre pour la mesure de la profondeur, sonde électronique, mètre-ruban, conductimètre, PH-mètre, GPS



- 3. Supervision de fin de contrat:** il s'agit plutôt d'une inspection du chantier à l'occasion de laquelle le superviseur parcourt les documents établis tout au long du processus et vérifie le fonctionnement du forage. Si elle a été planifiée, la supervision par les membres de la communauté est très importante (section 2.3). Le rôle du rapporteur est aussi important que dans le cadre de la supervision ponctuelle.

Dans tous les cas, le superviseur doit disposer d'un équipement minimum (encadré 4) et donner des consignes sur le chantier (encadré 5).

Encadré 4: Équipement du superviseur

Véhicule: dans l'idéal, le superviseur doit être indépendant. Lorsque cela s'avère impossible, le foreur assure son transport de et vers le site.

Caméra d'inspection des puits: utile pour éviter les litiges sur la longueur du tubage. Une fois, par exemple, le superviseur a examiné plusieurs forages d'un même projet à l'aide d'une caméra. Le foreur avait travaillé si vite qu'il n'avait pas été possible de superviser les opérations. Plusieurs ouvrages se sont avérés ouverts alors que les spécifications demandaient leur tubage. Il a dû les forer à nouveau. Ces caméras sont de moins en moins coûteuses et devraient par conséquent être utilisées dans le cadre de tous les projets de forage.

Autres: bottes, casque de chantier, bloc-notes, cahier, manifold, appareil photo numérique, *GPS*, téléphone portable, pied à coulisse, niveau à bulle (pour vérifier la verticalité du mât de forage et du socle ainsi que la pente des drains de ruissellement), sonde, mètre-ruban, débit-mètre («V-plate» à calibre simple), loupe, chronomètre, bâtonnets et étalons pour mesurer le pH, disque et réactifs pour vérifier la teneur en fer, bouteille d'acide chlorhydrique si l'on s'attend à rencontrer du calcaire et trousse de premiers secours.

Encadré 5: Consignes sur le chantier

Les spécifications techniques du forage doivent exposer la procédure en matière de consignes ainsi que les conséquences du non-respect de ces dernières. Le superviseur doit remettre au foreur ses consignes rédigées en double exemplaire sur papier carbone. Le foreur doit en signer l'original (qu'il conserve) et le double (qu'il remet au superviseur).

Participation des communautés

Quel que soit le niveau de supervision adopté, il est essentiel que les membres de la communauté participent à toutes les phases du processus de foration afin qu'ils s'approprient l'ouvrage et en comprennent l'exploitation et la maintenance. Cette participation est d'autant plus nécessaire en cas de supervision ponctuelle ou d'inspection de fin de projet.

Avant la mobilisation du foreur ou aux stades initiaux de la construction, certains membres de la communauté (enseignants, agents sanitaires, membres d'associations d'usagers de l'eau) reçoivent des explications sur les différentes phases de la foration ainsi qu'une formation aux tâches suivantes:

- exécution des mesures requises et enregistrement des observations;
- enregistrement quotidien d'informations telles que les heures de début et de fin de la foration ainsi que les interruptions éventuelles et leurs motifs;
- calcul de la profondeur de forage par comptage du nombre de tubes descendus dans le trou;
- enregistrement de la profondeur et de l'heure de la première *venue d'eau* et des suivantes en cas de forage à l'air comprimé;

- comptage et enregistrement de la longueur et du nombre de tubes et de crépines installés;
- comptage du nombre de sacs de ciment utilisés;
- observation de la mise en place du gravier et du joint sanitaire, des essais de pompage et indications relatives à l'éventuelle chloration de l'eau du forage.

Les informations issues de la supervision communautaire permettent au superviseur d'établir un compte rendu précis de l'état d'avancement de la foration, qu'il peut comparer au rapport quotidien du foreur.

Ce que l'on peut raisonnablement attendre de la communauté dépend de ses capacités en lecture et en calcul. Notons également

que la participation de la communauté ne pourra jamais remplacer le travail d'un superviseur expérimenté.

Déroulement et étapes de la construction d'un forage

La figure 2 décrit le déroulement de la construction d'un forage ainsi que les responsabilités du foreur et du superviseur à chaque étape. Le présent document est structuré autour de ces différentes phases. Une fiche de contrôle à l'intention du superviseur a été préparée pour chacune d'entre elles (annexe B).

Figure 1: Déroulement de la construction d'un forage

Étapes de la construction	Responsabilités du foreur	Responsabilités du superviseur
1. Inspection	Rassembler l'équipement et le personnel en vue de l'inspection	Inspecter l'équipement et interroger le personnel
2. Implantation	Effectuer la prospection hydrogéologique et géologique; envoyer le rapport	Vérifier l'équipement; fournir des orientations concernant l'implantation; valider le rapport d'implantation
3. Réunion préalable à la mobilisation	Soulever des points spécifiques en rapport avec les exigences contractuelles	Avec le client, discuter en profondeur de la conception, des matériaux et des procédures pour chaque étape couverte par le contrat
4. Mobilisation	Soumettre le programme des travaux; soumettre des échantillons de matériaux; transporter l'équipement jusqu'au chantier	Rencontrer la communauté; approuver l'équipement et les matériaux de forage; guider le foreur jusqu'au chantier
5. Foration	Positionner l'atelier de forage et le faire fonctionner; prélever des échantillons; établir un rapport	Surveiller le forage; déterminer la profondeur maximale de forage; effectuer la diagraphie du forage
6. Modifications de la conception sur site	Mettre en place le tubage et la crépine, le massif filtrant et le joint sanitaire; établir un rapport.	Déterminer la profondeur de pose de la crépine et du tubage; vérifier le bon positionnement du massif filtrant et du joint sanitaire
7. Aménagement du forage et achèvement du chantier	Aménager le forage; effectuer les essais de pompage; prélever un échantillon d'eau; désinfecter le forage.	Vérifier que le site est revenu à son état d'origine
8. Démobilisation	Évacuer tout l'équipement et les déchets du site; établir un rapport	Ensure the site is restored to its former state.
9. Rédaction de rapports et livraison de l'ouvrage	Transmettre tous les dossiers. Transférer l'ouvrage	Transférer le forage à la communauté; établir un rapport

Étape 1: Inspection

But: Vérifier les compétences du foreur AVANT la signature du contrat

L'inspection de pré-qualification de l'équipement et du personnel peut constituer un prérequis d'admissibilité à soumissionner ou se dérouler dans le cadre du processus d'appel d'offre. Elle peut être effectuée par le client ou par un superviseur mobilisé à cet effet. Il est essentiel de convenir d'une date avec les foreurs potentiels. Les exigences minimales varient selon les pays, mais le tableau 1 fournit la liste de l'équipement et du personnel dont le foreur doit impérativement disposer pour un contrat de dix forages au Nigéria. La liste de contrôle de supervision n° 1 (annexe B) précise les principaux points à inspecter.

Si le foreur doit se charger de la prospection géophysique relative à l'implantation des forages, il convient de déterminer s'il en possède les capacités. S'il envisage de confier l'implantation à un consultant, il faut confirmer la disponibilité de celui-ci mais aussi inspecter et tester l'équipement. L'employé du foreur ou le consultant doit exercer la profession d'hydrogéologue ou de géophysicien et être qualifié. Selon les spécifications de l'implantation, le foreur doit disposer d'un conductimètre, d'un appareil de mesure de l'électromagnétisme, d'un GPS et d'un logiciel d'interprétation des données adapté. L'origine des capteurs à distance, des cartes et des données existantes sur les forages doit être confirmée.

À l'issue de la sélection du foreur et de la conclusion du contrat et avant la mobilisation, le foreur doit confirmer la disponibilité des équipements approuvés.

Tableau 1: Exemple d'équipement et de personnel de base requis pour un projet de dix forages

Type d'équipement	Personnel
1 atelier de forage	1 responsable du forage
1 compresseur	1 hydrogéologue
1 pompe à boue	1 opérateur d'atelier de forage
1 camion-citerne	1 conducteur
1 camion de soutien logistique	1 mécanicien
Longueurs de tiges de forage requises pour forer le trou le plus profond	3 assistants chefs de chantier
Trépan du bon diamètre	
Tubage, massif filtrant, boue de forage	

Étape 2: Implantation du forage

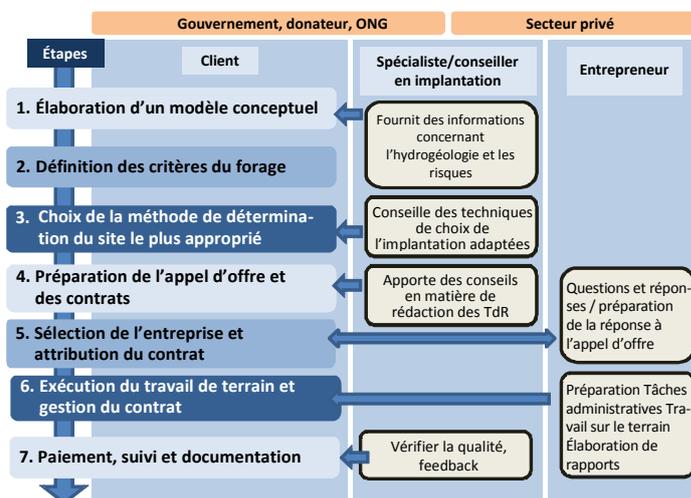
But: S'assurer que le forage a lieu à un endroit où l'eau est accessible aux usagers et protégée contre la pollution

Le superviseur doit consulter la publication 2010-5 du RWSN intitulée Implantation des forages d'eau – guide à l'intention des chefs de projet qui détaille la procédure d'implantation des forages. La liste de contrôle n° 2 (annexe B) recense les domaines auxquels le superviseur devra prêter une attention particulière.

Étude du site: il convient d'étudier la zone où se trouve la communauté ou celle du projet avant le début des travaux et baser la profondeur de forage estimée figurant dans le *devis quantitatif* sur la profondeur indiquée par l'étude d'implantation. Les sites potentiels des forages doivent être repérés et montrés à la communauté.

En effet, il existe dans certaines d'entre elles des espaces à valeur culturelle et religieuse ou des terres sacrées qu'il convient d'éviter. Les foreurs sont responsables de l'implantation des forages. Si le contrat ne prévoit pas le paiement des forages négatifs (approche dite «pas d'eau, pas de paiement»), ils doivent suivre les étapes 1 à 3 du document Implantation des forages d'eau – guide à l'intention des chefs de projet (figure 3).

Figure 2: Déroulement des opérations d'implantation des forages



Protection du point d'eau: lorsque le superviseur, les représentants de la communauté et les propriétaires des terres parcourent la zone du projet pour identifier les sites convenant à l'implantation de forages, ils doivent repérer les zones présentant un risque de pollution telles que les latrines, les cimetières, les décharges publiques ainsi que les dépôts de carburant et de lubrifiants. Il faut également tenir compte des grands axes routiers, des enclos à bétail, des lignes électriques ainsi que de la vulnérabilité des points d'eau existants tels que les puits privés (voir Carter *et al.*, 2010). Le tableau 2 fournit quelques directives sur la distance minimale devant séparer les forages des structures existantes. En principe, il existe des directives de ce type pour chaque pays, voire pour des conditions de terrain spécifiques. Ne pas oublier cependant que, lorsque le risque pour les *aquifères* est faible (c.-à-d. que la surface est imperméable et l'*aquifère* confiné), la distance séparant les forages des sources de pollution potentielles peut être inférieure. Si le site le plus favorable se situe à proximité d'une source de pollution, des latrines par exemple, il faudra étudier la possibilité d'éloigner cette source du site envisagé.

Prospection géophysique: si le foreur se charge de la prospection géophysique, le superviseur doit être présent lors de la prise de mesures afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement et de l'exactitude des relevés, de manière à ce que cela ne constitue pas, selon les termes d'un usager de l'eau, d'une «*cérémonie de pose de câbles*».

Les sites retenus sont signalés par des piquets en bois peint ou des tas de pierres et présentés aux représentants de la communauté. Il convient d'identifier trois sites par communauté et de les numéroter par ordre de priorité. Le foreur doit remettre un rapport comportant les coordonnées GPS des sites et une carte de la communauté où ils figurent.

Lorsque le superviseur juge que le foreur a diligemment prospecté les meilleurs sites, il approuve le rapport et autorise le début de la foration.

Encadré 6: Que se passe-t-il si l'on ne trouve pas de site de forage convenable?

Le site idéal se caractérise par une hydrogéologie favorable, l'absence de sources de pollution potentielles à proximité, des terres disponibles et un bon accès pour les foreurs et les usagers. Cependant, toutes ces conditions sont rarement réunies et s'il s'avère impossible de trouver un site acceptable, le chef de projet et la communauté doivent s'efforcer de trouver d'autres sources d'eau.

Tableau 2: Distance entre le forage et les structures existantes (adapté de FGN/NWRI, 2010)

Structures existantes	Distance minimale par rapport au forage (m)
Forages d'approvisionnement en eau	50
Puits creusé à la main	20
Autres puits/forages	10
Fosse septique/puisard	20
Cours d'eaux, canaux, fossés d'irrigation	20
Bâtiments	3
Décharge de déchets solides approuvée et cimetière	1 000
Zone côtière	Normalement pas à moins de 1 000 m

Étape 3: Réunion préalable à la mobilisation

But: S'assurer que le foreur et le superviseur connaissent parfaitement leurs rôles et leurs responsabilités précis ainsi que les dispositions du contrat

Après la signature du contrat et avant la mobilisation, il est essentiel que le client, le foreur et le superviseur se rencontrent pour discuter de la conception, des matériaux et des procédures relatifs à chaque étape du contrat. Les rôles et les responsabilités de chacun doivent être clairement déterminés afin d'éliminer toute ambiguïté éventuelle et de modifier si nécessaire le contrat en conséquence.

Cependant, de nombreux foreurs ne lisent pas le contrat et se contentent d'insérer leurs prix dans le *devis quantitatif*. La réunion préalable à la mobilisation permet d'expliquer verbalement et en détail la teneur du contrat, ce qui évite les conflits sur le chantier. Si elle n'a pas lieu, un équipement inadapté ou des matériaux de mauvaise qualité risquent d'être livrés sur le site et le superviseur peut se trouver contraint d'accepter des compromis pour respecter des délais serrés.

Étape 4: Mobilisation

But: Passer de la signature du contrat au déploiement de l'équipe de forage sur le chantier

La liste de contrôle n° 3 (annexe B) recense les principaux aspects de cette étape. Elle commence par les activités de liaison et se termine sur le chantier. La mobilisation comprend ce qui suit:

1. **Contrat:** les projets de forage et leur supervision reposent sur un accord contractuel. La phase de mobilisation démarre après la signature du contrat et la réunion préalable à la mobilisation (étape 3). Adekile (2012) aborde les aspects passation de marché et gestion des contrats.
2. **Programme des travaux:** le superviseur doit discuter des *spécifications techniques* et de la procédure de forage avec le foreur et convenir avec lui des profondeurs ciblées. Il doit ensuite

demander au foreur de soumettre un programme des travaux. Le tableau 3 en fournit un exemple.

Tableau 3: Exemple de programme d'exécution des travaux pour un ensemble de cinq forages

Description	Semaines									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mobilisation	■									
Implantation du forage	■	■								
Foration, tubage et développement										
Communautés 1 et 2			■							
Communautés 3 et 4				■						
Communauté 5					■					
Essais de pompage et analyse de la qualité de l'eau						■				
Construction de la plateforme							■			
Installation de la pompe								■		
Démobilisation									■	

3. **Liaison avec la communauté:** avant l'arrivée du foreur sur le chantier, le superviseur ou le chef de projet doit discuter à plusieurs reprises avec les principaux contacts ou représentants de la communauté bénéficiaire du projet, des détails du processus de foration, de leurs obligations et de leur contribution. Le représentant du foreur doit rencontrer la communauté et convenir avec elle de la date de début des travaux.
4. **Contrôle de l'équipement:** il faut contrôler l'équipement qu'utilisera le foreur afin de s'assurer qu'il est en bon état de fonctionnement et identique, ou équivalent, à celui examiné lors de l'étape d'inspection.
5. **Contrôle des matériaux:** certains contrats spécifient les fournisseurs, les fabricants ou les sources d'approvisionnement des matériaux à utiliser tels que *boue de forage*, *tubage* et *crépines*. Le foreur doit soumettre des échantillons des matériaux à l'approbation du superviseur, qui devra contrôler la taille des fentes et l'épaisseur des parois, par exemple.

Figure 3: Crépine en PVC (à gauche fente de 0,75 mm, à droite fente de 1 mm)



6. **Fiches de recueil des données:** les parties doivent convenir de la manière dont le recueil des données de forage exigé par le contrat aura lieu. L'annexe E du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages (Danert *et al.*, 2010) fournit des modèles. Le foreur et le superviseur conviendront sur le chantier de la version finale à copier, qu'ils signeront à l'issue de l'exécution de toutes les étapes prévues au contrat.
7. **Système d'archivage des projets:** la plupart des données peuvent être stockées sous forme électronique mais des exemplaires papier sont essentiels pour le travail sur le terrain. On crée un dossier (en double exemplaire) par communauté où sont stockées toutes les informations et données la concernant.

Les listes de contrôle relatives aux différentes étapes de la construction du forage (annexe B) sont imprimées, fixées au rabat du dossier et cochées à mesure de l'avancement de la construction. L'original est conservé au bureau et le double sur le *camp de forage* ou au bureau de chantier.

8. **Agencement du camp de forage:** lorsque l'envergure des projets nécessite la mise en place d'un *camp de forage*, le foreur doit soumettre un croquis de son agencement. La sécurité et l'hygiène en constituent les principaux critères d'approbation: les objets inflammables doivent se trouver à distance des flammes ou des sources probables de chaleur et les polluants potentiels doivent être éloignés des points d'eau et des espaces-cuisine. Les tubes et les crépines en PVC doivent être protégés des rayons directs du soleil qui les fragiliseraient. Lorsque le projet couvre une zone importante, des *camps provisoires satellites* peuvent s'avérer nécessaires dans les zones les plus éloignées afin de réduire le temps de déplacement. Ils sont soumis aux mêmes critères d'approbation que le plan du *camp de forage*.

Après exécution et approbation de ce qui précède, le foreur et le superviseur sont prêts à se rendre sur le site.

Étape 5: Foration

But: Forer un ouvrage de qualité en toute sécurité et consigner toutes les données du processus

Après l'arrivée du foreur sur le chantier, utiliser la fiche de contrôle n° 4 (annexe B). Les points suivants sont essentiels:

1. **Sécurité:** la foration est une activité très dangereuse. La sécurité des ouvriers sur le chantier est absolument primordiale. Le contrat doit stipuler clairement les responsabilités en la matière. Le superviseur doit faire preuve d'une vigilance constante afin d'éviter les accidents et de limiter la gravité des éventuelles blessures. Il doit veiller à sa propre sécurité et être conscient des risques que courent l'équipe du foreur et le public. La foration est une activité nouvelle qui attire rapidement la foule et notamment les enfants. Le public doit demeurer derrière une barrière clairement matérialisée, où il ne risquera pas d'être blessé, voire tué, par la chute d'objets tels qu'une tige de forage ou un flexible s'échappant d'un *compresseur* ou d'une pompe à boue. Il est possible de demander à un représentant de la communauté d'aider à faire respecter le balisage. Le superviseur doit disposer d'au moins une formation de secouriste de base et d'un nécessaire de premiers secours.

Figure 5: Mauvaises conditions de sécurité (absence de casques et de barrières clairement matérialisées)



2. **Positionnement de l'atelier de forage:** l'atelier de forage doit impérativement être horizontal et son mât vertical afin d'obtenir un trou parfaitement droit. La verticalité du tube de forage doit être vérifiée à l'aide d'un niveau à bulle. L'atelier de forage doit

reposer sur un calage en bois solide afin de toujours conserver sa verticalité. Il faut le positionner exactement sur un site délimité par des piquets. Ce point est particulièrement important quand l'implantation est confiée à un consultant employé par le client et non au foreur. Si le forage s'avère négatif, personne ne pourra en contester l'emplacement.

Le foreur doit veiller à ce que le poids exercé sur le train de tiges permette de maintenir la rectitude du trou. Le recours à une masse-tige est recommandé sur au moins les trois premiers mètres après le marteau. La première tige de forage peut être dotée d'ailettes soudées pour l'alourdir et renforcer l'effet de raclage qui donnera un trou circulaire et droit. Par ailleurs, le foreur ne doit pas exercer une traction excessive sur les tiges.

3. **Contrôle de la profondeur de forage:** le superviseur doit connaître en permanence la profondeur du *trépan* pour assurer l'enregistrement de données fiables, savoir à quelle profondeur il demandera au foreur de s'arrêter et comparer la profondeur forée à celle recommandée dans le contrat. Un foreur peu scrupuleux peut chercher à voler le client soit en forant beaucoup trop profond soit en annonçant une profondeur de forage supérieure à la réalité. L'encadré 7 décrit plusieurs méthodes de mesure. Le rapporteur (encadré 3) doit prendre systématiquement note de la profondeur de forage.

Encadré 7: Mesure de la profondeur de forage (adapté de Ball, 2001)

Pour contrôler la profondeur de forage, on peut mesurer la longueur d'une tige de forage et la multiplier par le nombre de tiges pleines descendues dans le trou.

On peut apposer un repère sur la tige à la craie ou avec de la graisse: une fois l'atelier de forage équipé de la première longueur de tige et du *trépan*, ce dernier est abaissé jusqu'au sol. Le chiffre «0» est inscrit sur la tige au niveau de la *table de rotation* qui en assure le centrage, puis des marques assorties de chiffres ascendants à partir de 0 sont apposées à la craie tous les mètres jusqu'en haut de la tige. Les marques à la craie mesurées sont ensuite reportées sur les tiges à ajouter ultérieurement. Cette procédure permet à tous les membres de l'équipe de forage de voir d'un coup d'œil à quelle profondeur se situe le *trépan* par rapport à la surface du sol. Remarque: si le marteau est remplacé par un autre plus long après le début du forage, il faut recommencer le marquage des tiges.



Figure (ci-dessus) Marquage des tiges de forage permettant d'enregistrer avec précision les échantillons, les taux de pénétration et le débit d'injection d'air

4. **Taux de pénétration:** temps que nécessite le forage d'un intervalle donné. Un taux de pénétration rapide peut signaler la présence d'un *aquifère*, mais pas toujours. Les strates moins poreuses, telles que les granits jeunes, sont souvent plus lentes à forer.

5. **Fluides de forage et débit d'injection d'air:** les *fluides de forage* servent à retirer les cutting du puits et empêchent son effondrement pendant la foration. Le type de fluide doit être adapté à la méthode de forage adoptée:

- marteau fond-de-trou: air comprimé, eau et air ou mousse;
- forage rotary: boue de forage (eau + additif). Attention: souvent utilisée, l'argile bentonite est interdite dans certains pays parce qu'elle peut endommager l'*aquifère* de manière irréversible. Il faut utiliser des polymères biodégradables;
- forage par percussion: en général, ne nécessite pas de fluides;
- forage manuel (percussion, tarière manuelle, à la boue, par pression hydraulique): eau.

Le suivi de la couleur et de la *viscosité* du *fluide de forage* relève de la responsabilité du foreur. Le contrôle de la *viscosité* s'effectue par mesure du débit du *fluide de forage* à travers un viscosimètre Marsh. Le superviseur doit s'assurer que le foreur dispose de cet équipement et qu'il l'utilise convenablement. En cas de forage par percussion à air comprimé, le débit airlift se mesure à l'aide d'un débitmètre («V-plate»), d'une canalisation ou d'un conteneur. Toutes les observations et les mesures sont consignées mètre par mètre en s'aidant des repères apposés sur la tige de forage.

6. **Échantillons de cutting de forage:** pour prélever les échantillons, le foreur interrompt la foration, nettoie le forage afin de faire remonter jusqu'à la surface tous les déblais présents dans le trou, reprend le forage, puis collecte les cutting. Dans le cas d'un forage par injection d'air, les échantillons sont recueillis dans un seau placé dans le flux d'air expulsé du forage. Dans le cas d'un forage à la boue, les échantillons sont prélevés à la pelle dans une petite fosse de collecte pendant que les boues s'écoulent vers la fosse principale. Le foreur doit s'assurer que la capacité et l'état de la pompe à boue permettent d'extraire les déblais du trou. Si le forage n'est pas convenablement nettoyé, les cutting risquent de se mélanger et d'y demeurer, ce qui empêchera les tubages de descendre à la profondeur requise lors du chemisage.

Figure 6: Des échantillons sont déposés et enregistrés tous les mètres.



Les échantillons de forage doivent être placés dans des sacs transparents robustes, marqués à l'encre indélébile et stockés dans un endroit où ils ne seront contaminés ni par l'environnement du chantier ni par les opérations de forage. Les informations reportées sur les sacs concernent le numéro et la localisation du forage ainsi que le nombre d'échantillons et la profondeur à laquelle ils ont été prélevés. Les échantillons doivent

être rangés dans une boîte réservée à cet effet. Il convient de les photographier afin d'en conserver une trace permanente. Dans le cas du forage à la boue, les échantillons auront été mélangés au *fluide de forage*. Il convient de les laver avant de les placer dans des sacs. Le lavage de matériaux rocheux meubles comme les argiles, qui risquent de se désagréger dans l'eau, doit être réalisé avec précaution.

L'intervalle de profondeur du recueil des échantillons figurera éventuellement dans les *spécifications techniques* mais les conditions de forage pourront contraindre à le modifier. Il est possible que les *spécifications* stipulent un prélèvement d'échantillons tous les mètres. Cependant, dans un forage profond où la formation ne change pas rapidement, l'intervalle pourra passer à trois mètres. De la même manière, en cas de changement rapide de la *lithologie*, le superviseur pourra le réduire à 0,50 m.

Encadré 8: Description d'échantillons de roches sédimentaires

■ La description consiste à identifier et à consigner:

- la couleur;
- la texture;
- la taille et la forme des grains;
- le matériau;
- le type de roche.

Par exemple, la description des échantillons prélevés dans un forage effectué dans des roches sédimentaires sera la suivante:

0 – 2 m	ARGILE dure gris foncé
2 – 4 m	SABLE meuble gris brun à gros grains anguleux
4 – 6 m	GRÈS blanc partiellement compacté, grains moyens à gros
6 – 10 m	GRÈS blanc partiellement compacté à gros grains
10 – 23 m	GRÈS blanc compacté

7. **Diagraphie:** le superviseur doit décrire les échantillons de forage et préparer une diagraphie. La description des échantillons de roches sédimentaires et cristallines fait appel à des méthodes différentes (encadrés 8 et 9). À partir de la description des couches géologiques, le superviseur prépare une diagraphie qui sera intégrée au rapport de forage final.

8. **Profondeur finale du forage:** le superviseur doit demander au foreur de cesser de forer une fois la bonne profondeur atteinte. Cette décision dépend des informations recueillies pendant la foration. Les facteurs déterminants sont les suivants:

- dispositions contractuelles éventuellement basées sur des consignes du client concernant la profondeur moyenne des forages dans la zone;
- profondeur des *venues d'eau/de l'aquifère*;
- *niveaux statiques de l'eau*;
- variations saisonnières estimées des niveaux d'eau, c'est-à-dire modification des niveaux d'eau du fait de la réalimentation des nappes pendant la ou les saisons humides et de leur assèchement pendant la ou les saisons sèches;
- débit estimé du forage. Voir l'encadré 10.

The Les signes caractéristiques d'un débit et d'une profondeur de forage adéquats dépendent du type de sol et de la méthode de foration. Si le débit apparaît de toute évidence satisfaisant, la profondeur finale d'un forage à équiper d'une pompe manuelle doit être d'au moins 5 mètres dans l'*aquifère*. Elle doit tenir compte de l'installation adéquate de la pompe. Elle doit également prévoir 3 à 6 m de puisard (tubage sans perforation) sous la crépine en guise de filtre à sable.

En revanche, si le débit laisse clairement à désirer, il faut poursuivre le forage jusqu'à obtenir un débit suffisant. Le débit est mesuré à chaque étape à l'aide du débitmètre («V-plate»). Un puisard de 6 m peut éventuellement convenir en cas de problème de sable et de limon. Si les sections supérieures contiennent de fines particules de *saprolite*, il faut les chemiser afin d'éviter la pénétration de limon dans le puisard.

Encadré 9: Description et classification des roches cristallines en fonction du degré d'altération et des minéraux dominants

Degré d'altération	Critère de classification	Caractéristique type
I	Jeune	Identique à son état d'origine
II	Légèrement altéré	Légère décoloration, léger affaiblissement et dislocation
III	Modérément altéré	Très affaibli, décoloration pénétrant à l'intérieur Impossible de casser de gros morceaux à la main
IV	Très altéré	Il est possible de casser de gros morceaux à la main Ne se désagrège pas facilement (dépôt) quand on immerge un échantillon sec dans l'eau
V	Totalement altéré	Extrêmement affaibli Dépôts Texture d'origine apparente
VI	Sol résiduel	Sol issu d'une altération in situ mais ne conservant plus aucune trace de sa texture ou de sa charge d'origine

Par exemple, la description d'un terrain granitique pourra être la suivante:

0 – 6 m	ARGILE limoneuse brun orangé
6 – 16 m	SABLE fin argileux gris brun
16 - 23 m	GNEISS IV-III+ granitique à biotite
23 - 30 m	GNEISS III+ granitique à biotite
30 – 43 m	GNEISS I granitique à biotite

9. **Rapport de forage:** les données relatives au forage doivent être consignées à la fois en vue de la conception finale et à titre de référence pour de futurs projets de forage. Le foreur remplit un rapport quotidien qui doit être signé par l'opérateur de l'atelier de forage et par le superviseur à la fin de chaque journée. Le superviseur doit insister pour que cette procédure soit respectée car les foreurs considèrent souvent qu'elle constitue une intrusion inutile dans leur travail. Il doit consigner les activités de forage et toutes les mesures dans un carnet de terrain. Les données les plus importantes seront reprises dans le Rapport d'achèvement de forage (annexe E3 Crépine et équipement du forage, Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forage), qui sera constitué, classé ou relié avec le rapport de projet final et remis au bureau compétent à des fins de référence ultérieure. Les données relatives aux forages négatifs ou abandonnés doivent également être consignées.

Encadré 10: Signes indicateurs d'un débit et d'une profondeur adéquats

Géologie à socle cristallin: les données de la prospection géophysique doivent indiquer la profondeur probable à laquelle se trouvent les roches jeunes. Dans le *complexe métamorphique* de l'Afrique de

l'Ouest, celle-ci ne dépasse généralement pas 60 m parce que le *régolithe* a rarement plus de 30 m de profondeur et que la plupart des diaclases se ferment à une profondeur de 50 m. En **Afrique orientale et australe**, le *régolithe* peut atteindre 100 m d'épaisseur.

En cas de forage à l'air, les *venues d'eau* sont évidentes parce que l'eau est expulsée du trou. La réalisation d'une petite dépression autour du trou permet d'estimer le débit du forage à mesure de l'avancement de la foration. L'eau soufflée à l'extérieur du trou est envoyée dans une canalisation. Le temps nécessaire au remplissage d'un seau d'un volume connu donne le débit en litres par seconde (l/s).

Une pompe manuelle a besoin d'environ 0,3 l/s. Si le débit est suffisant, on mesure le *niveau statique de l'eau*. Si le forage a lieu pendant la saison humide, on prévoit une marge de profondeur pour tenir compte de la variation saisonnière des niveaux d'eau. On prévoit également le *rabattement* dû au pompage. Ainsi, pour un forage présentant un *niveau statique de l'eau* de 10 m, il faudra peut-être prévoir 15 m afin de tenir compte de la variation saisonnière et du *rabattement*. Dans ce cas, le forage aura une profondeur de 30 m.

La profondeur à laquelle les roches jeunes apparaissent peut signaler la nécessité d'arrêter le forage, mais si elle est faible ou pas indiquée dans la prospection géophysique, il convient de continuer à forer sur 5 ou 10 m supplémentaires pour s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un bloc isolé ou d'une *altération sphéroïdale*. Dans le forage par percussion, les roches jeunes sortent sous forme de fines ou de matière poudreuse de couleur foncée ou claire en fonction du matériau dont elles proviennent.

Certains sédiments consolidés (grès, pélites, schistes) peuvent être très compactés et durs et nécessiter un forage au marteau fond-de-trou et à l'air. Les critères déterminant la profondeur à laquelle arrêter le forage sont les mêmes que pour les roches cristallines. Certains *sédiments consolidés* moins compactés nécessiteront la même méthode que les roches *non consolidées*.

Formations non consolidées (graviers, sables): la *venue d'eau* n'est pas visible comme dans le forage à l'air parce que la foration du trou s'effectue à l'aide d'une boue de forage. Il est impossible d'estimer le débit avant le tubage et le nettoyage du forage. La profondeur finale dépend des informations hydrogéologiques préalables issues de forages existants et, parfois, des diagraphies géophysiques ainsi que des types *lithologiques* rencontrés pendant la foration. Il faut surveiller de près l'ensemble du processus de forage pour trouver les couches où l'eau est emmagasinée. Le forage peut s'arrêter lorsqu'il atteint une bande épaisse et continue de sable ou de calcaire fissuré sous la zone de saturation permanente, à une profondeur en corrélation avec les *aquifères* détectés dans d'autres forages environnants. Il convient de pénétrer le plus profond possible dans l'*aquifère*.

Dans le cas de *sédiments non consolidés*, une observation attentive du processus de foration révélera un ou plusieurs des signes suivants indiquant que l'on a atteint une couche aquifère prometteuse:

- les échantillons de cutting de forage montrent qu'une couche de sable ou de gravier a été atteinte (cela nécessite un échantillonnage scrupuleux des cutting);
- augmentation du taux de pénétration;
- rebond du train de tiges contre un lit de gravier;
- perte de *viscosité* du *fluide de forage* (mesurée à l'aide d'un viscosimètre Marsh);
- changement de couleur soudain du *fluide de forage*;
- baisse notable du niveau de *fluide de forage*;
- baisse éventuelle de la température du *fluide de forage* due à un afflux d'eau souterraine.

Étape 6: Modifications de la conception sur site

But: Faire en sorte que le forage utilise l'aquifère de manière efficace, ait une longue durée de vie et soit le plus rentable possible en termes d'investissement, de maintenance et d'exploitation

Le Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages (Danert *et al.*, 2010) présente les différents types d'ouvrages. La conception provisoire, qui permet de déterminer les spécifications indiquant au foreur l'équipement nécessaire au chantier, doit précéder la signature du contrat. Tout travail de conception effectué sur le site nécessite de modifier ou de finaliser la conception d'origine.

Le superviseur est responsable des modifications de conception sur site. Aucun ouvrage ne se ressemble, chaque forage devant être adapté en fonction de la géologie locale, laquelle est impossible à prédire avec certitude. La conception consiste à sélectionner les dimensions et les matériaux adaptés (profondeur, type et diamètre des tubages et des crépines, intervalles de profondeur d'installation et *massif filtrant*). Les critères de conception sont énumérés dans la fiche de contrôle n° 5 et décrits en détail ci-dessous. En principe, la plupart des paramètres ci-dessus auront déjà été pris en compte lors de l'élaboration des *spécifications techniques*, mais les informations recueillies pendant la foration viendront parachever la conception définitive.

1. **Profondeur:** tirée du rapport de forage;
2. **Formation rocheuse:** quel est le type d'aquifère ? Si possible, faire appel au savoir-faire et à la cartographie géologiques locaux, mais en général il existe trois types d'aquifères: *le socle*, *le sédimentaire consolidé* et *le sédimentaire non consolidé*;
3. **Débit:** il suffit de forer jusqu'à la profondeur assurant le débit requis sans contamination par les eaux de surface. Le **Error! Reference source not found.** indique les plages de débit associées à différentes formations rocheuses. Les choix relatifs aux autres paramètres, tels que le diamètre et le chemisage du forage, doivent viser à atteindre le débit requis.

Tableau 4: Plages de débit assurées par divers types d'aquifères

Type d'aquifère	Types de roches	Débit (l/s)
Sédiments consolidés	Grès, pélites	0,1 – 4
Sédiments non consolidés	Sables, graviers	> 4
Socle métamorphique*	Granits altérés	0,1 – 1

* Le socle métamorphique se subdivise également en (a) saprolite (souvent caractérisée par un faible débit et une propension à l'apport de limon), (b) saprock (débit souvent élevé) et (c) roche-mère (débit potentiellement élevé quand elle est fracturée).

4. **Diamètre du forage:** le diamètre du forage doit être d'une taille suffisante pour que la pompe, le tubage, les crépines, le *massif filtrant* et le joint sanitaire puissent y pénétrer sans accrocher les parois. Les avis diffèrent concernant le diamètre des forages équipés de pompes manuelles. Certains professionnels privilégient les petits diamètres (6 à 6,5 pouces) tandis que d'autres affirment qu'ils engendrent un risque d'obstruction lors de la mise en place du *massif filtrant*. Anscombe (2012), un foreur possédant plusieurs années d'expérience en Afrique australe, avance qu'en réalité la plupart des foreurs n'utilisant pas de *trémie* pour installer le *massif filtrant*, ce dernier n'est pas posé convenablement. Il est donc favorable à un diamètre de puits de 8 pouces. Ce point de vue a des conséquences en termes de coût.

Figure 7: Contrôle des eaux de décharge



5. **Tubage et crépines:** le tubage est constitué de tuyaux qui empêchent l'effondrement du forage. Les crépines sont des tuyaux dotés de fentes qui permettent à l'eau de pénétrer dans le forage mais bloquent l'entrée des sédiments. Le tubage peut être en acier galvanisé, en PVC (polychlorure de vinyle), en plastique renforcé par des fibres de verre (GRP) ou en bambou. Les deux matériaux les plus utilisés sont le PVC et l'acier. Le choix de l'un ou l'autre dépend de la profondeur du forage et de la corrosivité des eaux souterraines.

Un tubage de 100 mm de diamètre peut accueillir une pompe manuelle. Les pompes immergées peuvent nécessiter un tubage de diamètre supérieur selon le débit requis. En général, les fabricants de pompes produisent des courbes indiquant le débit de leurs machines à certaines profondeurs ou pour certaines têtes de pompage ainsi que le diamètre de forage suffisant pour chaque pompe. Par conséquent, le superviseur doit vérifier que le diamètre du tubage est adapté à la pompe prévue. En général, un diamètre de 150 mm convient aux pompes motorisées installées dans les communautés rurales. Dans le cas de forages destinés à alimenter des petites villes ou des exploitations agricoles, il faut un diamètre supérieur.

Dans le cas de forages profonds mais présentant des *niveaux statiques de l'eau* élevés (c'est-à-dire avec une profondeur faible de la nappe), on peut poser un tubage de grand diamètre, par exemple 300 mm, dans les sections supérieures du forage pour abriter la pompe (appelé chambre de pompe) et un tubage plus petit (100 à 150 mm) pour chemiser les sections inférieures et l'aquifère.

Dans les *roches consolidées*, telles que le *complexe métamorphique*, la profondeur est rarement supérieure à 60 m. Le tubage et les crépines en PVC peuvent supporter la pression exercée par la formation. Certains spécialistes affirment que la partie inférieure du forage sera probablement stable et peut donc rester ouverte et sans tubage. Dans ce cas, seule la couche altérée supérieure est tubée. Dans ce type d'ouvrage, il faut injecter un coulis de ciment dans l'*espace annulaire* entre le tubage et le terrain. Cependant, d'autres ont remarqué que ces forages ne sont pas toujours durables et que certains ont tendance à se colmater.

Dans les formations *non consolidées*, l'ouvrage est entièrement chemisé pour en éviter l'effondrement. Si la profondeur de l'aquifère est supérieure à 100 m, la forte pression exercée par l'eau et la formation rocheuse nécessite de poser un tubage et

des crépines en acier. Dans les *aquifères* profonds contenant de l'eau légèrement acide, le recours à du plastique GRP peut s'avérer judicieux car l'acier doux risque de se corroder.

Le superviseur doit s'assurer que les tubages et les crépines fournis sont neufs et conformes aux spécifications. En cas de doute, il vérifie le diamètre et l'épaisseur des parois à l'aide d'un pied à coulisse. Le foreur doit remettre un échantillon de tuyau coupé en deux, qui est mesuré au milieu car la mesure de l'épaisseur à l'extrémité filetée ne donne pas le chiffre exact. Le tableau 5 fournit les dimensions des tubages, l'épaisseur de leur paroi et les profondeurs d'installation possibles indiquées par leur fabricant.

À noter que la longueur des tiges de forage, des tubages, des crépines et autres n'est pas toujours standard. Il faut parfois les couper et en refaire le filetage. Souvent, les «longueurs standards» de 3 m mesurent en réalité 2,95 m, par exemple.

Tableau 5: Dimensions des tubages et des crépines en PVC

(source: fabricant Boode b.v., Pays-Bas)

Profondeur de pose (m)*	Diamètre ext. x int. (mm)	Épaisseur de paroi (mm)
50 – 75	110 x 103.4 (3½")	3.3
75 – 100	110 x 101.6 (3½")	4.2
200 – 300	113 x 96.6 (4")	8.2
50 – 75	125 x 117.6 (4½")	3.7
75 – 100	125 x 115.4 (4½")	4.8

* Les profondeurs de pose indiquées reposent sur l'expérience pratique et peuvent varier en fonction du terrain.

6. **Crépines:** elles sont installées au niveau de l'*aquifère*. La crépine de forage est un dispositif de filtration qui permet la pénétration de l'eau dans les ouvrages construits dans des *aquifères non consolidés* et semi-consolidés, bloque la pénétration des sédiments et étaye le matériau *aquifère*. L'augmentation du diamètre du forage n'exerce qu'un faible impact sur le débit de l'eau qui y pénètre. En revanche, l'augmentation de la longueur de la crépine l'accroît de manière significative. Par conséquent, il est préférable de crépiner une surface maximale de l'*aquifère*, dans la limite du coût supportable. La différence de prix entre les tubages et les crépines en PVC est minime mais les crépines en acier inoxydable sont très onéreuses et à utiliser avec parcimonie.
7. **Taille des fentes des crépines:** la surface ouverte totale de la crépine régit la quantité d'eau qui pénètre dans le forage. La taille des fentes compte moins avec les pompes manuelles car la quantité d'eau requise est relativement faible. Il suffit de veiller à ce que le matériau *aquifère* soit retenu par la taille de fente sélectionnée. Pour s'en assurer, on peut procéder à une analyse granulométrique du matériau *aquifère* mais une méthode rapide consiste à en frotter un échantillon contre la crépine. Une taille de fente adaptée permettra aux *fines* de passer et bloquera les grains grossiers. On a remarqué que dans certains pays d'Afrique australe, les tubages disponibles sur place présentent souvent des fentes de grande taille (1 mm). Cela ne convient pas toujours. Si l'*aquifère* est chargé de limon et que les fentes le laissent passer, les joints de la pompe risquent de s'user et au bout d'un certain temps le forage s'ensablent.

Dans les ouvrages motorisés devant fournir un débit élevé, on peut installer une crépine de grand diamètre à mesure qu'augmente la surface ouverte totale. L'eau traverse plus facilement une crépine à grande surface d'admission qu'une crépine dont la surface ouverte est restreinte. Pour empêcher les

remous susceptibles de provoquer des incrustations et de réduire la durée de vie de la crépine, la vitesse d'écoulement à travers celle-ci ne doit pas dépasser 0,03 m/s. L'ouverture minimale permettant un débit modéré peut se calculer à l'aide de la formule:

$$A = Q/30$$

où A est la surface d'ouverture en m² et Q le débit de l'eau en l/s (Macdonald *et al.*, 2005).

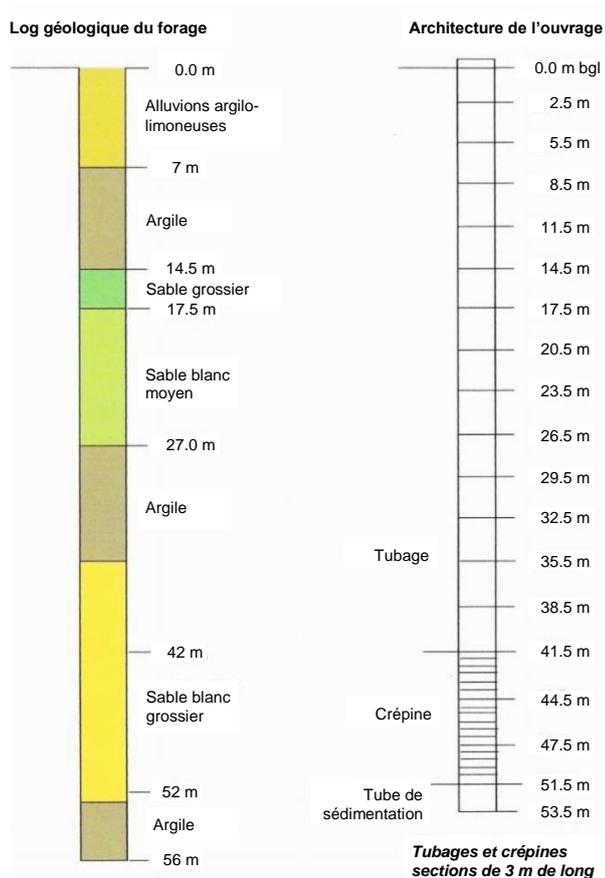
8. **La pose des tubages et de la crépine** requiert le plus grand soin et la plus grande attention car il est facile de poser le tubage au niveau de l'*aquifère*. Une fois connues la profondeur de foration et les intervalles de pose de la crépine, il faut réaliser un croquis de l'assemblage tubage/crépine envisagé. Ces derniers devront être disposés conformément au croquis. Il faut les mesurer individuellement et en additionner les longueurs, et vérifier qu'ils sont conformes au croquis. Ils doivent être placés à proximité de la masse-tige, prêts à être posés dans le forage. Le superviseur doit prendre une photographie de l'agencement pour le dossier. La figure 8 compare une diagraphie à l'ensemble tubage/crépines dans un sol sédimentaire. Une fois tous les matériels insérés, il faut comparer la profondeur forée à celle du tubage et des crépines. Si la différence excède 3 m, il est alors nécessaire de vérifier le bon emplacement de la crépine ou si le forage s'est effondré. Le cas échéant, l'entrepreneur doit retirer le tubage, nettoyer le forage et réinsérer le tubage jusqu'à totale satisfaction du superviseur.

Les raccords doivent être suffisamment robustes pour supporter tout le poids du tubage pendant la pose. Les filetages doivent être intacts. Les filetages mâles et femelles doivent être convenablement nettoyés à l'aide d'une brosse et d'un chiffon avant leur assemblage. Si l'on utilise des raccords non filetés, il faut les nettoyer et les assembler avec le solvant de collage conseillé par le fabricant. **Avant de descendre le tubage dans le forage, le superviseur doit vérifier que le temps de séchage du solvant destiné à créer un joint d'étanchéité est respecté.**

Ce point est crucial mais parfois le foreur, pressé de quitter le chantier, raccourcit la durée prescrite. Le tubage et la crépine en acier doivent être assemblés à l'aide de raccords filetés étanches. En cas de soudage, la soudure doit être totalement pénétrante et continue. Il est préférable d'éviter de souder les tubages car la soudure, en plus de prendre du temps, risque de rouiller et de les rendre inopérants, et peut les faire dévier. De plus, les tubages en acier rainurés au chalumeau sur place se corrodent beaucoup plus facilement que ceux rainurés en atelier au préalable.

L'ensemble tubage/crépine doit descendre dans le trou par gravité. Il ne faut jamais forcer sur les tubages; une légère traction est exercée sur le tubage au moment de la mise en place du massif filtrant. En fait, il faut le lever légèrement (de 100 mm) quand il atteint le fond et le laisser dans cette position pendant le déversement du gravier (voir point 9) de façon à ce qu'il soit droit et non de biais. Dans certains cas, on se sert de centreurs pour aligner le tubage dans le trou. Un filtre à sable de 3 m de long doit être prévu lorsque les forages sont chemisés jusqu'au fond et que le dernier tubage est muni d'un obturateur.

Figure 8: Comparaison du tubage et de la crépine à la diagraphie



9. **Massif filtrant:** il est mis en place dans l'*espace annulaire* entre la crépine et la paroi du terrain. Souvent, on laisse le matériau *aquifère* s'effondrer contre la crépine. Les *fines* sont alors évacuées par rinçage lors de la phase de nettoyage. Cette approche, préférable lorsque le matériau *aquifère* est grossier et mobile, permet de ne pas intervenir et de laisser le processus se faire naturellement. Cependant, si cela n'est pas possible, on utilise un massif filtrant artificiel. Il en existe deux types aux fonctions différentes:

- le **stabilisateur de formation:** sable à gros grains ou gravier de rivière déposé dans le trou pour empêcher un effondrement du matériau de la formation susceptible d'endommager la crépine. Le matériau doit être choisi avec soin et tamisé afin de s'assurer qu'il présente une granulométrie uniforme, supérieure à la taille des fentes de la crépine afin qu'il ne pénètre pas dans le forage. Il ne doit contenir ni mica, ni argile, ni latérite. Il faut éliminer les morceaux de grande taille par tamisage car ils peuvent obturer l'*espace annulaire* et empêcher le gravier déversé par la suite d'atteindre le fond. Il ne faut pas utiliser de copeaux de granit comme *massif filtrant* car ils sont généralement anguleux et risquent de faire passer dans l'eau du mica ou un autre matériau dangereux. Le matériau doit être lavé et introduit avec précaution dans le trou à l'aide d'une *trémie* afin d'éviter les obstructions. Il doit s'élever jusqu'à plusieurs mètres au-dessus de l'intervalle crépiné mais s'arrêter au moins 6 m sous la surface du sol.
- Le **massif filtrant** est déposé autour de la crépine dans les formations *non consolidées* à grains fins pour lesquelles il n'existe pas de taille de fente de crépine adaptée. La granulométrie du massif filtrant doit être choisie en fonction de celle du matériau de la formation. Elle doit être supérieure à

celle du sable *aquifère*. La relation entre les deux, baptisée rapport massif-aquifère, se calcule à l'aide de la formule:

Rapport massif-aquifère = 50 % de massif filtrant/50 % de matériau *aquifère*.

Il doit être compris entre 4 et 6. Pour la procédure d'analyse granulométrique et le choix du matériau filtrant adapté, consulter Driscoll, 1986: 406-409.

Il est essentiel que le tubage, la crépine et le *massif filtrant* se trouvent sur le site dès le début du chantier. Après le retrait des tiges, le trou risque de s'effondrer. Il faut donc mettre en place au plus vite le tubage et le *massif filtrant*. En aucun cas il ne faut attendre le lendemain matin. Comme le dit Anscombe (2012): «*Tiges dehors – tubage et gravier dedans – rapidité et efficacité*».

10. **Géotextiles:** dans certains cas, la pose de *géotextiles* évite la pénétration des matériaux à grains fins dans la crépine.

Étape 7: Développement du forage et achèvement du chantier

But: Préparer le forage avant son utilisation et poser la pompe ainsi que les prises d'eau et les structures annexes

La liste de contrôle n° 6 (annexe B) énumère les principaux aspects du développement d'un forage et de l'achèvement du chantier:

1. **Méthode de développement du forage:** elle consiste à nettoyer la zone de l'*aquifère* à proximité immédiate des crépines. Les *spécifications techniques* doivent en stipuler la méthode. La figure 9 illustre la méthode de nettoyage *par airlift*. L'injection d'air comprimé peut se faire au moyen d'un tuyau galvanisé obturé à une extrémité et percé d'orifices de 8 mm espacés sur sa longueur de manière à envoyer dans le forage des jets d'air comprimé horizontaux. Ce tuyau, raccordé au *compresseur*, doit être passé plusieurs fois le long de la paroi crépinée, jusqu'au puisard.

Figure 9: Nettoyage du forage à l'air comprimé



2. **Réussir le développement du forage:** le superviseur doit vérifier que, au bout d'un moment, l'eau qui sort du forage est claire et ne contient ni boue ni sable. Des échantillons d'eau sont prélevés dans un récipient transparent pour vérifier qu'aucun sédiment ne se dépose au fond. Le superviseur s'appuie sur cette procédure pour décider d'accepter ou d'abandonner le forage. En cas d'abandon, il doit également décider si le foreur doit procéder à un nouveau forage à ses

frais ou non. Dans ce cas, sa décision dépendra des dispositions contractuelles.

Bien que certains contrats précisent la durée du développement (nombre minimum d'heures à y consacrer), tout dépend en réalité du temps requis pour que l'eau soit propre. Le processus doit se poursuivre jusqu'à ce que le superviseur constate que l'eau qui sort du forage est propre et dénuée de sable. Le développement de certains forages prend quelques heures mais pour d'autres il peut nécessiter plusieurs jours à plusieurs semaines. Pour d'autres encore, plusieurs mois de pompage s'avèrent nécessaires, par exemple, dans le cas de forages par percussion dans un terrain très meuble, argileux, limoneux, micacé et saturé, en d'autres termes lorsque l'on n'a pas utilisé la bonne technique de forage.

3. **Joint sanitaire:** il est essentiel d'éviter la contamination de l'aquifère et de s'assurer que les usagers puissent consommer l'eau sans risque. Lorsque le superviseur est satisfait du débit et que le stabilisateur ou le massif filtrant sont étayés, l'espace annulaire est remblayé avec des cutting ou de la terre argileuse jusqu'à 6 m sous la surface. Un joint sanitaire est placé dans les 6 m supérieurs pour empêcher les eaux de surface, éventuellement polluées, de traverser l'espace annulaire et de pénétrer dans l'aquifère. Il doit être en coulis de ciment (mélange de 25 l d'eau pour 50 kg de ciment pur ou de bentonite).
4. Les **essais de pompage** permettent de déterminer les chances de réussite du forage en termes de débit et de *rabattement* de la nappe. Ils fournissent des informations sur les propriétés de l'aquifère et sur le forage lui-même.

On peut effectuer deux types d'essais. Il faut toujours procéder à un essai de pompage à débit constant de l'aquifère. Il donne des informations sur le *rabattement* lié à un taux de pompage donné (en général, un peu supérieur au débit envisagé). Les données des essais peuvent également renseigner sur les propriétés de l'aquifère. Un essai de pompage à débit constant de 3 à 6 heures convient pour une pompe manuelle. Si le forage est destiné à une population nombreuse et requiert un débit élevé, il faut éventuellement procéder à un essai de 24 à 72 heures ou davantage (jusqu'à 14 jours).

L'essai de pompage à débit constant fournit des informations sur l'aquifère à proximité du forage. Ses résultats permettent de déterminer la performance à court terme du forage. Cependant, ils ne fournissent aucune information sur la réalimentation de la nappe, les variations saisonnières ou la performance à long terme. En d'autres termes, l'essai de pompage ne fournit pas d'indications sur le débit durable à long terme (plusieurs années) de l'ouvrage. Celui-ci est évalué grâce aux analyses des ressources en eau souterraine menées d'une année sur l'autre (réalimentation et variabilité).

Le second type de test est un essai de pompage à débit variable également dénommé essai de pompage par palier. Il sert à déterminer la performance hydraulique du forage. Ses données permettent d'en calculer la productivité. Il est rarement effectué sur les forages à faible débit (par exemple, ceux équipés de pompes manuelles). En revanche, il est très utile pour les forages de production ou motorisés. Si les données sont conservées, entreprendre un autre essai de pompage par palier cinq années plus tard, par exemple, permet d'effectuer des comparaisons. Il est ainsi possible de voir si le forage s'est colmaté au fil du temps.

L'essai de pompage par palier consiste à effectuer une série de pompages à débit croissant pendant une durée identique, en général une à deux heures. Il comporte habituellement au moins quatre paliers, par exemple à 1/3, 2/3, 1 et 4/3 du taux de pompage théorique escompté.

La conception des essais de pompage à débit constant et par palier doit respecter certaines normes nationales ou internationales (par exemple, BS ISO 1468:2003). Celles-ci précisent la durée du pompage, le débit et d'autres éléments, notamment les méthodes de mesure.

Habituellement, pendant l'essai de pompage le foreur mesure les niveaux d'eau, le débit et le temps. Le superviseur doit veiller au bon déroulement de l'opération. Le Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages (Danert *et al.*, 2010) fournit des indications sur les essais de pompage, notamment une fiche d'enregistrement des données (annexe E7). Le taux de pompage et le niveau de l'eau sont mesurés simultanément et consignés avec l'heure de la mesure. On peut mesurer le taux de pompage à l'aide d'un débitmètre ou bien en notant le temps nécessaire au remplissage d'un récipient dont la capacité est connue, et qui est mesuré plusieurs fois au cours de l'essai.

Il existe plusieurs méthodes d'analyse des données des essais de pompage dont certaines très complexes. Cependant, dans le cadre du présent guide, l'important est que le superviseur sache si le forage fournira ou non la quantité d'eau requise pendant la durée de pompage requise. La *capacité spécifique* du forage, qui exprime la relation entre le débit et le *rabattement*, est la quantité la plus importante:

Capacité spécifique = débit/rabattement (m^3/h par mètre de rabattement)

Elle permet au superviseur de prédire le rabattement probable à différents taux de pompage ainsi que la capacité du forage à fournir suffisamment d'eau. Le calcul du rabattement à différents taux de pompage et la comparaison de ce rabattement à l'intervalle vertical entre le niveau de repos de l'eau et la partie supérieure de la crépine (en tenant compte des variations saisonnières probables du niveau de l'eau, des effets de longues périodes de sécheresse et de l'espace occupé par la pompe elle-même) permettent de calculer relativement facilement un débit viable. Une capacité spécifique d'environ $1 \text{ m}^3/\text{h}$ par mètre suggère que le forage conviendra à une pompe manuelle: dans cet exemple, une pompe manuelle type extrayant $1 \text{ m}^3/\text{h}$ n'entraînera qu'un rabattement d'1 m.

5. **Tests de qualité de l'eau:** les eaux souterraines provenant de forages sont souvent de bonne qualité mais il peut arriver qu'elles contiennent des polluants qui les rendent impropres à la consommation domestique sans traitement. La pollution peut être imputable à des minéraux dissous provenant des roches traversées par l'eau mais provient le plus souvent de polluants biologiques utilisés dans le cadre d'activités humaines. Si le forage est correctement implanté et construit, l'élimination des polluants biologiques est en principe possible.

Les *spécifications techniques* indiquent les paramètres à tester. Il revient au superviseur de vérifier que le foreur prélève les échantillons dans un récipient propre d'au moins 1 l. Si possible, les échantillons doivent être analysés sur place puis transmis à un laboratoire agréé aux fins d'analyse complémentaire. Certains paramètres pouvant changer entre le prélèvement des échantillons et l'arrivée au laboratoire, il faut procéder aux tests sur le chantier ou à proximité (notamment concernant le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, le fer et les micro-organismes).

Figure 10: Vérification de la teneur en fer au niveau de la tête de forage



Lors du prélèvement de l'échantillon, le récipient est rincé plusieurs fois avec l'eau testée, rempli, fermé à l'aide d'un bouchon et étiqueté. Certains pays ont élaboré des normes en matière de qualité de l'eau potable. Le superviseur doit s'y référer pour analyser les résultats de l'essai de qualité de l'eau. En l'absence de normes nationales il convient de recourir à celles de l'OMS.

Les valeurs du pH, de la conductivité, du fer, du manganèse, des nitrates, du fluorure, de l'arsenic et des coliformes thermotolérants requièrent une attention particulière. Les eaux souterraines ferrugineuses contenant du manganèse présentent souvent une couleur marron rouge ou noire. Elles peuvent également avoir un goût amer. Cela ne présente pas de risque sanitaire mais les usagers risquent de refuser de les consommer en raison de leur goût et de leur couleur. L'eau acide corrode la plomberie métallique. Une conductivité élevée signale une forte teneur en solides dissous. La consommation d'eau souterraine à forte teneur en fluorure, en arsenic et en nitrates est toxique.

6. **Désinfection du forage:** il faut **désinfecter** le forage après la foration afin d'éliminer les bactéries susceptibles d'y avoir pénétré pendant sa construction. L'agent habituel est le chlore, qui laisse un résidu dans l'eau de désinfection. La quantité de chlore requise dépend du volume d'eau dans le forage. L'OMS (2012) recommande d'utiliser 1 litre de solution de chlore à 0,2 % pour 100 litres d'eau, soit une concentration de 20 mg/l. Il convient d'attendre au minimum 4 heures ou plus après l'ajout du désinfectant avant de recommencer à pomper. Il faut procéder au mélange et à l'ajout de chlore dans le puits avec la plus grande précaution car il est toxique quand il n'est pas dilué.

7. **Acceptation ou abandon des forages:** le superviseur décide si le forage peut être accepté ou est déclaré infructueux. Dans ce dernier cas, les dispositions contractuelles précisent si le foreur doit recommencer le forage à ses frais ou non. Les conditions d'acceptation d'un forage sont les suivantes:

a) la **profondeur à laquelle se situe le niveau de l'eau** est cruciale pour les pompes manuelles car, avec ce type d'équipement, le pompage n'est plus praticable au-delà de 80 m. Le RWSN (2007) fournit une vue d'ensemble de la profondeur opérationnelle pour les diverses pompes manuelles du commerce. Comme il faut tenir compte du *rabattement* du niveau d'eau, le *niveau statique de l'eau* doit être situé à moins de 80 m sous la surface pour une pompe manuelle. Le *niveau statique de l'eau*, et les normes nationales concernant les pompes déterminent le type de pompe manuelle à installer. La profondeur jusqu'au *niveau statique de*

l'eau ne peut être anticipée par le foreur et ne doit pas le pénaliser. Des niveaux d'eau aussi profonds se rencontrent parfois dans les sols sédimentaires. Dans ce cas, une pompe motorisée s'avère préférable à une pompe manuelle.

b) Les forages négatifs ou ceux dont le débit est inférieur aux besoins sont déclarés infructueux. La responsabilité de cette situation n'incombe pas nécessairement au foreur mais si le contrat stipule que seuls les forages acceptés lui sont payés, le nouveau forage est à sa charge. Cependant, si même après des tentatives de forage sur trois sites au sein d'une même communauté, le débit se révèle inférieur au minimum admissible, il convient de procéder à une réévaluation majeure de la stratégie de forage et d'élaborer les contrats correspondants.

En attendant, s'il manque moins de 30 % du minimum spécifié et s'il n'existe pas d'autres points d'eau salubre ou d'alternative pour améliorer l'approvisionnement en eau, le superviseur peut décider d'accepter le forage et de le mener à son terme. Cependant, cette solution risque de ne pas être pérenne pour la communauté.

c) La **teneur en sable** de l'eau ne doit pas dépasser 10 parties/million par volume. Le superviseur doit prélever trois échantillons de 20 l à la fin de l'essai de pompage. Le volume de sable dans les échantillons ne doit pas excéder 0,2 cm³. S'il faut abandonner un forage en raison d'une teneur en sable excessive, le foreur est responsable de la construction d'un autre forage à ses frais: l'excès de sable est en effet dû au choix d'une technique de forage inadaptée ou bien à la mauvaise qualité des *massifs filtrants* et du développement du forage.

d) La **turbidité** de l'eau ne doit pas dépasser la limite stipulée. Dans certains cas, la turbidité excessive découle des caractéristiques de l'*aquifère* et donc échappe au contrôle du foreur qui ne doit pas en porter la responsabilité.

e) Le tubage de chaque forage doit être **droit et vertical**. Le superviseur peut demander au foreur de procéder à un test de rectitude et de verticalité. Le foreur doit fournir le *plomb* et procéder au test. Si le *plomb* ne descend pas librement dans le tubage jusqu'à la profondeur requise ou si le forage dévie de la verticale de plus des deux tiers du diamètre intérieur d'une section du forage testée tous les 30 m de profondeur, le foreur doit recommencer le forage à ses frais.

f) Le superviseur détermine si la **qualité chimique et bactériologique** de l'eau permet de la juger potable. Si le forage est pollué du fait de l'action ou de la négligence du foreur, il faut lui demander de le désinfecter et, si nécessaire, de construire un nouveau forage à ses frais.

8. **Coulage de la plateforme:** sur tous les forages, la longueur de tubage située au-dessus du sol doit être entourée d'un tablier en béton pour protéger l'ouvrage contre l'érosion du sol et l'écoulement des eaux de surface dans le puits. Les pompes manuelles ont elles aussi besoin d'une plateforme en béton pour supporter leur socle, drainer les fuites d'eau et permettre aux usagers d'y accéder. Il existe plusieurs types de plateformes de pompes, circulaires et rectangulaires (figure 1). Certaines intègrent un abreuvoir pour les animaux ou un lavoir. En général, le coulage de la plateforme est confié à une équipe spécifique et peut avoir lieu après le *démontage* de l'équipement de forage. Le superviseur doit néanmoins veiller à ce que la construction de la plateforme respecte les spécifications contractuelles du client ainsi qu'à la bonne qualité et à la durabilité des matériaux et de la construction. Pour obtenir des informations complémentaires sur la conception des plateformes, voir RWSN (2008) Platform Design for Handpumps on Boreholes - Construction Guidelines.

Figure 11: Plateforme de pompe rectangulaire (pour accès en fauteuil roulant)



Étape 8: Démobilisation

But: Laisser le site propre, sûr et prêt à l'utilisation

À l'issue de l'installation de la pompe, le superviseur doit établir un certificat d'achèvement des travaux. À cette fin, il s'assure que le foreur a respecté toutes les étapes des spécifications contractuelles et notamment les dernières. Voir la fiche de contrôle n° 7 (annexe B).

Avant la *démobilisation*, le superviseur doit vérifier que le rapport de forage a été rempli et que toutes les informations requises y figurent. L'annexe E du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages fournit un modèle d'enregistrement des données.

Étape 9: Rédaction de rapports et réception de l'ouvrage

But: Réaliser un dossier clair et documenté visant à faciliter l'exploitation, la maintenance et la réparation de l'ouvrage et le transférer à la communauté

La finalisation et l'envoi des rapports de forage (aux autorités locales et nationales compétentes) sont essentiels. L'envoi des données relatives à la construction du forage constitue le huitième principe du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages (Danert *et al.*, 2010). Il doit être stipulé dans le contrat de forage et l'approbation des documents constitue une condition préalable au règlement de la facture.

Quand le superviseur juge le forage prêt à l'emploi, une journée est réservée à sa **livraison** à la communauté ou au client. Habituellement, le certificat de livraison est signé par trois personnes: le superviseur, le foreur et le représentant de la communauté.

Pendant la **période de garantie**, le superviseur est chargé du suivi. Il se rend régulièrement dans la communauté et en rencontre les membres auprès desquels il joue le rôle d'agent de liaison concernant le fonctionnement du forage. En cas de vices de fabrication, il demande au foreur d'effectuer les réparations à ses frais, en fonction des dispositions contractuelles.

Observations finales

Le premier chantier est toujours plein d'enjeux et de nouveautés pour le superviseur débutant mais, l'expérience venant, il apprend à maîtriser les procédures et prend confiance en lui. Plus tard, la routine des opérations – descendre et remonter les tiges de forage, les regarder tourner et nettoyer les fosses à boue – peut lui sembler monotone. Il doit se montrer vigilant en permanence et être attentif aux différences qui caractérisent chaque chantier. En cas de litiges ultérieurs, s'il n'a pas été suffisamment attentif, des foreurs expérimentés ou peu scrupuleux peuvent tenter de l'intimider ou de le tromper.

Il est impossible de résoudre tous les problèmes sur le chantier et certains devront être réglés ultérieurement. Afin de se faciliter la tâche, le superviseur doit consigner les opinions divergentes sur l'objet du litige et faire signer le document à toutes les parties. Bien qu'il représente le client, il doit faire preuve d'un grand professionnalisme et agir avec honnêteté et impartialité en cas de différend en rapport avec le contrat.

Une relation d'entraide entre le superviseur et le foreur est nécessaire pour que le projet soit efficacement mené à son terme. Le superviseur doit donc faire tout son possible pour comprendre la technique du foreur, éviter de se montrer trop autoritaire à son égard et ne pas essayer de lui apprendre son métier. Une fois la coopération en place, le foreur peut lui donner des informations importantes qui ne figurent pas toujours dans son rapport, par exemple un bruit différent dans une rame de tiges, une vibration, une variation brutale du taux de pénétration pas forcément notée sur le rapport, un changement du niveau de la boue de forage dans le bac à boue, etc. En revanche, si le foreur s'estime injustement traité par le superviseur (probablement plus jeune que lui !), il sera moins enclin à lui apporter son aide, ce qui pourrait nuire au projet.

La supervision de la foration constitue un aspect essentiel de la construction des forages et le superviseur débutant doit pouvoir compter sur un maximum de soutien. Les visites occasionnelles sur les chantiers des responsables du projet renforcent son autorité aux yeux du foreur.

Glossaire

Altération sphéroïdale – Altération dans laquelle des couches concentriques de roches décomposées sont successivement séparées d'un bloc de roche entraînant la formation d'un rocher arrondi.

Aquifère – Couche rocheuse souterraine dans laquelle est emmagasinée de l'eau que l'on peut extraire à l'aide d'un puits ou d'un forage.

Camp de forage – Base, lieu de séjour de l'équipe et espace de stockage principaux pendant la durée de la campagne de forage. Si un forage se trouve à plus de quelques heures de transport, l'équipe peut établir un *camp provisoire satellite* le temps des travaux.

Camp provisoire – Camp utilisé par l'équipe de forage pendant la construction du forage.

Capacité spécifique – Mesure de la productivité du forage calculée en divisant le débit par le rabattement.

Complexe métamorphique/Socle cristallin – Toute roche magmatique et métamorphique située sous les roches ou bassins sédimentaires

Compresseur – Machine produisant l'air comprimé qui fournit la pression utilisée dans la foration.

Démobilisation – Évacuation du chantier de forage, retour de l'équipe et de l'équipement de forage au quartier général. Nettoyage, réparation et stockage de l'équipement, tâches administratives.

Devis quantitatif – Liste des quantités de matériaux, équipements et activités. Fournit les prix détaillés des activités et des matériaux/matériels.

Espace annulaire – Espace entre deux tubes insérés l'un dans l'autre (p. ex. trou foré et tubage trou foré et tige de forage).

Fines – Matériaux à petites particules tels que le limon et le sable.

Fluide de forage – Gaz ou liquide servant à évacuer les déblais et à empêcher le trou de s'effondrer pendant le forage.

Forage – Point d'eau de petit diamètre obtenu par forage et non par creusement.

Foreur – Entrepreneur de forage. Désigne en général le responsable de la prise de décision.

Fosse de circulation – Fosse dans laquelle la *boue de forage* est mélangée, dont elle est pompée pour pénétrer dans le trou foré et dans laquelle les cutting de forage se déposent (parfois dénommée fosse de décantation).

Géotextiles – Matériaux textiles perméables pouvant servir de filtre sur la crépine d'un forage.

GPS (Global Positioning System) – Des appareils électroniques spécifiques et certains téléphones portables peuvent indiquer aux utilisateurs leur localisation précise grâce à des signaux émis par des satellites en orbite autour de la Terre.

Joint sanitaire – Partie supérieure de l'*espace annulaire* du forage emplie de coulis de ciment ou de bentonite pour éviter l'infiltration des eaux de surface dans le *massif filtrant* et les crépines.

Lithologie – Type de roche, par exemple, granit, gneiss, pélites.

Massif filtrant – Sable à gros grains ou gravier placé autour de la crépine pour éviter la pénétration dans le forage de petites particules provenant de la formation rocheuse.

Mobilisation – Rassemblement de l'équipe et de l'équipement de forage, achat des matériaux/matériels et déploiement du *camp de forage*.

Niveau statique de l'eau – Niveau de l'eau d'un forage qui n'est pas pompée.

Plomb – Poids en plomb, en général suspendu à un fil, servant à mesurer la profondeur de l'eau ou à tester la verticalité d'un puits ou d'un forage.

Pompage par airlift – Pompage de l'eau d'un forage à l'aide d'air comprimé.

Rabattement – Différence entre le *niveau statique de l'eau* et le niveau de l'eau de pompage.

Régolithe – Couche de débris recouvrant la roche-mère, également dénommée manteau altéré, constituée de saprolite et de terre.

Remblai – Remise en place du matériau extrait du trou pendant le forage.

Sabot – Obturateur placé à la base du tubage du forage.

Socle fracturé ou roche-mère fracturée – Roche-mère fracturée dont l'altération est confinée aux marges des fractures.

Saprolite – Roche-mère altérée chimiquement *in situ*.

Sédiments consolidés – Sédiments cimentés ou comprimés en une masse compacte, par exemple grès, pélites.

Sédiments non consolidés – Sédiments meubles non compactés tels que graviers, sables et argiles.

Spécifications ou spécifications techniques – Détail des procédures de forage, de tubage, du développement et de la finalisation requises pour qu'un forage soit opérationnel.

Table de rotation – Guide de centrage de la tige de forage.

Trémie – Entonnoir et tuyau orientant le gravier dans l'*espace annulaire* afin qu'il ne reste pas bloqué avant..

Trépan – Outil de découpe (perforation) de la troche et des altérations, monté sur l'atelier ou l'équipement de forage.

Venue d'eau – Profondeur à laquelle on rencontre l'eau pendant la foration, en général observable en cas de forage par percussion.

Viscosité – Propriété de résistance à l'écoulement d'une substance.

Figure 12: Atelier de forage avec canal d'évacuation de la boue de forage



Annexe A: Liste de contrôle du projet à l'intention du foreur

Étape	Liste de contrôle
1. Avant la signature du contrat	<input type="checkbox"/> Validation de l'équipement du foreur
	<input type="checkbox"/> Validation de l'équipe du foreur
	<input type="checkbox"/> Observation des activités du foreur sur le terrain
2. Réunion de pré-mobilisation	<input type="checkbox"/> Vérification du contrat
	<input type="checkbox"/> Séance de questions/réponses
3. Mobilisation	<input type="checkbox"/> Mobilisation des membres de la communauté
	<input type="checkbox"/> Soumission et approbation du programme des travaux
	<input type="checkbox"/> Vérification et approbation des matériels/matériaux
	<input type="checkbox"/> Visite du foreur sur le site
	<input type="checkbox"/> Validation des fiches de recueil des données
	<input type="checkbox"/> Mise en place d'un système d'archivage
4. Implantation	<input type="checkbox"/> Vérification et validation des instruments de prospection géophysique
	<input type="checkbox"/> Supervision de l'implantation
	<input type="checkbox"/> Remise et validation du rapport
5. Foration	<input type="checkbox"/> Validation de l'emplacement de l'atelier de forage
	<input type="checkbox"/> Mise en place de toutes les mesures de sécurité nécessaires
	<input type="checkbox"/> Prélèvement et conservation d'échantillons
	<input type="checkbox"/> Achèvement de la foration
	<input type="checkbox"/> Enregistrement des données relatives au forage
6. Conception du forage	<input type="checkbox"/> Approbation de la pose des tubages et des crépines
	<input type="checkbox"/> Approbation de la mise en place du massif filtrant
	<input type="checkbox"/> Approbation du joint sanitaire
7. Développement du forage	<input type="checkbox"/> Vérification de la teneur en sable des échantillons d'eau
	<input type="checkbox"/> Réalisation des essais de pompage
	<input type="checkbox"/> Désinfection du forage
	<input type="checkbox"/> Analyse de la qualité de l'eau
	<input type="checkbox"/> Forage fructueux ou infructueux
8. Démobilisation	<input type="checkbox"/> Site rendu à son état d'origine
	<input type="checkbox"/> <i>Remblayage</i> des fosses de circulation
	<input type="checkbox"/> Bouchage hermétique du forage abandonné
	<input type="checkbox"/> Évacuation de tous les équipements du site
	<input type="checkbox"/> Élimination des déchets selon les règles
9. Documentation	<input type="checkbox"/> Le foreur a effectué tous les essais et transmis les rapports.

Annexe B: Listes de contrôle des étapes du forage à l'intention du superviseur

Liste de contrôle n° 1: Avant la signature du contrat

Équipement	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> Atelier de forage	Année de fabrication:
	Fabricant:
	Capacité de levage:
	<input type="checkbox"/> Levage du mât
	<input type="checkbox"/> Démarrage et fonctionnement pendant une heure sans problème
	<input type="checkbox"/> Vérification de la présence de fuites d'huile; y remédier si nécessaire avant d'approuver
<input type="checkbox"/> Compresseur	Année de fabrication:
	Fabricant:
	<input type="checkbox"/> Démarrage et fonctionnement pendant une heure sans problème
<input type="checkbox"/> Pompe à boue et générateur	<input type="checkbox"/> Vérifier la capacité par rapport aux profondeurs de forage estimées
	<input type="checkbox"/> Effectuer les essais des pompes et du générateur
<input type="checkbox"/> Camion-citerne	<input type="checkbox"/> Vérifier la présence de fuites
<input type="checkbox"/> Camions de soutien logistique	<input type="checkbox"/> Vérifier que le foreur dispose des camions de soutien logistique nécessaire
<input type="checkbox"/> Tiges de forage	<input type="checkbox"/> Vérifier que la longueur des tiges convient pour forer le trou le plus profond
<input type="checkbox"/> Trépan (et marteau selon le type d'atelier de forage)	<input type="checkbox"/> Diamètre correct
	<input type="checkbox"/> Adapté à la nature probable du sol
	<input type="checkbox"/> Vérification du bon état de la machine.
<input type="checkbox"/> Équipement de prospection géophysique	<input type="checkbox"/> Les instruments fonctionnent correctement.
	<input type="checkbox"/> Le personnel maîtrise l'utilisation des instruments.
Personnel	Fiche de contrôle
<input type="checkbox"/> Responsable du forage	Nombre d'années d'expérience:
	Expérience de missions similaires:
<input type="checkbox"/> Hydrogéologue	Qualifications:
	Nombre d'années d'expérience:
	Expérience de missions similaires:
<input type="checkbox"/> Opérateur de l'appareil de forage	Nombre d'années d'expérience:
<input type="checkbox"/> Conducteur	Nombre d'années d'expérience:
<input type="checkbox"/> Mécanicien	Nombre d'années d'expérience:
<input type="checkbox"/> Assistants	Nombre d'assistants:
	Nombre d'années d'expérience:
<input type="checkbox"/> Rapporteur	Nombre d'années d'expérience:

Liste de contrôle n° 2: Implantation

Activité	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> 1. Priorités des usagers – Sur la base de la consultation de la communauté	<input type="checkbox"/> Proximité par rapport au point d'utilisation:
	<input type="checkbox"/> Accès équitable pour tous les usagers, notamment les femmes et les membres de la communauté les plus défavorisés OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Détermination des droits fonciers, des droits d'accès des usagers et des équipes de maintenance, cela confirmé par écrit OUI / NON
<input type="checkbox"/> 2. Conditions géologiques – Sur la base de l'évaluation hydrogéologique	<input type="checkbox"/> Débit suffisant pour l'usage envisagé OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Ressources en eau renouvelables suffisantes pour l'usage envisagé Qualité de l'eau adaptée à l'usage envisagé OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Aucune interférence avec d'autres sources phréatiques OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Aucune interférence avec l'écoulement naturel de la nappe OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Probabilité de forage fructueux (annexe 1 du document Implantation des forages d'eau – guide à l'intention des chefs de projet ÉLEVÉE / MOYENNE FAIBLE
<input type="checkbox"/> 3. Risque de pollution	<input type="checkbox"/> S'agit-il d'une nappe captive ? OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Pas de sources de pollution potentielles proches du site OUI / NON
<input type="checkbox"/> 4. Logistique du forage	<input type="checkbox"/> Accès autorisé et possible pour l'équipe, l'équipement et les véhicules du foreur OUI / NON

Liste de contrôle n° 3: Mobilisation

Activité	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> 1. Contrat	<input type="checkbox"/> Signature du contrat
<input type="checkbox"/> 2. Programme des travaux	<input type="checkbox"/> Soumission et approbation du programme des travaux
<input type="checkbox"/> 3. Liaison avec la communauté	<input type="checkbox"/> Explication des détails du processus de forage aux membres de la communauté
	<input type="checkbox"/> Rôles, contributions et responsabilités des membres de la communauté
	<input type="checkbox"/> Échange de coordonnées avec les principaux contacts ou représentants de la communauté
	<input type="checkbox"/> Présentation du représentant du foreur à la communauté
<input type="checkbox"/> 4. Équipement adapté et en bon état de fonctionnement	<input type="checkbox"/> Tiges de forage adéquates
	<input type="checkbox"/> Marteaux et trépan du bon diamètre (mesurer)
	<input type="checkbox"/> Diamètre du tubage temporaire correct
<input type="checkbox"/> 5. Conformité des échantillons de matériaux par rapport aux spécifications techniques	<input type="checkbox"/> Boue de forage
	<input type="checkbox"/> Boîte à échantillons
	<input type="checkbox"/> Tubage et crépine (mesurer la longueur et le diamètre)
	<input type="checkbox"/> Massif filtrant et gravier
	<input type="checkbox"/> Crépine
<input type="checkbox"/> 6. Fiches de recueil des données	<input type="checkbox"/> Format des fiches de saisie des données convenu (voir l'annexe E du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages, RWSN, 2010)
<input type="checkbox"/> 7. Système d'archivage des projets	<input type="checkbox"/> Le foreur a reçu la fiche de contrôle générale du projet. (annexe B)
<input type="checkbox"/> 8. Agencement de l'atelier de forage / camp provisoire	<input type="checkbox"/> Emplacement du parking des véhicules et de l'atelier de forage <input type="checkbox"/> Atelier de maintenance <input type="checkbox"/> Bureau de chantier et baraquements <input type="checkbox"/> Stockage du carburant et mesures de contrôle des pour éviter le renversement de liquides <input type="checkbox"/> Source d'approvisionnement en eau <input type="checkbox"/> Installations sanitaires <input type="checkbox"/> Tubages et crépines en PVC protégés des rayons directs du soleil

Liste de contrôle n° 4: Forage

Activité	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> 1. Santé et sécurité	<input type="checkbox"/> L'atelier de forage est monté à distance des axes routiers et des lignes électriques.
	<input type="checkbox"/> L'atelier de forage et les véhicules d'assistance ne sont pas positionnés sur une pente à forte inclinaison.
	<input type="checkbox"/> Installation de barrière de sécurité pour le public (ruban de couleur vive)
	<input type="checkbox"/> Port d'équipement de protection individuelle par l'équipe de forage: bleus de travail, casques, bottes, lunettes de protection et gants
	<input type="checkbox"/> Les produits inflammables comme le carburant, le chlore, etc., doivent être stockés dans des conteneurs agréés, convenablement étiquetés et tenus éloignés des sources de chaleur.
	<input type="checkbox"/> Le mât doit être descendu en cas d'orage (risque de foudre).
	<input type="checkbox"/> Le personnel doit éviter de soulever des charges très lourdes ou très encombrantes susceptibles de provoquer des maux de dos. Le levage doit se faire à l'aide des jambes et non du dos.
	<input type="checkbox"/> L'équipement doit être maintenu en bon état de fonctionnement.
	<input type="checkbox"/> La zone autour de l'atelier de forage est propre.
	<input type="checkbox"/> Une fois achevé, l'ouvrage doit être protégé par un coffrage pour empêcher la chute d'outils et d'autres débris, et éviter que les enfants n'y jettent des objets (pierres, épis de maïs, etc.), ce qui risquerait de le rendre inutilisable.
	<input type="checkbox"/> Après l'achèvement des travaux, le site doit retrouver le plus rapidement possible son aspect d'origine. Les fosses à boue doivent être comblées et compactées.
	<input type="checkbox"/> Le personnel de forage doit boire beaucoup de liquide à intervalles réguliers afin d'éviter une déshydratation susceptible de l'amener à prendre de mauvaises décisions.
	<input type="checkbox"/> Vérification de la trousse de premiers secours
<input type="checkbox"/> Procédure d'urgence en cas de blessure grave et d'hospitalisation	
<input type="checkbox"/> 2. Positionnement de l'atelier de forage	<input type="checkbox"/> Le site du forage est délimité par des piquets.
	<input type="checkbox"/> Le mât de forage est vertical (vérifié avec un niveau à bulle).
	<input type="checkbox"/> Vérifier si le sol est meuble et susceptible de provoquer l'enlèvement ou l'inclinaison de l'atelier de forage pendant la foration.
<input type="checkbox"/> 3. Profondeur du forage	<input type="checkbox"/> Des mesures de profondeur ont été effectuées et consignées convenablement.
<input type="checkbox"/> 4. Taux de pénétration	<input type="checkbox"/> Les taux de pénétration ont été convenablement mesurés.
<input type="checkbox"/> 5. Boue de forage	<input type="checkbox"/> Type de boue de forage utilisée:
	<input type="checkbox"/> Le foreur utilise un viscosimètre Marsh pour mesurer la viscosité de la boue de forage.
<input type="checkbox"/> 6. Échantillons de cutting de forage	<input type="checkbox"/> En cas de forage rotary avec rinçage à la boue, vérifier que le volume des fosses de circulation (ou des réservoirs portables) est au moins le triple de celui du forage – voir annexe D.
	<input type="checkbox"/> Vérifier que le foreur ne provoque pas la contamination des échantillons (mauvaise circulation, érosion ou effondrement du forage)
	<input type="checkbox"/> Vérifier que les fosses à boue restent propres pour éviter la remise en circulation des cutting
	<input type="checkbox"/> Des échantillons sont prélevés à intervalles réguliers et convenablement lavés, ensachés, étiquetés, enregistrés et stockés dans une boîte à échantillons.
	<input type="checkbox"/> Photographier les échantillons
<input type="checkbox"/> 7. Diagraphie	<input type="checkbox"/> Utiliser des échantillons pour préparer une diagraphie
<input type="checkbox"/> 8. Profondeur finale du forage	<input type="checkbox"/> Profondeur de la nappe phréatique (m):
	<input type="checkbox"/> Profondeur finale du forage (m):
<input type="checkbox"/> 9. Rapport de forage	<input type="checkbox"/> Le rapport de forage quotidien est signé par l'opérateur de l'atelier et le superviseur.
	<input type="checkbox"/> Consigner les données et les informations requises pour remplir la fiche d'achèvement du tubage et du forage (annexe E3, Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages)

Liste de contrôle n° 5: Conception du forage

Critères de conception	Valeur
<input type="checkbox"/> 1. Profondeur du forage (mètres):	
<input type="checkbox"/> 2. Type d'aquifère/roche	Complexe métamorphique/Consolidé/Non consolidé
<input type="checkbox"/> 3. Débit (litres par seconde)	
<input type="checkbox"/> 4. Diamètre du trou foré (mm):	
<input type="checkbox"/> 5.a Composition des tubages et des crépines:	PVC / GRP / Acier / Bambou / Autre:
<input type="checkbox"/> 5.b Diamètre et épaisseur des parois (mm) vérifier le diamètre et l'épaisseur des parois à l'aide d'un pied à coulisse	
<input type="checkbox"/> 5.c Longueur des tubages et des crépines (m)	
<input type="checkbox"/> 6. Longueur de la surface crépinée (m)	
<input type="checkbox"/> 7. Surface crépinée (m ²)	
<input type="checkbox"/> 8. Pose des tubages et des crépines	<input type="checkbox"/> Fournir un croquis de l'assemblage des tubages et des crépines envisagé
	<input type="checkbox"/> Agencement des tubages et des crépines au sol, à comparer au croquis et à photographier
	<input type="checkbox"/> Vérifier les raccords entre les tubes
<input type="checkbox"/> 9. Massif filtrant	<input type="checkbox"/> Vérifier que le massif filtrant est conforme à la conception (stabilisateur de formation ou massif filtrant)
	<input type="checkbox"/> Vérifier que le stabilisateur de formation ne contient ni mica, ni argile, ni latérite
<input type="checkbox"/> 10. Joint sanitaire	<input type="checkbox"/> Vérifier la conception du joint sanitaire, sa profondeur et sa composition

Liste de contrôle n° 6: Développement du forage et achèvement du chantier

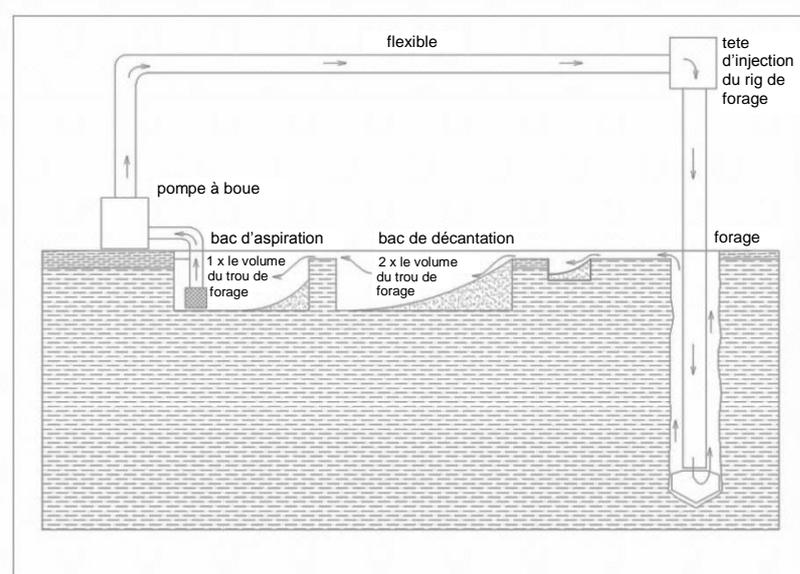
Activité	Fiche de contrôle	
<input type="checkbox"/> 1. Méthode de développement utilisée	Voir les annexes E4 et E5 du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages	
<input type="checkbox"/> 2. Réussite du développement du forage	<input type="checkbox"/> Durée du développement:	
	<input type="checkbox"/> Le développement est-il réussi (l'eau qui s'écoule est claire) ?:	OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Si NON, le foreur doit-il recommencer le forage ?	OUI / NON
	<input type="checkbox"/> Si OUI, doit-il le faire à ses frais ?	OUI / NON
<input type="checkbox"/> 3. Coulage de la plateforme	<input type="checkbox"/> Le coffrage est convenablement fixé et l'agencement est conforme aux plans.	
	<input type="checkbox"/> Proportion sable/ciment/gravier correcte (1:2:4)	
	<input type="checkbox"/> Pente de drainage correcte (1:50)	
	<input type="checkbox"/> Surface lissée à la truelle	
	<input type="checkbox"/> Numéro du forage, date de fin des travaux, débit et niveaux d'eau imprimés dans le béton humide	
	<input type="checkbox"/> Béton humidifié pendant 72 heures afin qu'il sèche correctement	
	<input type="checkbox"/> La plateforme terminée est-elle acceptable ?	
<input type="checkbox"/> 4. Essais de pompage	Voir l'annexe E7 du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages	
<input type="checkbox"/> 5. Tests de la qualité de l'eau	Voir l'annexe E5 du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages	
<input type="checkbox"/> 6. Désinfection du forage	a. La profondeur jusqu'au niveau statique de l'eau est-elle inacceptable ?	OUI / NON
	b. Le forage est-il négatif ou le débit inadapté ?	OUI / NON
	c. La teneur en sable de l'eau pompée est-elle inacceptable ?	OUI / NON
	d. La turbidité de l'eau pompée est-elle inacceptable ?	OUI / NON
	e. Le forage est-il droit et vertical ?	OUI / NON
	f. La qualité chimique ou bactériologique de l'eau pompée est-elle inacceptable ?	OUI / NON
DÉCISION FINALE:		FRUCTUEUX/INFRACTUEUX

Liste de contrôle n° 7: Démobilisation

Activité	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> 1. Travaux terminés	<input type="checkbox"/> Tous les travaux d'installation sont terminés et approuvés par le superviseur. <input type="checkbox"/> Tous les essais ont été effectués et les documents et les données ont été remis au superviseur.
<input type="checkbox"/> 2. Site nettoyé	<input type="checkbox"/> Les ordures ménagères et les déchets liquides et solides ont été éliminés de manière responsable afin de ne pas provoquer de nuisances. <input type="checkbox"/> Les fosses de circulation ont été comblées. <input type="checkbox"/> L'équipement a été nettoyé, emballé et évacué. <input type="checkbox"/> Les matériaux inutilisés ont été évacués (vérifier ce que prévoit le contrat quant au paiement des matériaux inutilisés tels que tubages, massifs filtrants, etc., ou qui en est le propriétaire) <input type="checkbox"/> Les barrières de chantier ont été démontées.

Liste de contrôle n° 8: Développement et achèvement du chantier

Activité	Liste de contrôle
<input type="checkbox"/> 1. Rapports	<input type="checkbox"/> Le rapport de forage est rempli et des exemplaires ont été remis au client, à la communauté et à l'autorité de réglementation/au ministère de l'Eau ou de la Géologie.
<input type="checkbox"/> 2. Livraison	<input type="checkbox"/> Convenir d'une date de livraison avec le foreur, la communauté et le client <input type="checkbox"/> Organiser la signature de la livraison de l'ouvrage à la communauté ou au client
<input type="checkbox"/> 3. Période de garantie	<input type="checkbox"/> Convenir d'un calendrier de suivi <input type="checkbox"/> Se rendre sur le site pour vérifier que la pompe continue de fonctionner correctement et que la performance du puits est satisfaisante. <input type="checkbox"/> Signaler au client les éventuels problèmes rencontrés ou rapportés par la communauté Si nécessaire, demander au foreur d'effectuer les réparations nécessaires
<input type="checkbox"/> 4. Facturation et paiement	<input type="checkbox"/> À l'issue de la période de garantie, envoyer la facture de supervision au client et approuver le règlement de la dernière échéance au foreur (en fonction du contrat)

Annexe C: Agencement des fosses de circulation/décantation

Références et bibliographie

- ADEKILE, D., (2014), *Passation de marchés et gestion des contrats de construction de forages – Guide à l'intention des superviseurs et chefs de projet*, Rural Water Supply Network (RWSN), St Gallen, Suisse.
- ADEKILE, D. and BALL, P. (2006) Training local technicians in borehole drilling –Waterlines Vol.24 No4. Practical Action, UK
- ADEKILE, D. and KWEI, C. (2009) The Code of Practice for Cost Effective Boreholes in Ghana – Country Status Report, Consultancy Report for the Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland
- ADEKILE, D. and OLABODE O. (2008) Study of Public and Private Borehole Drilling in Nigeria. Consultancy Report for UNICEF Nigeria Wash Section and Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland
- ANSCOMBE (2012), Personal Communication with the editors when reviewing this publication, August 2012.
- ARMSTRONG, T. 2009. The Code of Practice for Cost Effective Boreholes in Zambia – Country Status Report, Consultancy Report for UNICEF and Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland
- BALL, P (2001) Drilled Wells SKAT, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management, St Gallen, Switzerland
- BALL, P. (2004) Solutions for Reducing Borehole Costs in Africa WSP/Rural Water Supply Network, St Gallen, Switzerland
- BOODE Water Well Systems (2011) PVC Screen and casing standard type 1" to 3" lengthwise slotted.
Consultable à l'adresse: <http://www.boode.com/index2.html/>
- CARTER, RC., CHILTON, J., DANERT, K. et OLSCHESKI, A., (2014), *Implantation des forages – Guide à l'intention des chefs de projet*, Rural Water Supply Network (RWSN), St Gallen, Suisse.
- CARTER, RC. (2006), *Ten-step Guide Towards Cost-effective Boreholes*. Rural Water Supply Network, St Gallen, Suisse.
- DANERT, K., ARMSTRONG, T., ADEKILE, D., DUFFAU, B., OUEDRAOGO, I. et KWEI, C., (2010), *Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages*, version français, Rural Water Supply Network (RWSN), St Gallen, Suisse.
- DANERT, K., LUUTU, A., CARTER, RC., OLSCHESKI, A. (2014), *Analyse des coûts et détermination des prix – Guide à l'intention des entreprises de forage d'eau*, Rural Water Supply Network (RWSN), St Gallen, Suisse.
- DRISCOLL, F., (1986), *Groundwater and Wells*, St Paul: Johnson Division.
- ELSON, B. et SHAW, R., (2011), *Simple Drilling Methods*, WEDC Technical Briefs 43, WEDC Loughborough University, <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/43-simple-drilling-methods.pdf> [consulté le 2 août 2011].
- FUREY, S., (2014), *Développement de l'accès durable à l'eau souterraine: utilisation, protection, amélioration*, Rural Water Supply Network (RWSN)
- FEDERAL REPUBLIC OF NIGERIA/NATIONAL WATER RESOURCES INSTITUTE. 2009. *National Code of Practice for Water Well Construction in Nigeria*, National Water Resources Institute, Kaduna, Nigeria
- MACDONALD, A. DAVIES, J. CALOW, R. and CHILTON, J. (2005) *Developing Groundwater. A guide for Rural Water Supply*, ITDG Publishing
- MICHAEL, A.M. and KHEPAR, S.D. (1989) *Water Well and Pump Engineering* Tata McGraw – Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- NATIONAL WATER RESOURCES INSTITUTE. (2010) *Short Course 2 Borehole Construction and Management* Rural water Supply and Sanitation Centre
- RWSN (2007) *Technology Selection – and Buyer's guide for Public Domain Handpumps for Drinking Water*, Rural Water Supply Network
- RWSN (2008) *Platform Design for Handpumps on Boreholes - Construction Guidelines (Revision 1-2008)*, Rural Water Supply Network
- RWSN (2009) *Hand Drilling Directory*, Rural Water Supply Network.
- UNICEF (2010a) UNICEF WASH Technology Information Packages (TIPs). Consultable à l'adresse: http://www.unicef.org/supply/index_54301.html
- UNICEF (2010b) Professionalising the Manual Drilling Sector, UNICEF.
Consultable à l'adresse: http://www.unicef.org/wash/files/1_Professionalizing_Manual_Drilling_lo_res.pdf
- WATERLINES (1995) *Technical Brief No. 43 Simple Drilling Methods*, Waterlines Vol. 13 No. 3, January 1995.
Consultable à l'adresse: <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/43-simple-drilling-methods.pdf>
- WE Consult 2011 *Supervision tables* Water, Environment & Geo Services Ltd Kampala Uganda
- WHO (2012) *Cleaning and Disinfecting boreholes*, WHO Technical Note for Emergencies No 2.
Consultable à l'adresse: http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/envsan/tn02/en/ [consulté le 3 août 2011]
- WHO (2008) *Guidelines for Drinking Water Quality*, Incorporating First and Second Addenda to Third Edition, Volume 1 Recommendations, World Health Organisation, Geneva, Switzerland. Consultable à l'adresse: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwg3rev/en/ [consulté le 22 juin 2012]
- WHO/UNICEF (2011) *Drinking Water: Equity, Safety and Sustainability*, JMP Thematic Report on Drinking Water 2011.
Consultable à l'adresse: http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/report_wash_low.pdf [consulté le 26 mai 2012]
- WHO/UNICEF (2012) *Joint Monitoring Programme Report 2012 Progress on Water and Sanitation and Drinking Water*.
Consultable à l'adresse: http://www.wssinfo.org/fileadmin/user_upload/resources/JMP-report-2012-en.pdf [consulté le 24 mai 2012]

À propos de l'auteur

Dotun Adekile est un consultant nigérian possédant plus de 30 années d'expérience dans l'implantation et la supervision de la construction de forages, la formation de géologues et de techniciens de terrain. Il a participé à l'élaboration du Code de bonnes pratiques pour la réalisation de forages dans trois pays ainsi qu'à la rédaction de plusieurs guides.

Contact



The Le Réseau pour l'approvisionnement en eau en milieu rural (RWSN) est un réseau mondial de connaissances pour la promotion de pratiques saines d'approvisionnement en eau en milieu rural.

RWSN Secretariat
Skat Foundation
Vadianstrasse 42
CH-9000 St Gallen
Suisse

Tél.: +41 71 228 54 54
Fax: +41 71 228 54 55
E-mail: ruralwater@skat.ch
Site: www.rural-water-supply.net

Soutien et remerciements

Bien que le présent document soit le fruit de l'expérience de son auteur, ce dernier s'est également appuyé sur des travaux similaires sur le sujet pour le rédiger. Certains auteurs sont mentionnés dans le texte mais, par souci de concision, d'autres ne le sont pas. Toutes les sources consultées figurent dans la bibliographie. L'auteur les remercie de leur contribution.

Il remercie particulièrement Kerstin Danert, Ron Sloots, Robin Hazell, Richard Carter, André Olschewski et Jim Anscombe qui ont révisé le présent document.

Celui-ci bénéficie du soutien de l'UNICEF et de la Skat Foundation.

Il a été corrigé par Sean Furey et Kerstin Danert.

Crédits photographiques: l'auteur, Richard Carter, Hazel Jones, WEDC et Jim Anscombe.

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

 unicef

 skat_foundation

ISBN: 978-3-908156-52-9