

collection Etudes et Travaux • Editions du Gret • Ministère de la Coopération • Centre technique de coopération agricole et rurale

Les forages à faibles coûts

Ce manuel explique des techniques de forage conçues à partir de matériels simples. Elles permettent d'obtenir un ouvrage de captage d'eau à un prix modéré. Les performances de ces forages sont proches de ceux réalisés avec des moyens mécanisés et coûteux.

Les systèmes de forage à faibles coûts décrits dans ce livre sont particulièrement adaptés au contexte actuel de nombreux pays africains. Ils permettent de multiplier les points d'eau, de façon fiable et peu onéreuse. Ils reposent sur l'utilisation des matières premières et équipements locaux. Ces forages peuvent être réalisés par des petites entreprises locales.

Ce manuel présente les contextes spécifiques favorables à l'utilisation de telles techniques, ainsi qu'une sélection des outillages et des équipements les mieux adaptés aux situations décrites.

Les forages à faibles coûts

Etienne Lefort, Jean Marchal

Les forages à faibles coûts

Techniques et procédés

ISBN : 2 - 86844 - 080 - 0

Groupe de recherche et d'échanges technologiques
213, rue La Fayette 75010 Paris (France)
Tél : (33-1) 40 05 61 61. Fax : (33-1) 40 05 61 10



GRET



Les forages à faibles coûts

Techniques et procédés

Etienne Lefort, Jean Marchal

collection Etudes et travaux

Editions du Gret
Ministère de la Coopération
Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (CTA)

Cet ouvrage fait suite à une demande du Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH, M. Gadelle), à Ouagadougou, de disposer d'un livre technique simple qui permette de promouvoir des procédés de « forage à faibles coûts » utilisant des engins manuels ou faiblement mécanisés. Les techniques, assez répandues dans d'autres pays d'Afrique, le sont en effet très peu dans les pays couverts par le CIEH.

Ce livre a été rédigé à titre bénévole par Jean Marchal et Etienne Lefort (ingénieurs hydrogéologues) adhérents de l'Ecti, à l'issue d'une tournée en Afrique organisée par le CIEH.

Suivi éditorial : Bernard Gay et Elisabeth Paquot, Gret.

Mise en forme : Nathalie Dugout et Elisabeth Paquot, Gret.

Illustration : André Lefèvre, Ecti. Maquette : Solange Münzer, Gret.

Sommaire

5. Introduction

Chapitre 1

Caractéristiques et contextes d'utilisation des forages à faibles coûts

- 7. Principes techniques du forage à faibles coûts
- 7. Principaux avantages du forage à faibles coûts
- 8. Caractéristiques des forages à faibles coûts : dimensions et performances
- 10. Le prix de revient des forages à faibles coûts
- 11. Contextes spécifiques d'utilisation du forage à faibles coûts : terrains et aquifères favorables

Chapitre 2

Techniques de forages à faibles coûts

- 15. I. Techniques de réalisation d'un forage à faibles coûts
 - 15. ♦ Les étapes techniques
 - 16. ♦ Le matériel à prévoir et son utilisation
 - 16. Le matériel de perforation
 - 22. Les matériaux d'équipement
 - 24. Le matériel de développement
 - 25. ♦ L'enchaînement des opérations
 - 25. La préparation
 - 26. Le forage
 - 27. L'installation du tubage et le soupapage
 - 30. La poursuite du forage à l'intérieur du tubage
 - 30. La perforation des terrains difficiles
 - 32. L'équipement du forage
 - 34. Le « développement » de l'ouvrage et les essais de pompage
 - 36. ♦ Tableau récapitulatif des opérations
- 37. II. Les variantes techniques
 - 37. Le forage maraîcher de type LWR
 - 40. Le forage par lançage (washbore)
 - 43. Les forages manuels à la boue
 - 47. La création de points d'eau par pointes filtrantes
- 52. III. Tableau récapitulatif des différentes techniques de captage des eaux souterraines utilisables en milieu rural
- 58. IV. Les forages à faibles coûts en images

Chapitre 3

Contextes socio-économiques d'utilisation des forages à faibles coûts et dynamiques de développement local

- 65. Une technique particulièrement pertinente pour les zones rurales isolées, les petits villages et les zones d'habitat dispersé
- 67. Une technique favorable aux dynamiques économiques locales
- 67. L'importance de la formation
- 68. Deux exemples de réalisation et d'utilisation de forages à faibles coûts
- 68. Exemple d'une entreprise spécialisée dans la réalisation de forages à faibles coûts : la Cofomaya
- 70. Un programme hydro-agricole basé sur les forages manuels à faibles coûts
- 72. Liste d'utilisateurs de forages à faibles coûts

Annexes

- 77. **Annexe 1.** Différents types de terrains aquifères favorables aux forages à faibles coûts
- 81. **Annexe 2.** Zones d'Afrique de l'Ouest et du Centre où les conditions géologiques et hydrogéologiques paraissent favorables aux forages à faibles coûts
- 88. Cartes au 1/5 000 000^e des formations géologiques pouvant contenir des nappes exploitables par forages à faibles coûts
- 92. **Annexe 3.** Possibilités de diversifier l'utilisation du matériel, des ateliers et des équipes de forages manuels et à faibles coûts
- 93. **Annexe 4.** Bibliographie
- 94. **Annexe 5.** Fabricants de matériels de forage : quelques adresses
- 95. **Annexe 6.** Organismes ressources

Introduction

Ce manuel explique des techniques de forage conçues à partir de matériels simples. Ces techniques permettent d'obtenir un ouvrage de captage d'eau à un prix modéré mais aux performances proches des forages réalisés avec des moyens mécanisés et coûteux.

Ce manuel présente les contextes spécifiques favorables à l'utilisation de telles techniques. Une liste de fabricants et organismes de conseil est proposée en annexe.

Les systèmes alternatifs de forage à faibles coûts évitent le gaspillage de matières premières souvent importées et le recours à un équipement mécanisé, gros consommateur de carburant. Ils privilégient le recours à la main-d'œuvre locale et s'avèrent donc créateurs d'emplois et d'activités économiques associées.

Les techniques décrites ici sont connues depuis longtemps. Elles font essentiellement appel à l'énergie humaine (forage manuel) et de ce fait, sont tombées en désuétude dans les pays à haut potentiel économique. Cependant, elles sont basées sur les mêmes principes de fonçage et de captage que les forages mécanisés et se conforment aux lois incontournables de l'hydraulique souterraine. De pratique encore courante dans certains pays du Sud, elles sont ignorées dans des régions voisines alors que prévalent des conditions naturelles et un contexte socio-économique tout aussi favorables.

Ces techniques de forage à faibles coûts sont particulièrement adaptées au contexte actuel de nombreux pays africains ; elles permettent de multiplier les points d'eau, de façon fiable et peu onéreuse. Elles sont maîtrisables et en grande partie finançables par les associations de producteurs, avantage essentiel dans le contexte actuel de désengagement des Etats.

Les matériels et techniques présentés dans ce manuel sont inspirés en grande partie de l'ouvrage

de Bob Blankwaart « Hand Drilled Wells » publié par Rwegarulilla Water Resources Institute, Dar Es Salaam, Tanzanie (1984), ainsi que de la publication du Lutheran World Relief (LWR) à Niamey, Niger (mars 1991). Le catalogue des fabrications de la société Bonne Espérance (Bischwiller, France) a permis de sélectionner des outillages et équipements adaptés, utilisés en particulier dans le nord du Burkina-Faso (Cofomaya et Gary). Des ouvrages comme « Wells Construction » (Richard E. Brush) et « Self Help Wells » (R.G. Koegel) ont également été utilisés. Les auteurs se sont aussi appuyés pour rédiger ce livre sur leur longue expérience en matière de forage d'eau, tant en France qu'en Afrique.

Cet ouvrage s'adresse à un large public :

- les techniciens et ingénieurs intervenant dans des programmes d'hydraulique rurale ;
- les ONG nationales ou étrangères ;
- les petites entreprises et les artisans désirant se lancer dans une activité relevant du domaine de l'hydraulique ou diversifier leurs activités dans ce domaine (puisatiers par exemple) ;
- les fabricants, réparateurs de matériels de forage et d'hydraulique (outils et matériels utilisés dans le forage manuel, tubages, crépines, pompes à main) ;
- les collectivités, groupements d'exploitants, centres de formation professionnelle désirant s'équiper en moyens permettant la réalisation de forages à faibles coûts ;
- les bénéficiaires de points d'eau : groupements villageois, exploitants maraîchers ou particuliers ;
- les décideurs en charge de la conception de programmes d'hydraulique rurale, au Nord et au Sud...

ECTI. Echanges et Consultations Techniques Internationaux

L'Ecti est une association à but non lucratif créée en 1974, avec le soutien des entreprises françaises. Son but : coopérer au progrès technique par l'utilisation de la compétence et l'expérience d'un large éventail de cadres et de dirigeants français en fin de carrière qui offrent leur aide sans rémunération personnelle.

♦ En quoi... Echanges ?

A tous les pays du monde, Ecti apporte généreusement l'expérience et souhaite créer en retour un renforcement de l'image et de la présence françaises. Aux entreprises françaises, il offre la même richesse de compétences au service de leur développement.

♦ En quoi... Consultations ?

Parce qu'il s'agit de "conseils" donnés avec compétence et indépendance.

♦ En quoi... Techniques ?

Parce que maîtriser une profession, c'est en détenir la compétence et l'expérience quelle que soit la technique en cause.

♦ En quoi... Internationaux ?

150 pays sont déjà actuellement concernés.

ECTI
7, rue de Madrid 75008 Paris
Tél. 01 53 42 37
Fax. 05 56 84 82 21

Ouvrages parus dans cette collection

- ♦ Irrigation privée et petites motopompes au Burkina Faso et au Niger
- ♦ La gestion du service de l'eau dans les centres secondaires du bassin du fleuve Sénégal
- ♦ Développement local urbain en Afrique. Histoire de projets
- ♦ Les systèmes financiers pour le développement rural
- ♦ Quelle politique d'épargne dans les systèmes d'épargne-crédit ?
- ♦ Ville et nature dans les agglomérations d'Afrique et d'Asie (à paraître)

Caractéristiques et contextes d'utilisation des forages à faibles coûts

1 - Principes techniques du forage à faibles coûts

Le forage à faibles coûts est une méthode de captage des eaux souterraines similaire au forage classique pour ses caractéristiques principales (diamètre, profondeur, débit) mais différente pour ses techniques de réalisation car il fait essentiellement appel à l'énergie humaine.

Le matériel de perforation se constitue d'un jeu de tarières, soupapes, trépans et tiges-allonges, manipulés soit par rotation (grâce à un "tourne à gauche") soit verticalement par battage (grâce à un système de treuil).

Le soutènement du forage durant le fonçage,

s'il est nécessaire, se constitue d'un tubage en acier descendu graduellement puis retiré par la suite.

L'équipement se constitue d'une colonne à l'extrémité crépinée, d'une pompe d'exhaure classique et d'un massif de gravier.

Un certain nombre de variantes existent suivant la nature des terrains rencontrés. Elles permettent soit de supprimer certaines étapes, soit de les exécuter différemment, comme par exemple le forage par lancement d'eau ou de bentonite, ou encore par percussion hydraulique.

2 - Principaux avantages du forage à faibles coûts

L'avantage principal du forage à faibles coûts sur le forage classique est son prix (de 1 000 FF à 30 000 FF contre 50 000 à 100 000 FF pour un forage Rotary/MFT - marteau fond de trou).

Par rapport au puits, il présente l'avantage de capter l'eau sur une épaisseur plus grande. Il met les points d'eau à l'abri des variations saison-

nières ou cycliques de la surface des eaux souterraines. Son inconvénient majeur réside dans ses limites de profondeur (pas plus de 50 mètres en général) et de terrain (terrains meubles ou friables, ou bien terrains durs sur une faible épaisseur).

La main-d'œuvre non qualifiée employée est rémunérée au tarif pratiqué en milieu rural dans

le pays. Une partie de la main-d'œuvre nécessaire peut être fournie au titre de la participation villageoise au coût de l'ouvrage.

Le matériel de forage est simple, léger, rustique mais robuste et d'entretien limité. Il est facilement réparable. Une partie du matériel doit éventuellement être importée. Il durera longtemps et pourra servir de modèle pour sa reproduction sur place. Une économie importante peut résulter de la fabrication locale par des artisans ou petits industriels d'une autre partie du matériel, ce qui semble souvent possible.

- ♦ Le matériel tubulaire de travail ou de soutènement provisoire ou définitif, lorsqu'il est métallique, peut être importé ou bien fabriqué sur place, éventuellement avec du matériel de récupération. Les tubages et crépines en PVC,

très souvent utilisés pour l'équipement des forages, sont disponibles partout et souvent fabriqués sur place, ou susceptibles de l'être. Ces tubages sont légers et faciles à mettre en place sans matériel de levage important.

- ♦ Le transport du matériel de forage et de l'équipement tubulaire, compte tenu de sa légèreté et de son peu d'encombrement, ne nécessite pas l'utilisation de véhicules de grande capacité, gros consommateurs de carburant. Parfois, des véhicules à traction animale peuvent suffire.

- ♦ La réalisation des forages à faibles coûts nécessite des techniques simples, facilement assimilables par des opérateurs locaux, sans avoir besoin d'une formation longue et élaborée. Elle ne nécessite pas la présence de techniciens hautement spécialisés percevant des salaires élevés.

3. Caractéristiques des forages à faibles coûts : dimensions et performances

Diamètres de forage

Une large gamme de diamètres de forage est possible en forage à faibles coûts. Elles vont de 50 mm pour les diamètres les plus réduits (reconnaissance, enfoncement de pointes filtrantes) jusqu'à 300 mm pour l'avant-trou ou pour de faibles profondeurs.

Les diamètres usuels de départ sont voisins de 180 mm, parfois un peu plus : 200 à 230 mm. Ces diamètres peuvent être maintenus jusqu'au fond ou être réduits si nécessaire. L'adoption de ces dimensions permet l'utilisation d'un tubage de soutènement.

Ces dimensions de fonçage ou de fonçage/tubage aboutissent à la mise en place de tubes d'exploitation (en acier ou en PVC) de diamètre le plus courant 125/140 mm ou 112/125 mm, mais pouvant descendre jusqu'à 2 pouces (2"), soit 50 mm.

Lorsqu'on utilise des pompes, ces dernières disposent, au niveau du cylindre d'aspiration, de

diamètres de 2 à 4" (50 à 100 mm). Le plus petit diamètre de pompe est de 1" 11/16. Il peut passer dans du tubage de diamètre intérieur de 2" (50 mm).

Profondeurs

Deux catégories de profondeurs peuvent être distinguées, suivant les conditions du terrain et l'usage prévu du forage.

- ♦ Nappe à faible profondeur sous le sol (2 à 6 mètres) dans des terrains sableux et meubles

Cette situation permet l'utilisation de pompes de surface (manuelles ou motopompes) avec un niveau dynamique ne descendant pas au-dessous de 6 à 7 mètres.

Dans ce cas, la profondeur de l'ouvrage dépasse rarement 12 à 15 mètres. Ce type de forage est particulièrement utilisé pour la petite irrigation de périmètres maraîchers privés. Déli-

Caractéristiques et contextes d'utilisation des forages à faibles coûts

vrant de l'eau potable, il peut aussi servir à l'alimentation humaine.

- ◆ Nappe à plus grande profondeur dans des terrains de nature variée

En général, on utilise dans ce cas un système d'exhaure par puisette ou pompe à motricité généralement humaine, située dans le forage. Ce type de forage est principalement destiné à l'alimentation humaine.

Il paraît difficile que ce type de forage dépasse des profondeurs de 40 à 50 mètres. Au-delà, se posent des problèmes de disponibilité de tubage casing de longueurs suffisantes, de manipulation, de poids des tubages et des outils de forage. Pour réaliser des forages plus profonds, il faudrait motoriser certaines opérations (telles que le battage à la curette ou au trépan) ce qui ferait considérablement monter les coûts.

Cependant, on signale dans la bibliographie une méthode de forage qui, dans les terrains meubles, permet d'atteindre des profondeurs de 60 à 80 mètres (battage d'un tube/soupape avec circulation de fluide, entièrement manuel - Wells construction - Peace Corps).

Débits

Les débits qui peuvent être obtenus à partir des forages à faibles coûts dépendent de l'aquifère, des caractéristiques du captage mis en place et des moyens d'exhaure utilisés. Les diamètres de tubages d'exploitation pratiqués permettent la mise en place de pompes à motricité humaine ou à moteur (pompe immergée si nécessaire).

Les débits des forages à faibles coûts sont identiques à ceux de forages réalisés avec des ateliers de forage motorisés. Le forage à faibles coûts offre ainsi une large possibilité de débits allant de :

- quelques centaines de litres à l'heure (autour de 200 à 1 000 litres/heure pour des forages destinés à l'alimentation humaine et exploités par pompe manuelle ou puisette) ;

- à plusieurs mètres cubes à l'heure pour des forages destinés généralement à l'irrigation.

Dans ce dernier cas, si l'aquifère le permet, des débits supérieurs à 10 m³/h peuvent être exploités au moyen de motopompes ou de pompes électriques immergées, dans la mesure où le diamètre de tubage permet généralement leur utilisation.

Durée de vie des forages à faibles coûts

Un forage à faibles coûts, comme tout forage, doit être fiable sur une longue période.

Tout forage, quelle que soit sa méthode d'exécution, répond à un certain nombre de règles pour sa réalisation. Les caractéristiques des captages sont déterminées en fonction des particularités de la nappe ou de l'aquifère que l'on se propose d'exploiter, des besoins des utilisateurs et des moyens d'exhaure envisagés.

Si la réalisation du forage à faibles coûts respecte les règles de base en matière de forage, sa durée de vie sera comparable à celle d'un forage réalisé avec des ateliers mécanisés. Elle dépassera donc 10 ans et atteindra fréquemment plusieurs dizaines d'années. Cette similitude est d'autant plus normale que, dans les deux cas, c'est le même type d'équipement expérimenté et sûr qui peut être mis en place (équipement tubulaire, moyens d'exhaure).

On peut volontairement privilégier une grande rapidité de réalisation et un prix de revient particulièrement bas, à une longue durée de vie. Cette solution, fréquemment appliquée pour les points d'eau destinés à la petite irrigation (cf. les forages maraîchers p. 37), peut être acceptable dans au moins deux cas (il s'agit toujours de zone alluviale, avec aquifère peu profond, de granulométrie moyenne à grossière, peu ou pas argileux), à savoir :

- ◆ 1^{er} cas. Le débit de pompage est faible, l'eau est extraite au moyen de puisettes ou de pompes à motricité humaine. L'entraînement reste faible et le colmatage peut être assez long à se produire, de telle façon que le coût de l'ouvrage est amorti lorsqu'il ne peut plus être utilisé.

♦ 2^e cas. Le débit de pompage est important (pompe à moteur), le colmatage est rapide. Souvent, l'ouvrage ne peut servir que pendant 3 à 4 ans. Pour les forages peu profonds (10 à 12 mètres au maximum), le coût principal correspond au tubage et à la crépine. La mise en

place ne coûte presque rien. Il est possible, avec une dépense minime, d'extraire l'équipement tubulaire, de reforer à un autre emplacement et de remettre en place tube et crépine après remplacement du tissu.

4. Le prix de revient des forages à faibles coûts

Les enquêtes menées dans le cadre de la rédaction de ce manuel ont montré de grandes variations des prix de revient des forages à faibles coûts. Ils peuvent aller de moins de 1000 FF dans les conditions les plus favorables (forage ne dépassant pas 10 à 12 mètres dans des terrains sableux, avec une surface des eaux souterraines à moins de 6 mètres de profondeur) à des coûts atteignant 10 000 à 20 000 FF uniquement pour le forage et l'équipement tubulaire, dans les cas les plus difficiles : par exemple lorsque les profondeurs atteignent 40 à 50 mètres ou lorsqu'il faut utiliser du matériel permettant de forer dans tous types de terrains.

En général, l'acquisition du matériel de forage est à la portée d'opérateurs locaux sans que ceux-ci aient besoin d'un appui financier important. Si nécessaire, cet appui, sous forme de prêt ou de crédit, doit pouvoir être obtenu auprès des organismes spécialisés (banques, organisations internationales, ONG...).

Les forages à faibles coûts sont économiquement avantageux pour deux raisons : le coût du matériel est faible ; le prix de revient du fonctionnement est peu important, puisqu'il s'agit essentiellement de techniques manuelles où les coûts sont beaucoup plus faibles que ceux qu'entraînent la consommation de carburant et l'amortissement des ateliers de forage mécanisés.

Tableau récapitulatif et comparatif
des caractéristiques des forages à faibles coûts

	Forage à faibles coûts	Puits rustique	Forage motorisé
Terrain	Meuble Possible sur terrains durs de moins d'un mètre	Meuble Impossible sur terrains sableux, durs ou bouillants	Rotary MFT Tous terrains
Profondeur	8 à 20 mètres 40 à 50 mètres	6 à 15 mètres	De 50 à 100 mètres
Débit	200 à 10 000 l/h suivant le système de puisage	idem	5 à 20 m ³ /h
Diamètre	50 à 300 mm	> 1m50	100 à 300 mm
Temps d'exécution	1 jour à 3 semaines	Quelques jours	Quelques jours
Coût	< 2 000 FF 10 000 à 30 000 FF	< 1500 FF	50 000 à 100 000 FF

D'autre part, la participation bénévole de main-d'œuvre villageoise peut être assez fréquemment acquise, de telle façon que les montants des devis proposés aux clients bénéficiaires peuvent être allégés. Le tableau de la page 10 présente quelques caractéristiques principales du forage à faibles coûts en les comparant avec d'autres types d'ouvrages hydrauliques. Ces éléments sont repris de manière plus exhaustive de la page 52 à 57.

Le forage à faibles coûts doit respecter certaines règles. Néanmoins de nombreuses variantes restent envisageables, en fonction des conditions locales d'approvisionnement en équipement, de la nature des terrains, etc., ainsi que des moyens financiers disponibles. Toutefois, les principes de base de ces techniques doivent toujours être respectés. Quelle que soit l'importance de l'ouvrage, la réalisation d'un forage est une

entreprise délicate et pleine d'aléas. Toute modification, transformation ou innovation, tant dans le domaine du matériel que dans celui des techniques doit faire l'objet d'essais prudents avant d'être adoptée définitivement.

Dans tous les cas, l'évolution doit tendre vers une amélioration du rendement et des conditions de travail, par conséquent de l'efficacité et de la rentabilité, tous ces critères étant intimement liés.

L'équipe de forage doit être formée et encadrée par un chef de chantier expérimenté. Il est souhaitable d'organiser à cet effet des stages de formation au métier de foreur dans des entreprises déjà opérationnelles et possédant des références sérieuses. Chaque région nécessite l'application de techniques adaptées aux conditions locales. Le choix de l'entreprise formatrice doit être fait en fonction des débouchés futurs que pourront trouver les candidats foreurs.

5. Contextes spécifiques d'utilisation du forage à faibles coûts : terrains et aquifères favorables

Nous ne donnerons ici que les éléments principaux permettant de déterminer si un lieu est favorable ou non à la réalisation d'un forage à faibles coûts. Pour une analyse plus précise en termes géologiques et géographiques, on se reportera aux annexes 1, 2 et 3.

Épaisseur de l'aquifère

L'épaisseur de la tranche captée, au niveau de laquelle on place la partie crépinée (ou la partie lanternée du tubage d'exploitation), doit être d'autant plus grande que les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère (perméabilité et porosité) sont moins bonnes.

La profondeur recommandée du forage à faibles coûts ne devrait pas dépasser 40 à 50 mètres. Dans les cas les plus médiocres, l'exploitation d'une tranche mouillée d'une dizaine de

mètres d'épaisseur devrait suffire pour satisfaire les besoins du point d'eau. Dans certains types de terrains très perméables, tels que les sables moyens et grossiers, les épaisseurs de terrains traversés peuvent être bien moindres (1 à 3 mètres par exemple) sans nuire à l'obtention de débits suffisants pour satisfaire les besoins.

D'une façon générale, le forage à faibles coûts s'adresse particulièrement aux nappes dites "superficielles".

Dureté des terrains

Le domaine d'utilisation des forages à faibles coûts se limite :

- aux terrains meubles ou peu consolidés ;
- aux terrains consolidés, mais relativement tendres, ou friables ;
- aux terrains durs sur une faible épaisseur.

Premier chapitre

Les terrains durs ne peuvent être abordés en forage à faibles coûts que s'il s'agit de couches indurées peu épaisses (comme les latérites ou les croûtes calcaires), au dessous desquelles on est assuré de trouver une nappe exploitable, ou bien pour vérifier que le forage a bien atteint la roche dure sous-jacente (socle inaltéré par exemple). En effet, il existe parfois des blocs isolés de roches dures. C'est la lenteur d'avancement, l'usure du matériel et le poids des outils qui rendent inadapté le forage à faibles coûts en terrain dur. Dans tous les cas, l'épaisseur de terrain dur qu'il est envisageable de traverser est de l'ordre du mètre, exceptionnellement plusieurs mètres (cas des calcaires fissurés par exemple).

S'il existe des techniques et des matériels de forage manuel qui permettent de traverser toutes catégories de terrains, elles restent rarement à "faibles coûts".

Nature des terrains à traverser et des aquifères à capter

Le forage à faibles coûts s'adresse plus particulièrement :

- ◆ aux terrains meubles constitués :

- de silts, sables fins, moyens et grossiers, non consolidés ou bouillants, ou partiellement consolidés ;

- de ces mêmes éléments partiellement argileux (ce qui provoque leur consolidation) ou d'argiles sableuses.

Remarques : les argiles sableuses, bien que susceptibles de retenir une grande quantité d'eau, ne constituent pas des aquifères. Des couches peu épaisses peuvent cependant être traversées si nécessaire ;

- ◆ aux grès friables (tels que certains niveaux du continental terminal) ;

- ◆ aux calcaires et roches carbonatées tendres ou très fissurées ;

- ◆ aux roches désagrégées ou résultant de l'altération chimique, en particulier aux roches du

socle cristallin (massifs éruptifs de type granite et roches métamorphiques). Il s'agit plus particulièrement des terrains résultant de l'altération latéritique (altérites).

Localisation des terrains aquifères favorables aux forages à faibles coûts

Les terrains aquifères se présentent dans les situations suivantes :

- ◆ formations sédimentaires actuelles ou récentes :

- zones alluvionnaires : on les trouve dans les vallées des rivières et des fleuves, dans les vallées anciennes (fossiles) de la zone sahélienne (nappes permanentes à faible profondeur), dans les deltas des cours d'eau (attention à la contamination à l'embouchure d'eaux salées) ;

- formations côtières, dans le cas de côtes basses et de dépôts sableux (attention à la présence éventuelle d'eau salée) ;

- accumulations éoliennes dans les zones sahariennes ;

- zones colluvionnaires : dépôts granuleux, sableux, argilo-sableux, limoneux, correspondant aux résidus de l'altération de reliefs (souvent à la base de falaises ou escarpements).

- ◆ formations sédimentaires anciennes :

- formations du Continental Terminal (CT) : formations détritiques constituées de sable plus ou moins argileux ou de grès tendres alternant avec des bancs d'argile. Elles concernent de larges surfaces de l'Afrique Occidentale et contiennent la nappe la plus exploitée pour l'alimentation en eau des villages. Sa surface se situe à plus de 15/20 mètres en général et son épaisseur est de plusieurs dizaines de mètres ;

- formations sédimentaires plus anciennes que le CT : assez aquifères, leur consolidation les rend souvent trop compactes pour être traversées par des forages à faibles coûts, sauf dans les cas de motorisation partielle des ateliers de fonçage ;

Caractéristiques et contextes d'utilisation des forages à faibles coûts

– altérites du socle cristallin : caractéristiques d'un climat chaud et humide, ces altérations sont dues à une infiltration des eaux de pluie en profondeur venant dissoudre la silice des minéraux de roche. Elles sont généralement aquifères à leur base.

◆ cas particulier : les bords des retenues naturelles artificielles et les rives des cours d'eau peuvent engendrer des nappes peu profondes récupérables par les forages à faibles coûts alors que l'eau de surface est souvent polluée.

Techniques de forages à faibles coûts

I – Techniques de réalisation d'un forage à faibles coûts

1. Les étapes techniques

Une équipe de trois spécialistes et de 4 à 6 manoeuvres du village est nécessaire.

L'emplacement du forage est aplani et nettoyé, ainsi qu'une aire de 100 m² alentours au sein de laquelle est prévu un entrepôt.

Un trépied muni d'un treuil doit être érigé au dessus du point exact de forage afin de permettre la manipulation du matériel.

La technique de fonçage est la suivante :

- avancement à la tarière hélicoïdale pour les terrains meubles, manipulée par deux hommes au moyen d'un "tourne-à-gauche" ;

- avancement au trépan dans les terrains consolidés ou durs (pas plus d'un mètre dans ce dernier cas), manipulé par battage grâce à une série de tractions et relâchements sur le câble d'attache au treuil ;

- enfoncement simultané d'un tube de soutènement en acier de diamètre légèrement inférieur

au forage. Descente par son propre poids puis par louvoiement quand les frottements sont trop intenses ;

- remontée des déblais par extraction des tarières et curage de l'hélice et/ou par soupapes à clapet.

Une fois la profondeur recherchée atteinte, le forage est équipé au moyen d'un tube de PVC plein, à l'extrémité crépinée. L'espace annulaire est garni par un massif de gravier au fur et à mesure de l'extraction du tubage de soutènement.

Avant la mise en place de la pompe d'exhaure définitive, l'ouvrage doit être développé par pompages intensifs afin d'extraire les matériaux fins de l'aquifère autour du crépinage.

Il faut compter une à plusieurs semaines pour la réalisation d'un tel ouvrage, suivant la profondeur et la nature des terrains.

2. Le matériel à prévoir et son utilisation

■ Le matériel de perforation

La perforation des terrains pour forage de faible et moyenne profondeur (jusqu'à 30 à 40 mètres) peut être effectuée manuellement dans des sols durs ou non consolidés avec l'équipement décrit ci-dessous :

- trépied équipé d'un treuil et d'un système de poulies ;
- outils de perforation de 180, 230 et 300 mm ;
- tiges d'extension avec accessoires ;
- tubages de soutènement de 200 et 250 mm de diamètre ;
- divers outils, courants et spécifiques.

Le trépied et ses accessoires

Les trois "jambes" du trépied, qui sont réalisées avec du tube acier de 2" (50/60 mm), ont une longueur de 6 mètres chacune. Une de ces jambes comporte deux montants reliés par

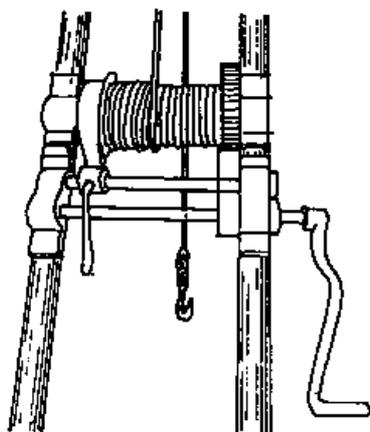


Figure 1 : treuil de manoeuvre

des entretoises tubulaires utilisées comme échelons pour monter en haut du trépied lorsqu'il est érigé. Cette double jambe permet de fixer le treuil (figure 1) sur lequel est enroulé un câble en acier. Celui-ci passe sur la poulie en haut du trépied. Un crochet est fixé à son extrémité. Un montage avec une seconde poulie permet un mouflage qui double, voire triple les possibilités de traction. Dans ce dernier cas, une double poulie doit être prévue en haut du trépied.

Le trépied avec son treuil, placé à l'aplomb du trou, sert à manoeuvrer la garniture de forage ainsi que les colonnes de tubage. Sa capacité de traction peut atteindre une tonne.

Les outils de perforation

Les outils d'attaque et d'extraction des terrains utilisés sont les suivants :

- les tarières ;
- les soupapes ;
- les trépan et masses-tiges ;
- les tiges-allonges.

◆ Les tarières

Les tarières sont en général les premiers outils utilisés en début de perforation. Suivant la nature des terrains à traverser, les tarières peuvent avoir différentes formes. Elles sont entraînées en rotation par deux hommes à l'aide d'un "tourne-à-gauche" fixé sur la tige d'extension (cf. "les tiges-allonges" page 19).

- La tarière hélicoïdale est composée de lames formées et fixées par soudure sur une âme en tube acier de 2" (figure 2 page 17). La partie de la lame qui attaque les terrains est renforcée



Figure 2 : tarière hélicoïdale



Figure 3 : tarière hélicoïdale conique

par un métal d'apport dur, afin de prévenir l'usure. Ce type de tarière est particulièrement utilisé pour la traversée d'argiles humides, de sables et également de graviers.

– La tarière hélicoïdale conique. Les lames de cette tarière sont formées de façon conique (figure 3), la partie la plus étroite commençant vers le bas en forme de "langue d'aspic" de 80 mm de largeur. La lame supérieure atteint le diamètre du trou (180 ou 230 mm).

Cet outil sert principalement à traverser les bancs indurés. La langue d'aspic aiguisée pénètre dans le banc dur et le concasse. Lorsque le terrain est ainsi démantelé, il peut être extrait à l'aide d'une tarière hélicoïdale normale. Son utilisation peut également être combinée avec la tarière continue à ailes décrite ci-après.

– La tarière continue à ailes. Cette tarière consiste en un tube de 2" sur lequel est soudée une lame en forme de spirale. Une aile de 6 à 8 cm de largeur est soudée tout autour de cette lame (figure 4). Un connecteur mâle est fixé à la partie supérieure et un connecteur femelle à la partie inférieure. La hauteur totale est d'environ 1 mètre. Cet outil est toujours utilisé en combinaison avec une tarière normale ou conique. Il augmente la capacité de stockage des déblais et aide à conserver la verticalité du trou. Certaines précautions doivent cependant être observées lors de son utilisation.



Figure 4 : tarière continue à ailes

– La tarière fermée est un long tube en acier épais avec des cuillères tranchantes soudées sur le fond (figure 5). Ces cuillères coupent le terrain qui est recueilli à l'intérieur du tube. Une ouverture est pratiquée sur le tube pour permettre l'extraction du terrain. Elle est fermée par une porte amovible verrouillable.

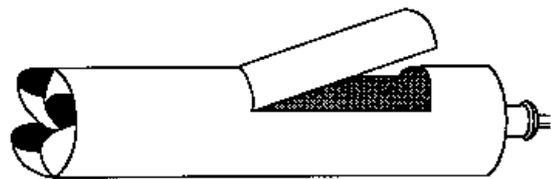


Figure 5 : tarière fermée

Cette tarière est utilisée dans des terrains semi-cimentés tels que latérites, calcaires et roches altérées, mais peut également être efficace dans des argiles dures et sèches ainsi qu'en sol graveleux. L'avancement est faible dans ces conditions.

♦ Les soupapes

La soupape sert à curer le trou des déblais accumulés lors de la perforation à l'aide du trépan en terrains durs. Elle sert également à forer dans les sables et graviers aquifères, sous couvert d'une colonne de tubage de soutènement descendue simultanément.

Une soupape est un tube en acier comportant une trousse coupante à sa base, d'une longueur comprise entre 1 et 1,50 mètre et équipée d'un clapet à charnière (figures 6 et 7). Un oeil est soudé à sa partie supérieure. On y fixe le câble à l'aide d'une manille. Le diamètre extérieur du tube dépend du diamètre du trou ou du tubage à l'intérieur duquel la soupape est introduite. Ce diamètre doit être suffisamment petit pour éviter l'effet de piston lors de la remontée ainsi que le risque de coincement avec les déblais.



Figure 6 :
soupape

La soupape s'utilise verticalement avec le treuil. Lorsqu'elle frappe le fond, le clapet s'ouvre et le sable pénètre à l'intérieur. A la remontée, le clapet se ferme et le sable est piégé. Lorsque les sables sont particulièrement fins, tels que les silts, le clapet à charnière est remplacé par un boulet (figure 8) assurant une meilleure étanchéité.

A noter également les soupapes à piston, à articulation ou à clapet libre (figures 9 et 10), utilisées pour le forage dans les sables fins mélangés de graviers et également pour le curage.



Figure 7 : soupape à clapet



Figure 8 : soupape à boulet



Figure 9 : soupape à articulation



Figure 10 : soupape à clapet libre



Figure 11 :
masse-tige



Figure 12 :
tréplan plat



Figure 13 :
trépan à joues

♦ Les trépan et les masses-tiges

– Les trépan dits "casse-pierres" sont utilisés par battage : ils sont soulevés à une certaine hauteur (entre 0,50 et 1 mètre) et ensuite laissés tomber en chute libre. Afin d'augmenter l'efficacité de l'impact, une tige lourde (masse-tige) est vissée sur le trépan (figure 11). L'action ainsi

obtenue permet de perforer les roches dures en les concassant. Après chaque chute, le trépan tourne légèrement afin d'obtenir un trou cylindrique. Au fur et à mesure de l'avancement, les déblais accumulés au fond du trou freinent la chute et réduisent l'efficacité du battage. Il est alors nécessaire de remonter l'outil et de curer le forage avec une soupape. Le curage terminé, on redescend le trépan et ainsi de suite.



Figure 14 :
trépan excentré

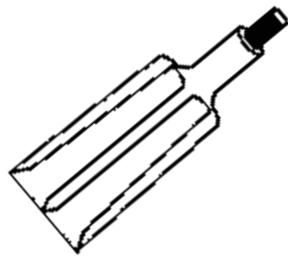


Figure 15 :
trépan en croix



Figure 16 : tige-allonge Bonne Espérance

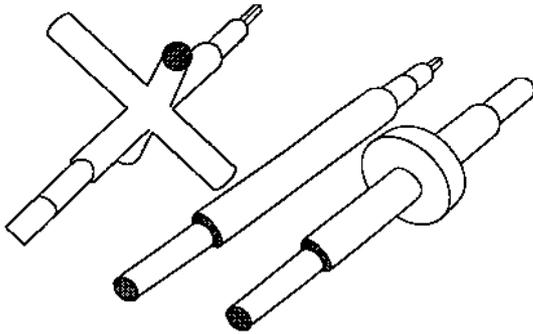


Figure 17 : différents types de tiges
allonges utilisées en Tanzanie

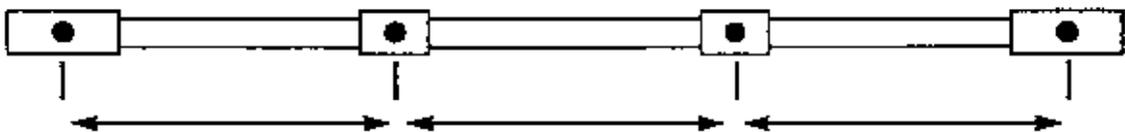


Figure 18 : tige légère type LWR



Figure 19 : tourne-à-gauche Bonne Espérance

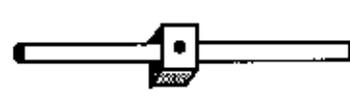


Figure 20 : tourne-à-gauche LWR

– Le trépan plat (figure 12) sert pour forer au battage en terrains moyennement durs (grès, roches tendres, marnes).

– Le trépan à joues (figure 13) sert pour forer en terrains durs, les joues alésant le trou.

– Le trépan excentré (figure 14) comporte une lame guide placée dans le prolongement du corps fileté et, en retrait, une lame excentrée. Ce trépan permet de forer en terrain dur ou moyennement dur, des trous d'un diamètre supérieur à celui du tubage dans lequel il est introduit. La descente de ce dernier s'en trouve grandement facilitée.

– Le trépan en croix (figure 15) s'utilise sur des terrains hétérogènes ou fissurés qui risquent d'empêcher la rotation régulière du trépan et de le guider à chaque chute dans une position unique.

♦ Les tiges-allonges

Avec l'augmentation de la profondeur du trou, des tiges-allonges doivent être ajoutées aux outils de forage.

Il existe différents types de tiges-allonges, depuis la tige carrée avec raccords filetés mâle et femelle à chaque extrémité type Bonne Espérance (figure 16), à la tige confectionnée en tube acier de 2"1/2, utilisée en Tanzanie (figure 17), en passant par la tige légère type LWR (figure 18).

La longueur de chaque élément est en général de 3 mètres. Il existe toutefois des longueurs

Deuxième chapitre

intermédiaires (0,50, 1, 1,50, et 2 mètres) permettant de composer différentes hauteurs.

Ces tiges permettent d'entraîner en rotation les tarières. Un collier tourne-à-gauche est boulonné ou fixé par clavetage à hauteur convenable pour être manoeuvré par deux hommes, ou plus si nécessaire (figures 19 et 20 p.19).

Le tubage de soutènement

Le tubage de soutènement est destiné à maintenir les parois du trou lors de sa réalisation. Il peut être descendu au fur et à mesure du creusement dans les terrains bouillants (argiles fluides, sables et graviers aquifères, etc.) ou, au contraire, après la réalisation du trou, si la tenue des terrains le permet.

Il est fabriqué en éléments de longueurs comprises entre 1 et 1,50 mètre, pris dans du tube acier de 200/220 mm (8") ou 250/275 mm (10") de diamètre. Pour les grandes profondeurs, alors que le télescopage des colonnes s'avère indispensable, une colonne de 150/170 mm (6") peut compléter l'équipement.

Chaque dimension de tubage a son jeu d'outils adaptés tels que tarières, soupapes, trépan, colliers de retenue, etc.

Les tubes comportent des filetages à chaque



Figure 21 : assemblage de tubes par filetage mâle et femelle

extrémité, mâle en haut, femelle en bas, permettant de les assembler entre eux (figure 21). Des protections (bagues filetées) sont placées dans les filetages pour éviter leur dégradation au cours des transports et manutentions. Bien entendu, ces protections sont retirées lors de l'utilisation et soigneusement remplacées ensuite.



Figure 22 : sabot de tubage



Figure 23 : tête de levage de tubage

Le premier élément de tubage descendu dans le trou est muni d'un sabot (figure 22) comportant une tresse coupante à sa base. Cette tresse coupante a un diamètre légèrement supérieur à celui du tube de façon à aléser le trou lors de la descente, diminuant de la sorte les frottements latéraux.

Une tête de levage (figure 23), percée de deux trous face à face dans lesquels une tige en acier est introduite, sert à suspendre la colonne au crochet pour le vissage et le dévissage, ainsi que pour la descente et l'extraction. Si cette tête de levage est renforcée, elle peut servir au moulinage de la colonne pour la faire descendre.

Les accessoires

Au fur et à mesure de l'approfondissement du forage, il est nécessaire d'ajouter des tiges-allonges à la garniture, ainsi que des éléments à la colonne de tubage. Ces manoeuvres nécessitent de maintenir momentanément en suspens la garniture ou la colonne placées dans le forage pendant l'ajout d'éléments supplémentaires. Il en est de même lors de la remontée.

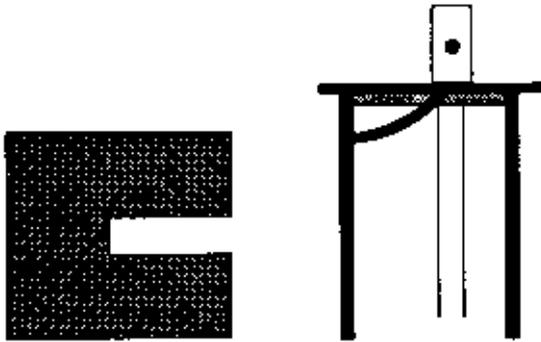


Figure 24 : table de retenue

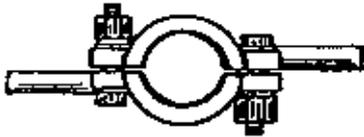


Figure 25 : collier acier forgé

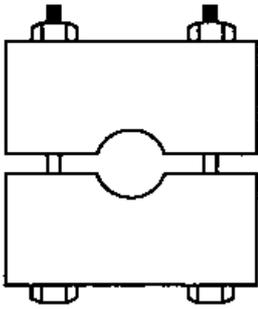


Figure 26 : collier bois



Figure 27 : pied de biche

On utilise pour cela des tables et des colliers de retenue. Les tables de retenue (figure 24) sont constituées d'une plaque métallique dans laquelle une échancrure est ménagée. Cette échancrure a la largeur du corps de la tige-allonge. Le manchon d'extrémité de tige qui vient buter sur la plaque est d'un diamètre supérieur.

La plaque a des dimensions extérieures sensiblement supérieures au diamètre du tubage qu'elle obture une fois en place, empêchant ainsi la chute fortuite d'objets dans le forage.

Les colliers de retenue sont en acier forgé (figure 25) ou en bois découpé dans de gros

madriers (figure 26) assemblés par de gros boulons en acier. Ces colliers servent à maintenir la colonne de tubage en suspens au niveau du sol. De plus, lorsque le sabot de la colonne porte sur le fond du forage, le collier peut être positionné au dessus du sol et servir à louvoyer le tubage pour le faire descendre. On doit pour cela y fixer un fer en U de 2 ou 3 mètres de longueur.

La garniture de sonde est manoeuvrée, pour sa montée et sa descente, avec une chaise d'enlèvement ou pied de biche (figure 27) suspendue au crochet.

Divers outils annexes sont indispensables sur le chantier de forage : clés à chaîne, clés à griffes, clés à molette, jeu de clés plates, marteau et masse, petit outillage (pince universelle, tenaille, burette d'huile, pot de graisse consistante, etc.).

Les outils de sauvetage

Il arrive que l'on soit amené à extraire du fond du forage une partie de l'outillage qui y serait tombé, à la suite d'une rupture de tige lors du battage en terrain dur ou pour toute autre raison (dévissage, maladresse, oubli, malveillance, etc.). Cette opération s'appelle la "pêche" et la pièce à attraper le "poisson". Les outils les plus courants sont :

- la caracole (figure 28) pour tiges ou tubes ayant un manchon de plus gros diamètre ;
- la cloche filetée (figure 29) pour tiges ou tubes lisses à leur extrémité supérieure ;



Figure 28 : caracole



Figure 29 : cloche filetée

– le taraud (figure 30) s'emboîte à l'intérieur d'un tube ;

– l'araignée (figure 31) permet de saisir des pièces de faible hauteur tombées au fond du trou. C'est un tube d'acier doux dont la partie supérieure s'adapte sur les tiges. La partie inférieure est munie de longues dents. L'araignée est descendue sur le poisson qui y pénètre. Un mouvement de rotation et, simultanément, une pression vers le bas ferment les dents qui emprisonnent le poisson. Il n'y a plus qu'à remonter le tout ;



Figure 30 :
taraud

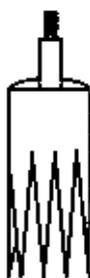


Figure 31
araignée

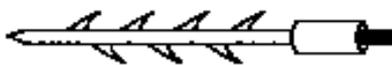


Figure 32 : harpon

– le harpon (figure 32) sert à la pêche de câbles et cordages.

Dans les cas extrêmes, on peut être amené à fabriquer ou à faire fabriquer un outil de repêchage spécialement adapté pour saisir un poisson de forme particulière, si aucun des outils conventionnels ne convient. On se trouve alors devant un problème de rentabilité. Il peut être plus judicieux, si le trou n'est pas trop profond, d'abandonner purement et simplement le forage en récupérant les colonnes placées et recommencer un nouveau trou à proximité.

■ Les matériaux d'équipement

Après avoir terminé le trou, la construction définitive du forage peut commencer par la mise en place du tube crépiné et du massif de gravier, qui constituent l'équipement du forage.

La fonction du tube crépiné est d'offrir un cuvelage de protection pour le cylindre de pompe et l'ensemble élévatoire. La partie placée au droit de l'aquifère comprend d'étroites ouvertures par lesquelles l'eau de la nappe peut pénétrer. L'espace compris entre la crépine et la paroi du trou est garni avec un matériau relativement grossier hautement perméable : le massif de gravier.

Le gravier

Le gravier sert à maintenir les parois du forage après les opérations de fonçage et à filtrer l'eau à l'endroit de la crépine. Il doit avoir les caractéristiques suivantes :

- il doit être assez gros pour laisser passer les fines particules de l'aquifère lorsque le forage est développé ;
- il doit être suffisamment fin pour retenir le reste du matériau aquifère ;
- il doit présenter une certaine homogénéité, ce qui lui confère une haute perméabilité ;
- il doit être exempt d'éléments calcaires ou argileux ;
- les grains doivent être les plus sphériques possibles (le gravier concassé ne convient absolument pas).

L'expérience démontre que la granulométrie comprise entre 1 et 5 mm de diamètre retient environ 60 % du matériau constituant généralement les aquifères composés de sable fin, moyen et grossier.

Quel que soit le gravier recueilli dans les gisements naturels tels que lits de rivière, gravières, cours d'eau, plages, etc., l'éventail des dimensions est très important. Le gravier doit être

tamisé pour obtenir la granulométrie désirée. Il est très important de le laver soigneusement lorsqu'il est tamisé, faute de quoi des éléments fins resteraient collés aux plus gros et on obtiendrait un gravier de mauvaise qualité.

Le tube crépiné

Le tube crépiné qui constitue la colonne définitive du forage est en PVC (chlorure de polyvinyle). Les principaux avantages de ce matériau sont la résistance à la corrosion, la légèreté, favorisant le transport et la manutention, la facilité de découpage aux longueurs désirées, le bas prix. Les tubes crépinés doivent être stockés en position verticale ou horizontale sur un sol nivelé et ombragé. Ils risquent d'être gauchis en cas d'exposition au soleil.

♦ Dimensions

Le diamètre de la colonne de forage doit tenir compte :

- du diamètre du tubage du forage. L'espace annulaire compris entre les deux tubes doit être suffisant pour la mise en place du massif de gravier ;

- du diamètre du système de pompage qui sera placé à l'intérieur. Le plus couramment utilisé est la combinaison entre un tubage de forage de 200/220 mm et une colonne d'équipement de diamètre 103/110 mm. Un cylindre de 3" (environ 80 mm) est facilement placé à l'intérieur et le massif de gravier aura une épaisseur de 55 mm, ce qui est correct. Si on utilise un tubage de 250/275 mm, une colonne d'équipement de 117/125 mm est recommandée.

Les tubes crépinés et pleins se trouvent en longueurs de 3 mètres. De plus grandes longueurs provoqueraient des difficultés pour leur transport, leur stockage et leur manutention.

Leur assemblage peut s'effectuer par vissage. Dans ce cas, chaque élément comporte un filetage mâle et femelle à chaque extrémité, soit par emboîtement, l'une des deux extrémités étant "tulipée", c'est-à-dire évasée à chaud. Le collage

n'est pas nécessaire. Toutefois, si l'on prévoit la récupération éventuelle de la colonne, il est préférable de coller les éléments entre eux. La récupération nécessitant le coupage à la scie des éléments, leur réutilisation devra être précédée d'un reformage des tulipes.

♦ Les fentes

Il est de règle que la largeur des ouvertures de la crépine soit 1,5 fois inférieure au diamètre du plus petit gravier du massif, afin d'éviter que le gravier ne passe au travers. Par exemple, pour un gravier dont la granulométrie varie de 1 à 5 mm de diamètre, la largeur des fentes doit être de $1/1,5 = 0,7$ mm. Le gravier doit permettre le passage des particules inférieures à 0,2 mm provenant de l'aquifère. Une largeur de 0,7 mm est donc suffisante.

La longueur des fentes est déterminée principalement par la résistance à l'écrasement de la crépine. Le nombre d'ouvertures doit être suffisant pour permettre une vitesse d'entrée faible de l'eau.

Quand l'eau de la nappe est d'une composition chimique particulière ou lorsque certaines bactéries sont présentes, un dépôt, dur ou tendre, peut se former sur la surface de la crépine et dans le massif de gravier. Ce dépôt peut colmater le forage très rapidement. Ce processus, appelé "incrustation", est accéléré avec l'augmentation de la vitesse de circulation de l'eau. La vitesse d'entrée de l'eau dans la crépine pendant le pompage doit par conséquent être la plus basse possible. L'expérience montre qu'elle doit être inférieure à 3 cm/seconde, vitesse où le taux d'incrustation est minimal.

La vitesse d'entrée de l'eau est calculée en divisant le débit pompé par la surface totale des ouvertures de la crépine. Plus il y a d'ouvertures, plus la vitesse est réduite.

Compte tenu de la surface totale d'ouvertures des crépines trouvées dans le commerce et du débit maximal d'une pompe à main (environ 3 000 litres à l'heure), une hauteur de captage de 3 mètres est en général largement suffisante.

La pompe

La façon dont le forage est équipé dépend de l'épaisseur de l'aquifère et du type de pompe d'exhaure imposé par la position du niveau dynamique de l'eau par rapport au sol. Si cette position ne dépasse pas 6,50 à 7 m de profondeur, l'exploitation du forage peut se faire avec une pompe de surface. Une profondeur plus importante exige une pompe pour puits profond (dans laquelle le corps de pompe est placé, au-dessous du niveau de l'eau).

■ Le matériel de développement

Une fois les opérations de forage terminées, et avant de garnir complètement l'annulaire de gravier et de procéder à l'extraction totale de la colonne de soutènement, l'ouvrage doit être "développé" et faire l'objet d'un essai de pompage. Deux méthodes sont mises en oeuvre : le surpompage et l'agitation.

Le surpompage

Il consiste simplement à extraire l'eau du forage à un débit supérieur à celui prévu pour l'exploitation. L'eau extraite étant par définition chargée en particules sableuses, donc abrasives, on utilise, lorsque la profondeur de l'eau le permet (moins de 7 mètres sous le sol), une pompe à membrane (figure 33), très robuste et qui n'est pas endommagée par le pompage du sable. Si le niveau de l'eau est plus profond, on utilise une pompe à piston pour grande profondeur, au plus grand débit possible.

Le piston plongeur pour l'agitation

On provoque un mouvement de va-et-vient de l'eau au droit du crépinage. On utilise pour cela un piston plongeur. Ce piston a un diamètre extérieur correspondant au diamètre intérieur du

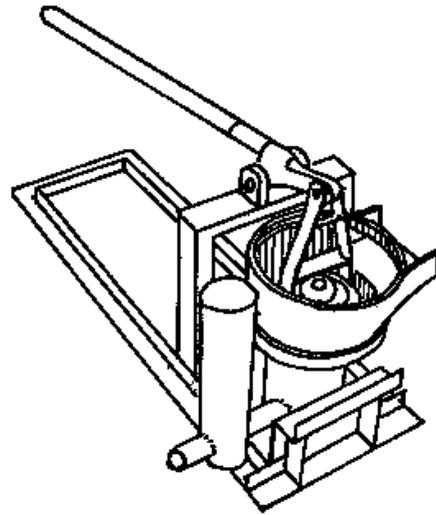


Figure 33 :
pompe à membrane pour développement

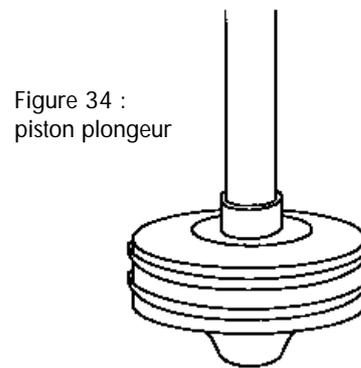


Figure 34 :
piston plongeur

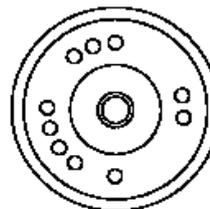


Figure 35 :
en tournant la plaque inférieure du piston plongeur, on modifie le passage de l'eau au travers du piston.

tube crépiné. Il est composé de deux disques en cuir placés entre deux plaques circulaires en métal avec un disque en caoutchouc souple au dessus formant clapet, le tout assemblé par un boulon central (figure 34). Il est fixé sur des tiges-allonges pour être descendu et manoeuvré manuellement.

Quatre trous sont percés au travers des plaques métalliques et des disques en cuir avec un arrangement spécial de ces trous dans la

plaque inférieure (figure 35, page 24). De cette façon, en tournant la plaque inférieure, le nombre d'ouvertures actives peut être ajusté de 0 à 4. Le disque supérieur en caoutchouc agit comme une soupape. Pendant la descente du

piston, lorsque ce dernier est immergé, l'eau peut traverser le piston lorsque les trous sont face à face. A la remontée du piston, la soupape se ferme et aspire avec force, entraînant les fines particules à l'intérieur du crépinage.

3. L'enchaînement des opérations

■ La préparation

La main-d'oeuvre et l'équipement

L'expérience acquise en ce domaine a montré que le personnel nécessaire comprend au moins trois spécialistes et quatre à six manoeuvres choisis dans le village.

Le chef d'équipe est responsable de la bonne marche du chantier et de la qualité de l'ouvrage. Il est également responsable de l'organisation du travail et de la sécurité du personnel, ainsi que des relations avec les autorités villageoises.

L'emplacement nécessaire

L'emplacement doit permettre la mise en place du matériel de forage et des annexes comme les tubages, les tiges, l'outillage, etc., de façon à travailler sans aucune gêne. Une aire d'au moins 10 x 10 mètres autour du forage est nettoyée et nivelée (figure 36).

Le montage du trépied

Afin de manoeuvrer les différents éléments nécessaires à la réalisation du forage, le trépied est placé au dessus de ce dernier. Un maximum de force, de stabilité et de possibilité de travail est obtenu lorsque les jambes du trépied sont positionnées sur trois points formant un triangle

équilatéral de 5,50 mètres de côté. La hauteur du trépied est de 5 mètres. L'emplacement de travail dans les directions horizontale et verticale doit être suffisant.

Les efforts supportés par les jambes sont considérables, en particulier quand le tubage de soutènement est extrait hors du forage. Par conséquent, les extrémités inférieures doivent être

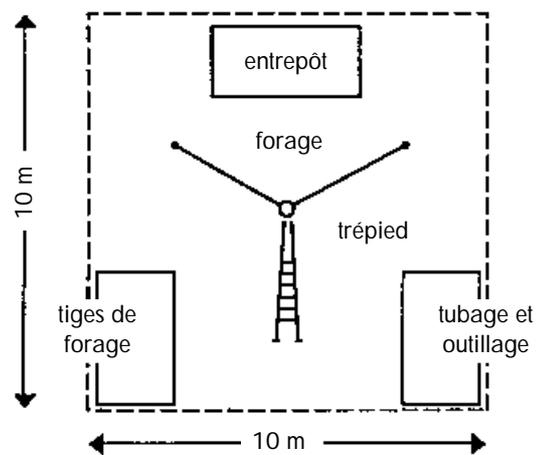


Figure 36 : emplacement nécessaire et disposition du matériel

placées sur de larges pieds en acier, afin d'éviter leur enfoncement dans le sol. Ces pieds, sur lesquels sont soudés de petits morceaux de tube d'un diamètre légèrement supérieur à celui des jambes, sont placés sur le sol en position inclinée afin d'obtenir un maximum de stabilité (figure 37 page 26).

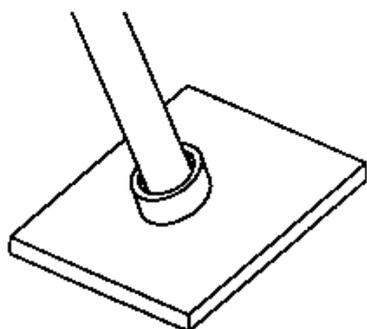


Figure 37 : pied support

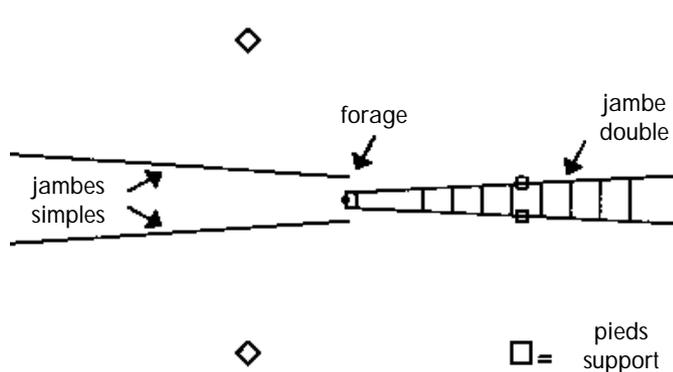


Figure 38 : trépied positionné sur le sol prêt à être assemblé et redressé

Le trépied est assemblé à plat sur le site. Les jambes sont positionnées selon le modèle présenté sur la figure 38. Après serrage des boulons du haut, le trépied est élevé doucement (deux hommes à chaque jambe simple et trois à quatre hommes à la jambe double) et placé dans les pieds. On place ensuite la poulie et le câble.

■ Le forage

En général, le forage est commencé à l'aide de tarières au diamètre de 230 mm. On utilise une combinaison de différents types de tarières, selon la nature ou la résistance des terrains.

La tarière, sur laquelle on a adapté la première tige d'extension, est suspendue au crochet de la poulie. Le point exact du forage est donné par l'endroit où la tarière touche le sol lorsqu'elle est descendue. Le tourne-à-gauche est placé et claveté à une hauteur permettant à deux hommes de le manoeuvrer (figure 39). Le forage peut alors commencer.

Dès le début du forage, il est très important de maintenir la tarière le plus verticalement possible. En effet, un forage incliné peut poser de nombreux problèmes, en particulier au moment de la pose de la colonne filtrante et du massif de gravier, ou bien lors de la mise en place de la pompe (figure 40 page 27).

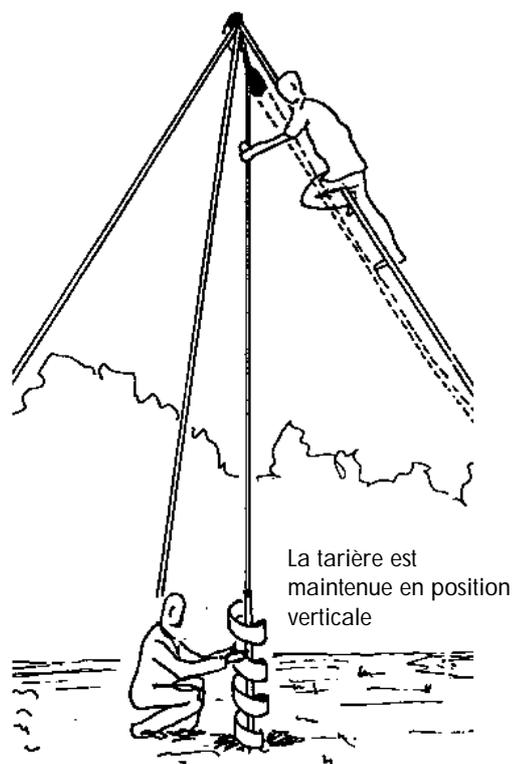


Figure 39

Si la colonne filtrante est placée verticalement dans un forage incliné, le massif de gravier n'entoure pas la crépine de façon régulière et une partie de cette dernière est en contact avec les terrains aquifères. Si la colonne filtrante est placée suivant l'inclinaison du forage, la pompe et sa tuyauterie sont placées également de façon inclinée. Une usure prématurée peut s'ensuivre.

Quand les 2 ou 3 premiers mètres du trou ont été forés bien verticalement, le reste du forage se poursuit en conservant la verticalité sans problème. En revanche, si la première partie est inclinée, il est très difficile, sinon impossible, de rattraper la verticalité.

Après avoir enfoncé la tarière dans le sol d'environ 0,50 mètre, celle-ci est extraite à l'aide du treuil. Pendant l'opération d'enfoncement de la tarière, on doit relâcher le câble au fur et à mesure ("donner du mou").

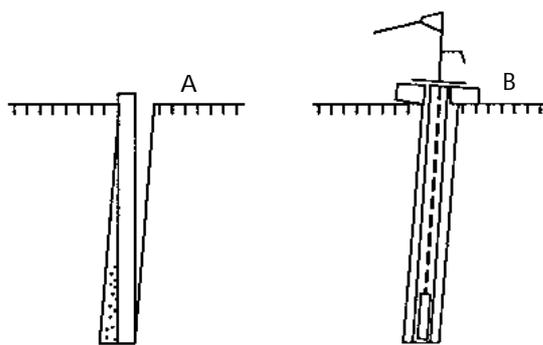


Figure 40

A : si le trou n'est pas vertical, le massif de gravier ne peut être mis correctement.

B : ou la pompe ne peut être placée verticalement.

Lorsque la tarière est relevée au niveau du sol et maintenue suspendue, elle est poussée sur le côté et vidée de la terre qu'elle contient, à l'aide d'une curette ou d'un gros tournevis.

Un échantillon de terre est recueilli, au moins à chaque mètre et, impérativement, à chaque changement de terrain. Il est placé dans de petites poches en plastique et sa profondeur notée sur la poche de manière indélébile. Cette précaution permet de connaître la coupe des terrains traversés lorsque le forage est terminé, et de choisir les caractéristiques de la colonne crépinée et du gravier à placer autour.

La tarière est ensuite redescendue dans le trou et le forage se poursuit. Lorsque la profondeur l'exige, une tige d'extension est ajoutée, afin de fixer un tourne-à-gauche à une hauteur convenable (entre 0,75 et 1,50 mètre au-dessus du sol).

Si le forage est profond ou si le sol est dur, l'équipe doit être renforcée. Si le sol est particulièrement dur et n'est pas attaqué avec la tarière (présence de pierres ou niveaux cimentés), d'autres moyens de perforation doivent être mis en oeuvre ; ces derniers sont décrits ultérieurement (cf. pages 30 et 31).

■ L'installation du tubage et le soupapage

Lorsque le niveau d'une première nappe aquifère est atteint et dépassé, le trou commence à s'ébouler et à caver. On doit alors placer un tubage de soutènement. Le cavage se produit en général dans les niveaux sableux qui ne peuvent être forés efficacement avec la tarière. La perforation doit alors se poursuivre transitoirement avec une soupape.

La manoeuvre de la soupape à l'intérieur du tubage doit être faite avec précaution et avec le minimum de dépense d'énergie. Une petite erreur de manoeuvre peut entraîner des conséquences désastreuses. La remise en état ultérieure de l'ouvrage peut être très difficile. Mis à part le cas où le forage est arrêté avant d'atteindre la base de l'aquifère, le soupapage est stoppé dès que le banc dur est atteint. Le forage peut alors être poursuivi avec une tarière de plus petit diamètre ou un trépan à percussion.

La mise en place du tubage

Le premier élément de tubage muni de son sabot est descendu dans le trou, l'extrémité supérieure dépassant de 30 cm environ le niveau du sol. Il est supporté par un collier de retenue serré à cette hauteur et qui prend appui sur le sol. Ce collier de retenue est aménagé au préalable avec des planches ou des traverses pour éviter l'effondrement (figure 41 page 28).

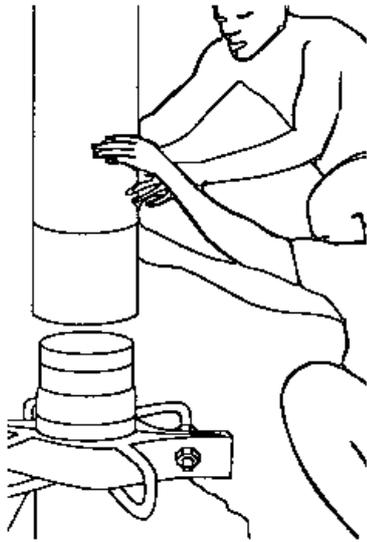


Figure 41 : un élément de tubage prêt à être vissé sur le précédent

Puis on additionne des éléments de tubage jusqu'à ce que la colonne atteigne le fond.

La préparation du soupapage

Après avoir démonté le moufle, le câble est détaché de la poulie supérieure et connecté à la soupape avec une manille. La longueur totale du tubage, y compris le sabot et la partie hors sol, est reportée sur le câble en partant du fond de la soupape. Le point obtenu est marqué par un petit morceau de corde serrée sur le câble.

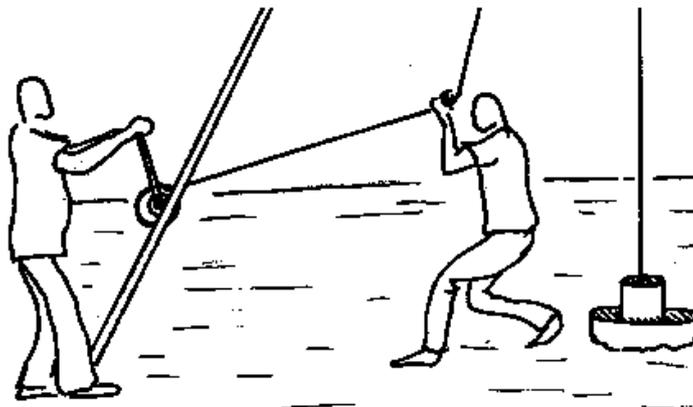


Figure 43 : soupapage dans du sable grossier ; l'ouvrier placé au treuil suit exactement les instructions de celui qui soupape

Après avoir contrôlé que le clapet de pied fonctionne correctement, la soupape est descendue à l'intérieur du tubage jusqu'au fond. Le treuil est bloqué de façon à éviter l'enfoncement de la soupape dans le sable mouvant, en attendant que l'équipe de soupapage soit en place.

Durant le soupapage, un homme actionne le treuil, un ou deux hommes agissent sur le câble et les autres, simultanément, sur le tubage (figures 42 et 43).

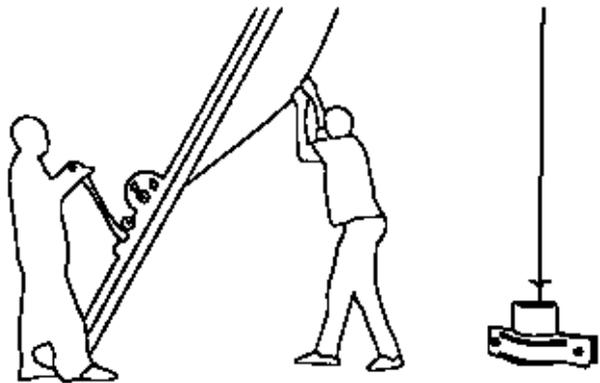


Figure 42 : battage dans le sable fin (noter la marque sur le câble, juste au-dessus du tubage)

Les techniques de soupapage

La méthode de soupapage dépend de la grosseur des grains de sable. Pour le sable fin et moyen, cette méthode diffère de celle utilisée pour le sable grossier. Quelle que soit la méthode utilisée, la soupape ne doit pas descendre en principe en dessous du sabot du tubage. Cela pourrait causer un « extravagage » et provoquer un coincement de la soupape. Par conséquent, la marque sur le câble doit être maintenue à proximité du sommet du tubage, plutôt un peu en dessus.

Dans le sable fin ou moyen, la soupape est manoeuvrée de haut en bas, rapidement, sur une hauteur de 10 cm environ au dessus du sable.

Cela a pour effet de mettre le sable en mouvement par effet de pistonnage, et de le rendre mouvant en faisant flotter les particules dans l'eau.

Un homme est placé entre le forage et le treuil (figure 43 page 28) et tient à bout de bras le câble. Il le tire vers lui et le relâche de façon à donner à la soupape un mouvement de haut en bas. Ainsi, un mouvement de 10 cm environ d'amplitude est donné avec peu d'effort. Après 10 à 20 mouvements, la soupape est retenue par le câble tendu. Ce dernier est alors relâché légèrement par l'homme placé au treuil et le soupapage continue. La soupape descendue dans le sable en mouvement est retirée hors du forage pour être vidée au bout d'un avancement de 20 à 30 cm. Puis, les opérations recommencent.

Pour le sable grossier qui peut être mélangé avec du gravier, la méthode ci-dessus peut ne pas être très efficace. Les éléments sont alors trop lourds pour être mis en mouvement. Dans le cas où l'on rencontre de tels niveaux, une technique légèrement différente est appliquée : un ou deux hommes saisissent le câble le plus haut possible et le tirent vers le bas. La soupape est soulevée de 50 cm environ puis relâchée en libérant le câble. Cette opération est répétée au fur et à mesure que la soupape s'enfonce. Du mou est alors donné au câble par l'homme au treuil. Quand la soupape est approximativement garnie à moitié de sable, elle est remontée et vidée.

La descente du tubage

Au début du soupapage, quand les frottements latéraux des terrains sur le tubage sont faibles, ce dernier descend par son propre

poids. Puis, progressivement, la descente est freinée par les frottements. Il est alors nécessaire de louvoyer¹ la colonne au fur et à mesure du soupapage, en évitant de la bourrer et de créer un bouchon de sable tassé qui remonte à l'intérieur, au-dessus du sabot de tubage. Pour cela, il faut louvoyer et soupaper simultanément (figure 44), en prenant soin de maintenir la marque sur le câble légèrement au-dessus du haut du tubage.

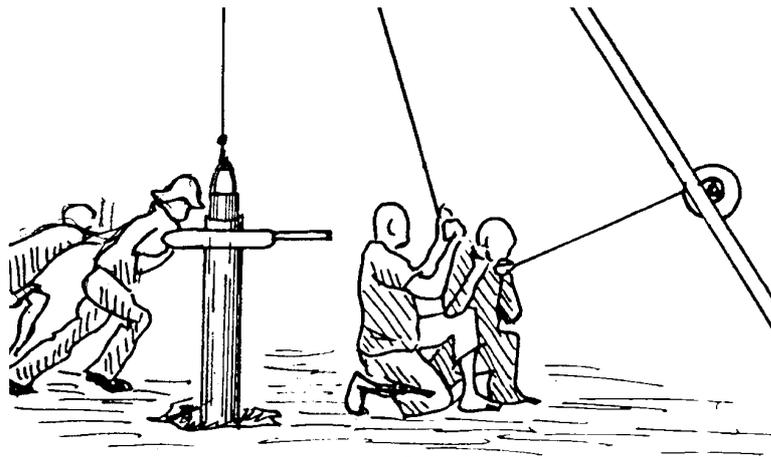


Figure 44 : lorsque la soupape est remontée, le tubage est descendu par louvoiement

Le meilleur moment pour faire descendre le tubage est celui où le sable est en mouvement, c'est-à-dire au moment de la montée de la soupape.

Le louvoiement s'effectue en plaçant le collier du tubage à une certaine hauteur (environ 1,20 mètre du sol). Ce collier est muni de deux rallonges formant levier. Un ou plusieurs hommes agissent sur ces leviers pour imprimer à la colonne une rotation dans un seul sens qui évite le dévissage.

Il peut arriver que la descente du tubage soit stoppée par la présence de pierres ou d'un banc argileux. On peut alors s'aider en descendant une petite tarière et en forant un peu au-delà du sabot.

¹ Appliquer un mouvement rotatif de gauche à droite et vice-versa.

■ La poursuite du forage à l'intérieur du tubage

Souvent, le forage est prévu pour capter un second ou éventuellement un troisième aquifère. Des niveaux de terrains plus durs sont alors traversés. Si ces niveaux ne sont pas trop épais, par exemple 2 ou 3 mètres, le tubage peut facilement les traverser pour atteindre le prochain aquifère. La perforation est continuée à l'intérieur du tubage avec des outils d'un diamètre légèrement inférieur à celui du tubage (par exemple 180 mm pour un tubage de 200/220 mm).

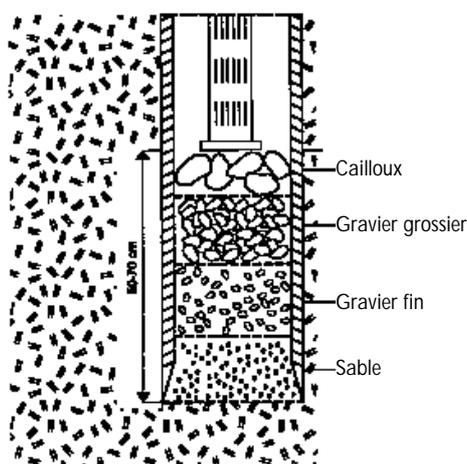


Figure 45 : si le trou est arrêté avant la fin de l'aquifère, un filtre adapté empêchera l'introduction du sable lors du tubage PVC

Lorsque la tarière est utilisée à l'intérieur d'un tubage dont les éléments sont assemblés par filetages, les forces de frottement peuvent provoquer le dévissage des tubes inférieurs. Il est donc indispensable d'entraîner la tarière dans le sens inverse de celui qui a servi au vissage des tubes.

- ♦ Attention : pour cette raison, la société Bonne Espérance fabrique des tubes assemblés par filetage "à gauche", alors que la tarière et les tiges-allonges sont équipées de raccords filetés "à droite". Bien entendu, la conception de la tarière doit tenir compte du sens dans lequel elle est entraînée.

La pression horizontale du sol sur le tubage, et par conséquent les forces de frottement, augmente avec le temps. Il faut donc procéder rapidement à l'équipement du forage, sinon le tubage peut rapidement être bloqué. Cette rapidité de mise en route de la phase d'équipement est indispensable pour les forages profonds. Le travail doit être organisé pour ne pas laisser le tubage trop longtemps dans le trou, par exemple le week-end.

Si l'aquifère est peu épais et repose par exemple sur une couche argileuse, la méthode la plus simple est d'arrêter le forage lorsque le tubage a pénétré d'au moins 20 à 30 cm dans cette couche argileuse afin de prévenir un éventuel cavage. Si l'aquifère repose directement sur une roche dure, le tubage est bien évidemment posé sur celle-ci, car il ne peut y pénétrer.

Si l'aquifère est très épais et si le niveau de l'eau, compte tenu des variations saisonnières, est favorable, on peut terminer le forage avant d'atteindre sa base. Dans ce cas, le creusement peut être arrêté de différentes façons.

Le soupapage est poursuivi 50 ou 70 cm au-delà de la profondeur choisie et le tubage est également descendu plus profond. Les 50 à 70 cm sont garnis de couches de sable grossier et de gravier de dimensions croissantes, avec les plus gros éléments en haut (figure 45).

Le trou est maintenant prêt à être équipé.

■ La perforation des terrains difficiles

Le forage au trépan à percussion pour les terrains durs

Lorsque le terrain présente une dureté telle que la soupape ou la tarière sont totalement inefficaces, on doit se servir d'un trépan casse-pierres sur lequel on visse une masse-tige. Cet équipement est fixé, par l'intermédiaire d'un émerillon, à l'extrémité d'un câble de cordage qui passe par la poulie en haut du trépied et qui est descendu au fond du trou (figure 46 page 31).

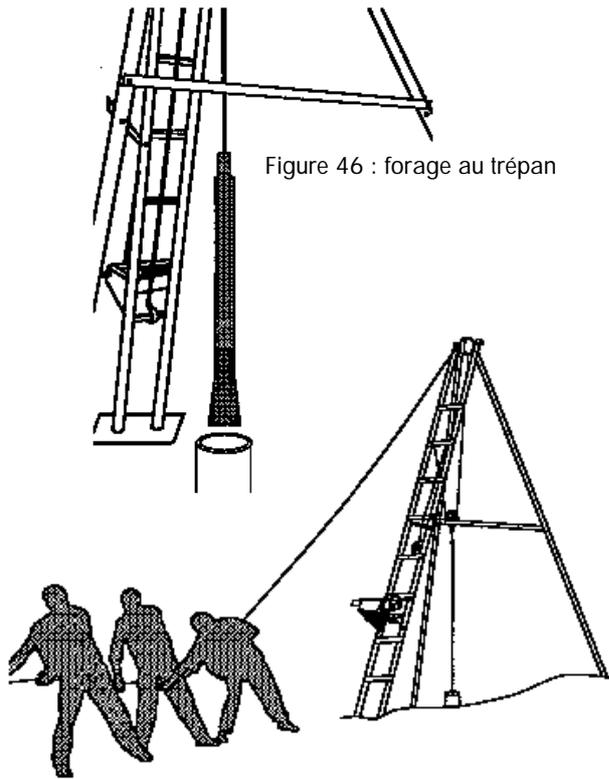


Figure 46 : forage au trépan

Figure 47 : battage avec moufflage du câble

Le battage est assuré par deux hommes, ou davantage si le poids à soulever l'exige. Cette équipe tire sur le câble pour soulever le trépan de 0,50 à 1 m et le laisser chuter en relâchant brusquement le câble. C'est une opération pénible qui peut-être sensiblement allégée en procédant à un moufflage du câble à l'aide d'une poulie (figure 47). Le choix du trépan dépend de la nature du terrain.

Le forage télescopique pour des terrains consistants ou collants (argile)

Si les couches intermédiaires entre deux aquifères sont très épaisses et le terrain consistant ou collant (par exemple, les argiles gonflantes), il peut être difficile, sinon impossible, de descendre le tubage plus profondément. Dans ce cas, un forage télescopique peut être adopté pour résoudre ce problème.

Un second tubage de diamètre réduit est placé à l'intérieur du premier, après que la couche intermédiaire ait été forée au-delà du sabot. La figure 48 montre les étapes successives d'un forage télescopique :

- 1) le profil du sol montre une épaisse couche d'argile entre deux aquifères. L'équipement de forage est prévu pour capter l'aquifère inférieur ;
- 2) la première couche d'argile est forée avec des outils de 300 mm ;
- 3) un tubage de 250/275 mm est placé et descendu à l'aide d'une soupape au travers du premier aquifère, puis descendu dans la seconde couche argileuse afin d'isoler complètement le premier aquifère ;
- 4) l'eau est pompée avec une pompe à membrane ;
- 5) la perforation est continuée avec un outil de 230 mm sur toute l'épaisseur de la couche d'argile ;

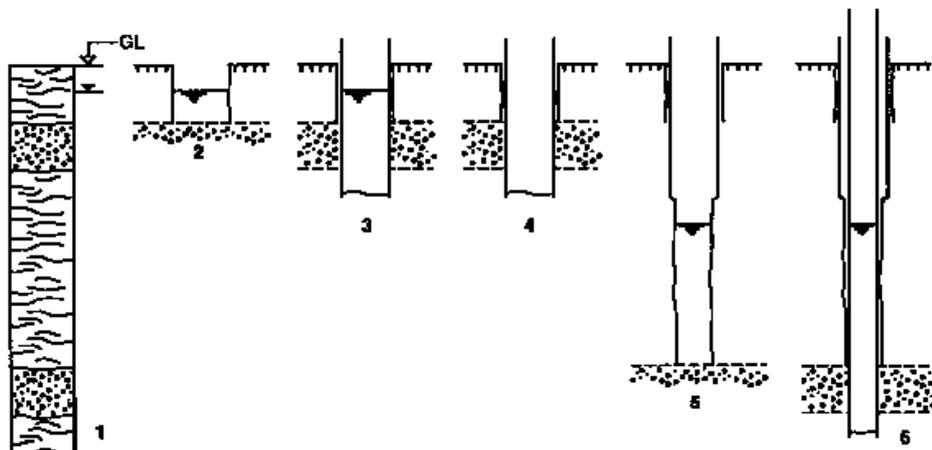


Figure 48 : différentes étapes d'un forage télescopique

6) un tubage de 200/230 mm de diamètre est placé dans le trou et descendu par soupapage au travers du second aquifère, puis enfoncé dans la couche inférieure d'argile en utilisant un outil de 180 mm de diamètre.

■ L'équipement du forage

Le tube crépiné et le massif de gravier représentent l'équipement du forage.

La mise en place de la crépine et du massif de gravier

Le gravier utilisé a les fonctions suivantes :

- il joue le rôle de filtre entre l'aquifère et la crépine ; les grains du massif de gravier forment une barrière physique empêchant le transport des particules sableuses de l'aquifère ;

- il augmente la perméabilité aux alentours immédiats de la crépine, contribuant ainsi à créer un meilleur rendement du forage.

En même temps que le gravier est placé autour de la crépine, le tubage est remonté pour être extrait totalement.

En théorie, le massif de gravier nécessite une épaisseur de 2 à 3 fois la dimension de la plus grosse particule du gravier, ce qui suppose une épaisseur de 1 à 1,5 cm. Cela est suffisant pour garantir une bonne filtration. Toutefois, en pratique, il n'est pas possible de réaliser une aussi mince épaisseur.

D'un autre côté, le massif ne doit pas être trop épais, car cela poserait de sérieux problèmes lors du développement. Les fines particules provenant de l'aquifère ne pourraient passer au travers du gravier et il en résulterait un très mauvais rendement.

L'épaisseur optimale du massif qui peut être développée par des moyens manuels (pompe à main et piston plongeur) est comprise entre 5 et 8 cm.

La mise en place du tube crépiné

Lorsque la profondeur du forage est faible (6 à 7 mètres au maximum), l'ensemble du tube crépiné est assemblé sur le sol et introduit dans le trou ensuite. Dans le cas où la profondeur est plus importante, les éléments de tube sont descendus dans le trou un à un, en utilisant un collier de retenue et une tête de levage. Le procédé est le même que celui utilisé pour la descente des colonnes de soutènement, lors du creusement du trou.

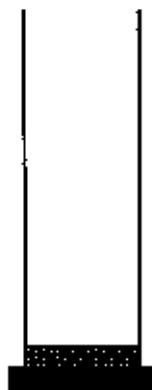


Figure 49 : bouchon de fond de crépine

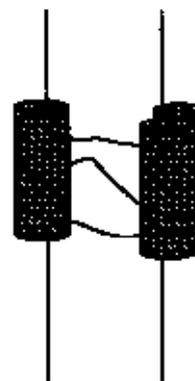


Figure 50 : trois centreurs fixés avec du fil de fer

Tout d'abord, on obture le fond de la crépine par un bouchon en bois (figure 49) afin d'empêcher le sable de pénétrer dans le forage. Des cales en bois (figure 50) sont fixées avec du fil de fer en bas et en haut du tube crépiné afin de le centrer dans le trou. Si le tube est très long, un troisième centrage peut être placé entre les deux extrêmes. Ces cales ne doivent pas être très encombrantes pour permettre le passage du gravier lors de sa mise en place.

La mise en place du massif de gravier

Immédiatement après la pose du tube crépiné, un petit volume de gravier est introduit dans l'espace annulaire afin de stabiliser le pied du tube. La performance finale du forage dépend

du soin apporté à la construction du massif de gravier. La mise en place du gravier et la remontée du tubage de soutènement doivent se faire avec beaucoup de précautions.

Si la totalité du gravier est introduite en une seule fois, il y a de gros risques pour que le tube crépiné se trouve coincé, et remonté avec le tubage de soutènement lors de son extraction.

Il faut donc procéder pas à pas, introduire le gravier dans l'annulaire jusqu'à une hauteur de 0,50 à 0,70 mètre, attendre que tout le gravier soit en place, remonter le tubage de moins de 0,50 m, puis ajouter du gravier, cette fois sur une hauteur supplémentaire de 1 mètre environ, relever le tubage et ainsi de suite, jusqu'à ce que la partie crépinée soit entourée par le gravier. Il faut en outre garder une marge de sécurité de 0,50 mètre au moins.

Pendant ces opérations, il est très important que le sabot du tubage ne soit pas remonté au dessus du niveau du gravier en place, faute de quoi le sable de l'aquifère envahirait la cavité ainsi formée (figure 51) et serait entraîné sans fin lors du pompage.

Lorsque le massif de gravier est ainsi formé, sans extraire encore la totalité du tubage de soutènement, il est indispensable de poser un bouchon d'argile à la partie supérieure du massif de gravier sur une certaine hauteur. Ce bouchon

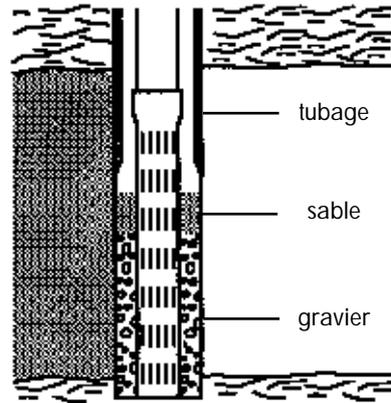


Figure 51 : le tubage ne doit pas être remonté trop vite pour éviter l'envahissement de l'annulaire par le sable de l'aquifère

doit être confectionné avec de l'argile plastique et tassé avec un mouton de petit encombrement fixé sur les tiges-allonges (figure 52).

Ce bouchon crée un écran étanche imperméable aux infiltrations d'eau polluée provenant de la surface (figure 53). Le reste de l'espace annulaire est comblé avec du tout venant, au fur et à mesure de l'extraction totale du tubage de soutènement afin d'éviter l'effondrement du sol aux alentours immédiats du forage.

Un second bouchon d'argile compactée est ensuite placé au niveau du sol afin de compléter l'étanchéité (figure 54).

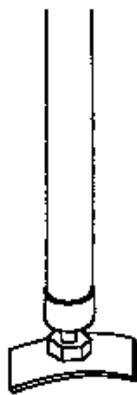


Figure 52 : petit mouton fixé sur tige allonge

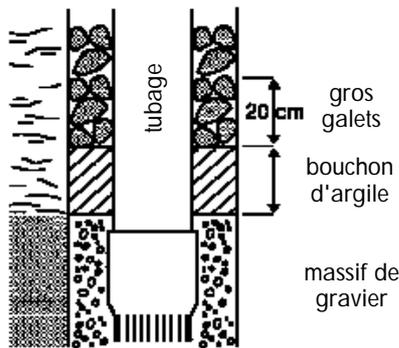


Figure 53 : position d'un bouchon d'argile étanche

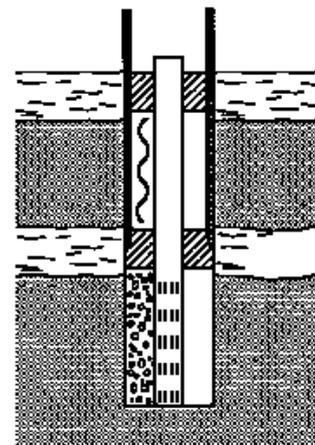


Figure 54 : un second bouchon d'argile compacte complètera l'étanchéité

■ Le « développement » de l'ouvrage et les essais de pompage

Avant la pose du premier bouchon d'argile, et donc avant de garnir complètement l'annulaire et de procéder à l'extraction totale de la colonne de soutènement, l'ouvrage doit être "développé" et faire l'objet d'un essai de pompage. Durant ces opérations, le massif de gravier autour de la crépine prend sa place définitive et se tasse. Il est donc indispensable de faire le complément de gravier pour conserver constamment une hauteur suffisante au-dessus des fentes supérieures de la crépine.

Si le débit obtenu est jugé insuffisant pour être exploité, il est alors possible d'extraire la totalité de l'équipement placé, ce qui serait impossible si l'espace annulaire était complètement comblé.

Les objectifs du développement

Le principal objectif du développement est d'extraire les matériaux fins de l'aquifère autour du crépinage. Durant cette opération, ces éléments fins traversent le massif de gravier pour pénétrer à l'intérieur de la crépine d'où ils sont extraits par pompage. Le résultat final est une amélioration de la porosité, par conséquent de la circulation de l'eau, et donc du rendement de l'ouvrage (figure 55).

Le second effet obtenu après l'élimination des fines est la stabilisation de l'aquifère. Lors de l'exploitation, l'eau pompée sera claire et sans sable. Quand le tubage de soutènement est descendu au travers de l'aquifère, il entraîne souvent avec lui des particules argileuses. Lorsque le tubage est remonté, il laisse sur les parois un film argileux entre l'aquifère et le gravier (figure 56). Ce film freine la circulation. Il doit donc être détruit et extrait.

Les méthodes de développement

Deux méthodes simples et économiques sont mises en oeuvre pour développer un forage : le

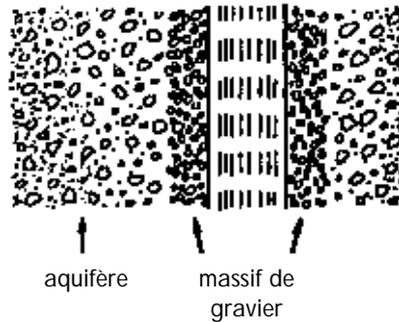


Figure 55 :
massif de gravier après développement

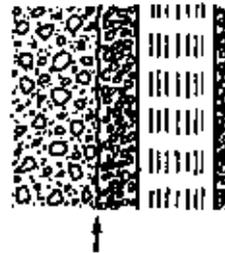


Figure 56 : film argileux

surpompage et l'agitation. Ces deux méthodes doivent être appliquées conjointement et alternativement, jusqu'à obtenir le résultat recherché.

Le surpompage s'effectue tout d'abord à débit progressif. Au début, l'eau est très chargée en particules sableuses et limoneuses, puis s'éclaircit peu à peu. C'est alors que l'on procède à l'agitation, après avoir démonté le système de pompage. Cette opération consiste à provoquer un mouvement de va-et-vient de l'eau au droit du crépinage. Cet effet d'aller et retour brise le film argileux et met en mouvement les fines particules bloquées dans le massif de gravier. Parallèlement, les grains du gravier se mettent en place et s'arrangent, ce qui provoque le tassement du massif.

La mise en oeuvre

Le piston est descendu dans le tube crépiné de quelques mètres en dessous du niveau d'eau. Il doit rester au-dessus de la partie supérieure des fentes de la crépine. L'agitation débute douce-

ment, avec les quatre trous du piston ouverts. Graduellement, la cadence est augmentée. Le nombre d'ouvertures actives du piston est réduit jusqu'à obtenir une résistance importante.

Après 5 à 10 minutes d'agitation, le piston est retiré du forage. Le sable fin accumulé dans la crépine est extrait par pompage. Ces opérations successives sont poursuivies jusqu'à ce que l'eau pompée soit claire et exempte de sable.

Les essais de pompage

Quand le forage est développé et que l'eau est claire, on procède à un essai de pompage. Le matériel nécessaire à la réalisation de cet essai est le suivant :



Figure 57 :
sonde de mesure
du niveau de l'eau

– pompe à membrane ou pompe à piston pour grande profondeur qui, en général, sont les mêmes que celles qui ont servi au développement ;

– sonde de mesure du niveau de l'eau (figure 57). Il s'agit d'un instrument que l'on peut facilement fabriquer. C'est un morceau de tube en acier, fermé à sa partie supérieure, et

- décamètre à ruban ;
- seau ou récipient de contenance mesurable ;
- montre indiquant les secondes, ou mieux, chronomètre.

Le but de l'essai de pompage est de tester de façon précise les possibilités du forage réalisé. Les renseignements recueillis permettent de choisir le type de pompe adéquat : débit, profondeur du plan d'eau pendant le pompage. En cas d'altération dans le temps des caractéristiques du forage, ces essais serviront à établir un diagnostic sur les raisons de cette dégradation (abaissement du niveau de la nappe, colmatage, etc.).

L'essai de pompage doit être réalisé avec beaucoup de soin. Il doit porter sur les observations suivantes qui sont consignées :

- la date de l'essai ;
- le niveau établi après un temps assez long après la fin du dernier pompage (au moins 24 heures) ;
- l'heure précise du début de pompage ;
- le débit du pompage qui doit être régulier et sans interruption ;
- le niveau dynamique établi avec la sonde de mesure pendant le pompage tous les quarts d'heure ;
- l'heure de la fin du pompage qui doit être précédée d'une dernière mesure de niveau et de débit.

Tableau récapitulatif des opérations

Opérations	Matériel et outillage	Les étapes	Précautions particulières
1) La perforation des terrains	<p><u>Matériel</u></p> <p>Trépied Tarières Soupapes Tiges-allonges Tourne-à-gauche Trépans et masse-tiges</p> <p><u>Outillage</u></p> <p>Tubage de soutènement Colliers de retenue Jeux de clés Outils de sauvetage</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Perforation par rotation de la tarière avec un tourne-à-gauche. ◆ Manoeuvre de la tarière à l'aide du treuil pour extraire les déblais. ◆ Utilisation du trépan quand le terrain est dur. ◆ Mise en place d'un tubage de soutènement lorsque le trou s'éboule et cave. ◆ Soupapage pour évacuer les matériaux fins. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Placement vertical de la tarière. ◆ Recueil des échantillons de terrain. ◆ Quand la descente du tubage est arrêtée par la présence de banc de pierres, il est possible de descendre une petite tarière. ◆ Ne pas descendre la soupape en dessous du sabot de tubage. ◆ Entraînement de la tarière dans le sens inverse du système de vissage du tube de soutènement. ◆ Possibilité de faire un tubage télescopique si le terrain est collant. ◆ Eviter de laisser le tubage en place trop longtemps car les forces de frottement augmentent avec le temps.
2) L'équipement du forage	<p>Tube crépiné PVC Gravier</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Descente du tube dans le tubage de soutènement. ◆ Obturation du fond du tube par un bouchon en bois. ◆ Stabilisation du tube par la mise en place d'un petit volume de gravier. ◆ Mise en place progressive du gravier (0,5 à 0,7 mètre, puis 1 mètre) et extraction progressive du tubage de soutènement jusqu'au-dessus de la crépine. ◆ Pose d'un bouchon d'argile au-dessus du gravier. ◆ Comblement de l'espace annulaire avec du tout-venant au fur et à mesure de l'extraction du tubage. ◆ Pose d'un 2^e bouchon d'argile à la surface. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Centrage du tube crépiné par la pose de petites cales en bois, en haut, au milieu et en bas. ◆ Nécessité absolue de ne pas remonter le tubage de soutènement au-dessus du gravier lors de son extraction à cause des risques d'entrées de sable. ◆ Nécessité d'une bonne qualité de gravier. ◆ Nécessité de procéder au développement avant de poser le bouchon d'argile
3) Le développement du forage	<p>Pompe à membrane ou à piston pour grande profondeur Piston plongeur Sonde de mesure de l'eau Décamètre à ruban Seau Chronomètre</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Surpompage à débit progressif pour extraire les matériaux fins autour du crépinage. ◆ Mouvement de va-et-vient de l'eau au droit du crépinage grâce à l'immersion et la manipulation manuelle d'un piston pour stabiliser l'aquifère. ◆ Essai de pompage avec la pompe à membrane ou à piston à grande profondeur et recueil des performances du forage (débit, profondeur du plan d'eau pendant le pompage). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ A faire avant la pose du premier bouchon d'argile afin de garder la possibilité d'extraire l'équipement placé si le débit obtenu est jugé insuffisant.

II - Les variantes techniques

1. Le forage maraîcher de type LWR

Lutheran World Relief travaille au Niger avec des maraîchers depuis 1978 et a construit de nombreux puits maraîchers en béton. Malgré des efforts énormes de construction, la demande en puits reste plus élevée que les possibilités de les construire. Les sites maraîchers souffrent de manque d'eau alors qu'elle se trouve à des profondeurs inférieures à 10 mètres. LWR a cherché une technique applicable à peu de frais au captage d'eau dans ces conditions spécifiques.

■ Description du système

La technique est dérivée des méthodes de forage décrites dans cet ouvrage. La différence essentielle entre le système LWR et les autres systèmes réside dans la légèreté du matériel, utilisable uniquement pour des forages peu profonds réalisés manuellement dans des sols peu cohérents et meubles (alluvions sableuses et aquifères en particulier).

Le système LWR, qui utilise la technique de forage manuel à la tarière, a mis au point un procédé qui évite le tubage de soutènement. Le tube crépiné est descendu directement dans les sables aquifères. Dans ces conditions, la création d'un massif de gravier étant rendue impossible, la partie crépinée est recouverte au préalable d'un tissu filtre en nylon ou polyester. Cette combinaison offre la possibilité de construire très rapidement un forage maraîcher de 6 à 12 mètres peu coûteux (en moins de 6 heures). Toutefois, ce type d'ouvrage ne convient en principe qu'aux zones de "Koris" où le sol est composé de sable et de gravier très perméables. Les

aquifères qui ont une teneur en argile ou en limon élevée ne peuvent être exploités avec ce système, qui donnerait un mauvais résultat et un colmatage rapide.

Le système LWR, quoique limité dans ses possibilités d'application, offre un excellent moyen de remplacer des puits de grand diamètre, à un coût bien inférieur dans les zones favorables.

Les avantages que présente ce type de forages maraîchers sont multiples et concernent :

- la facilité de construction ;
- le coût très faible du forage ;
- le coût très bas de l'équipement nécessaire à la construction ;
- la possibilité de fabriquer l'équipement localement. Une fois acquis, cet équipement peut servir pratiquement indéfiniment, moyennant un entretien facile et peu onéreux ;
- la facilité de récupération du tube filtre en cas d'échec ou, à terme, en cas de colmatage ou de détérioration du tissu filtre ;
- la faiblesse de l'espace requis, facteur important dans les zones où l'espace est limité.

■ La méthode de construction

La méthode de construction est extrêmement simple. Ce type de forage peut être fabriqué par une petite équipe non spécialisée, après quelques jours d'apprentissage.

La construction commence par le forage de l'avant-trou à l'aide d'une tarière de 18 cm de diamètre. Le choix de la tarière dépend du type

Deuxième chapitre

de sol. Dans les sols sableux, on utilise une tarière conique. Dans les sols plus durs, on se sert d'une tarière à glaise. Si l'on rencontre des difficultés, on fait un avant-trou avec une tarière de petit diamètre. Il est ensuite élargi au diamètre

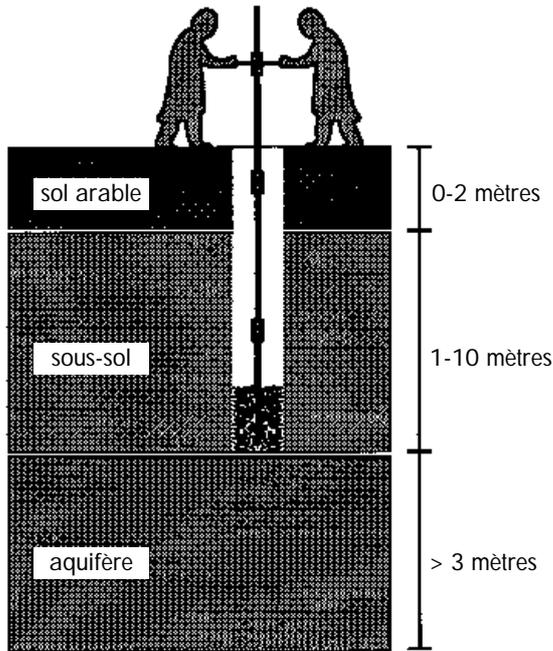


Figure 58
avant-trou foré sans cuvelage

de 180 mm, soit à l'aide d'une tarière conique, soit avec une tarière à glaise. Souvent, on obtient de meilleurs résultats avec l'utilisation de plusieurs types de tarière en combinaison.

La tarière est tournée à la main par deux hommes (figure 58). Elle est fixée sur une tige-allonge et est entraînée par une poignée fixée sur le raccord d'adaptation de la tige-allonge. Lorsque la tarière a pénétré de quelques dizaines de centimètres dans le sol, il faut la retirer du trou pour la vider, et poursuivre l'opération de creusement.

Lorsque la nappe aquifère est atteinte, les sables mouillés ne présentent plus de cohésion et le fond du trou commence à s'ébouler. A ce stade, la colonne de tube est mise en place.

Le tube crépiné de 140 mm de diamètre est assemblé et descendu en utilisant des sections

filetées de 1,50 à 3 mètres de longueur jusqu'à ce qu'il dépasse le niveau du sol de 1 à 1,50 mètre. Les trois premiers mètres du tube sont crépinés par fentes à la scie et recouverts d'un tissu filtrant en nylon ou polyester qui maintient et empêche le sable de l'aquifère de pénétrer dans le forage par le côté. L'extrémité inférieure du tube est ouverte pour permettre la poursuite du forage.

La tarière de 180 mm est alors mise de côté et le creusement se poursuit à l'intérieur du tube à l'aide d'une tarière de 110 mm. Le choix de la tarière dépend de la consistance du terrain et surtout de sa cohésion. Lorsque le sable de l'aquifère est très fluide, ce qui est le plus souvent le cas, on utilisera une tarière conique fermée par une cloche coulissante qui emprisonne les déblais et permet ainsi de les extraire du forage.

Un collier de serrage est fixé autour du tube afin de pouvoir exercer une pression vers le bas sur ce dernier et de provoquer ainsi sa descente au fur et à mesure du creusement (figure 59). Cette pression est obtenue par le poids de deux hommes assis ou debout sur le collier de serrage.

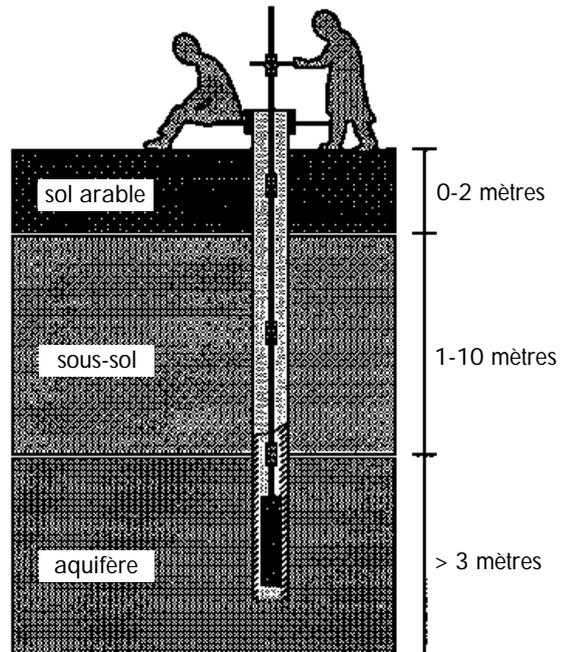


Figure 59 : les tubes sont installés
une fois la nappe phréatique atteinte

Techniques de forages à faibles coûts

Les manoeuvres de descente et de remontée de la tarière se font en ajoutant ou en enlevant des tiges-allonges à la demande. Des colliers de retenue servent au maintien en suspens de la garniture pendant la mise en place ou le retrait des tiges-allonges. Au cours de cette phase, les foreurs travaillent soit au niveau du sol, soit sur deux tonneaux vides de 200 litres. Ces tonneaux fournissent une plate-forme élevée qui permet de travailler plus facilement, surtout après le rajout d'un élément de tubage. Lorsque l'extrémité supérieure du tubage atteint le niveau du sol, un élément de 1 mètre ou 1,50 mètre de longueur est ajouté. Les opérations se poursuivent jusqu'à ce qu'il y ait au moins 3 mètres de tubage enfoncés dans la nappe aquifère, c'est-à-dire la hauteur de la partie crépinée.

L'idéal est d'arrêter le forage après avoir traversé la totalité de la nappe aquifère sableuse et de faire pénétrer légèrement le tubage dans la couche d'argile imperméable placée généralement en dessous. Cette solution n'est pas toujours possible parce que la profondeur de pénétration du tubage est limitée par les frottements latéraux des terrains sur celui-ci. Dans ce cas, on obture le fond par un petit sac fabriqué avec le même tissu que celui du filtre et rempli de gravier. Cette opération, assez délicate, doit permettre d'éviter, lors du pompage, l'envahissement du forage par le sable.

■ L'exploitation

Le forage est terminé (figure 60). Il est exploité en principe avec une puisette. Toutefois, si les performances du forage le permettent, il peut être équipé d'une pompe à main, voire d'un groupe motopompe de débit plus élevé. La méthode la plus simple est la puisette qui convient pour l'arrosage de petites parcelles. Sa capacité est de 7,5 litres. Dans un forage de 6 à 8 mètres de profondeur, 5 à 6 cycles par minute sont possibles, ce qui correspond à un débit de 40 litres par minute ou 2,4 mètres

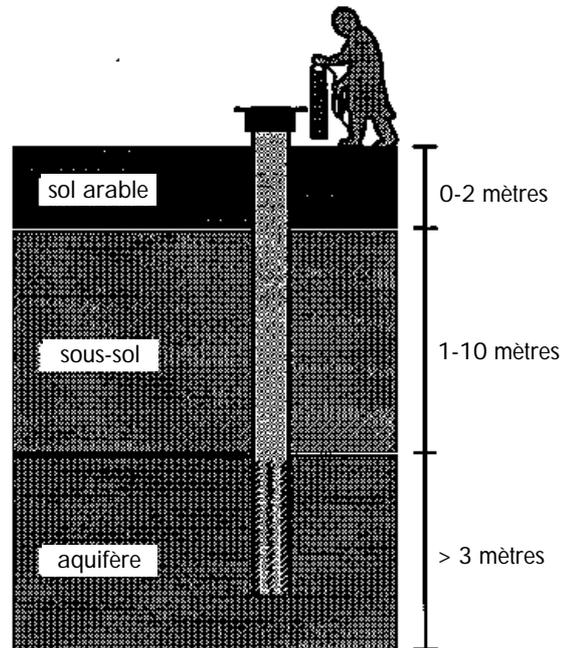


Figure 60 : forage achevé

cubes à l'heure. La plupart des forages de ce type construits à ce jour fournissent ce débit.

L'avantage de la puisette est qu'elle est simple, facile à fabriquer et à entretenir au niveau du village. Cependant, dès que la superficie du jardin dépasse 1500 m², cela s'avère insuffisant.

Une pompe à main fabriquée localement a été utilisée dans certains forages, avec de bons résultats. Des débits de 3,5 à 4 m³/heure ont été obtenus. Cependant, à cause de nombreux problèmes de maintenance rencontrés dans les zones rurales du Niger, LWR est peu disposé à poursuivre cette option pour la plupart des forages construits pour les jardins d'autoconsommation.

Des essais récents d'utilisation de motopompes ont démontré que des débits de 14 m³ à l'heure sont possibles à partir d'un forage de 7 mètres de profondeur. Toutefois, ces performances sont limitées aux seules zones de haute perméabilité de l'aquifère.

■ Les difficultés particulières

L'utilisation d'une colonne de soutènement provisoire

Les terrains argileux recouvrant les sables aquifères contiennent parfois des passages sableux mouillés. Dans ce cas, le trou s'effondre après le passage de la tarière et son approfondissement n'est plus possible. Un tubage de soutènement doit alors être réalisé. Ce tubage a un diamètre de 200 mm. Il permet l'utilisation de tarière de 180 mm. Le tubage est descendu en même temps que le creusement s'effectue, jus-

qu'à ce que les niveaux d'éboulement soient masqués. Le forage peut alors être repris suivant le processus décrit plus haut. Après terminaison, le tubage provisoire est extrait et récupéré.

Traversée de sols durs

Les couches de sols durs à base d'argile ou de latérite peuvent ralentir considérablement l'avancement, voire le stopper totalement. Une des solutions consiste à abandonner et à déplacer le forage. LWR tente d'expérimenter le battage manuel au trépan pour résoudre ce problème.

2. Le forage par lançage (washbore)

Le forage par lançage est une façon simple et rapide d'obtenir un point d'eau exploitable par pompe à main ou groupe motopompe de surface, dans les zones alluvionnaires sableuses où la nappe se trouve très près du sol. Elle consiste à fouiller le sol grâce à un puissant jet d'eau ou de bentonite (boue).

Cette technique a été surtout développée dans le Nord Nigeria, dans les lits de rivière durant la saison sèche, par BSADP et Knarda¹. BSADP et Knarda utilisent quatre techniques. Trois sont des variantes du lançage au jet d'eau. La quatrième met en oeuvre un petit matériel de forage au rotary monté sur camion léger.

Dans tous les cas, un minimum d'équipement est nécessaire. Le groupe de pompage doit être assez puissant pour provoquer un jet d'eau à l'extrémité inférieure du tube de lançage.

Le lançage à l'eau claire

Cette technique (figure 61, page 41) permet de descendre seulement à de faibles profondeurs

(8 mètres maximum). Les frottements latéraux deviennent trop importants à partir de cette profondeur et ne permettent pas de descendre plus bas. Le tube de lançage est utilisé à l'intérieur d'une colonne de soutènement provisoire. Les deux sont descendus simultanément (figure 61-3). L'équipement et l'exploitation se font ensuite de façon classique.

◆ Des précautions particulières

– Le recyclage de l'eau de lançage n'est pas possible, aussi une réserve d'eau importante est nécessaire au niveau du sol. On utilise en général une citerne de stockage transportable.

– La traversée des couches argileuses peut poser des problèmes. Lorsqu'on se trouve en présence d'argile dès le niveau du sol, on la traverse par un avant-trou creusé manuellement à la pelle et à la pioche si l'épaisseur n'est pas trop importante. Dans le cas contraire, on se sert d'une tarière à main pour atteindre l'aquifère sableux (figure 61-1). Mais on peut rencontrer de petits niveaux argileux intercalés dans les sables aquifères. Leur traversée n'est pas aisée avec cette technique. De bons résultats peuvent être obtenus en modulant la descente de la

¹ Pour en savoir plus, consulter le document suivant : Banchi State Agricultural Development Programme, Northern Zone, Second Fatama Seminar, 6th-8th March 1984.

Techniques de forages à faibles coûts

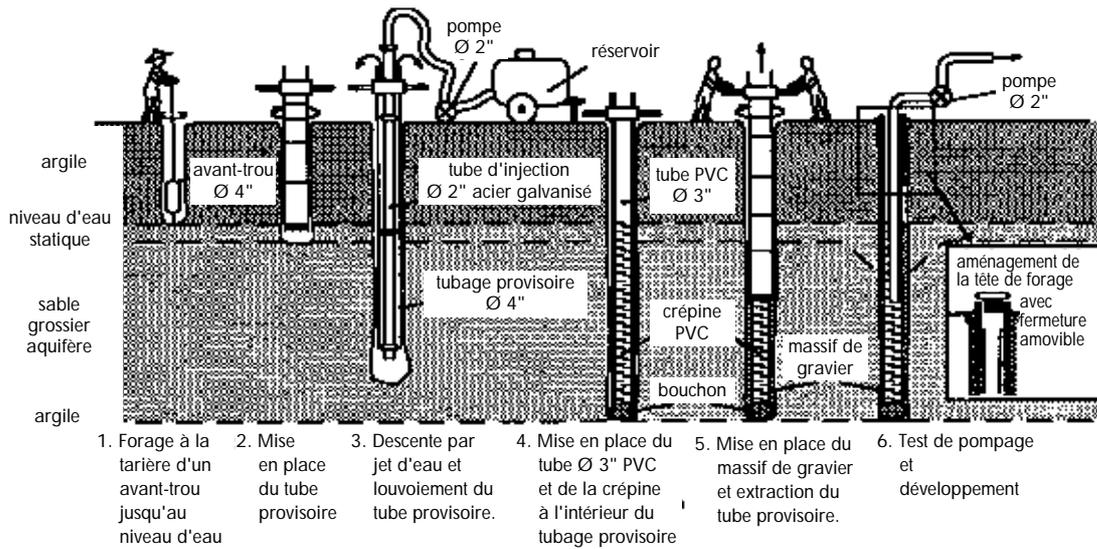


Figure 61 : forage par lançage avec pose de tubage provisoire

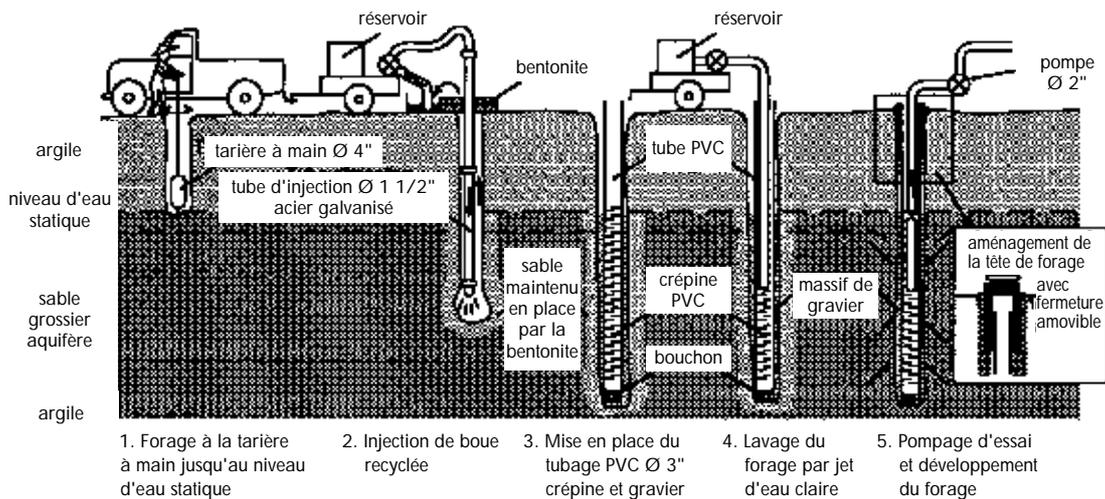


Figure 62 : forage par lançage à la bentonite

lance, de façon à éviter la formation d'un bouchon d'argile à la base qui boucherait la circulation de l'eau. On peut également retirer la lance et utiliser une tarière de petit diamètre pour traverser la couche d'argile, puis reprendre ensuite le lançage.

– En cas de rencontre de sables fins, il peut être avantageux de poursuivre plus profond dans l'espoir de rencontrer des matériaux plus grossiers, par définition plus perméables. Le niveau statique de la nappe reste inchangé, mais le rendement du forage est amélioré.

Le lançage avec bentonite

Cette technique (figure 62), plus complexe, permet de descendre plus profondément (jusqu'à 12 mètres) que le lançage à l'eau claire.

On utilise un tube de forage en acier de 2" (50/60 mm) et de la boue de forage à base de bentonite. La bentonite permet que les parois du trou soient maintenues par la boue et ne s'effondrent pas. L'utilisation d'un tubage de soutènement est donc inutile. Le tubage crépiné est placé facilement lorsque le trou est achevé.

Deuxième chapitre

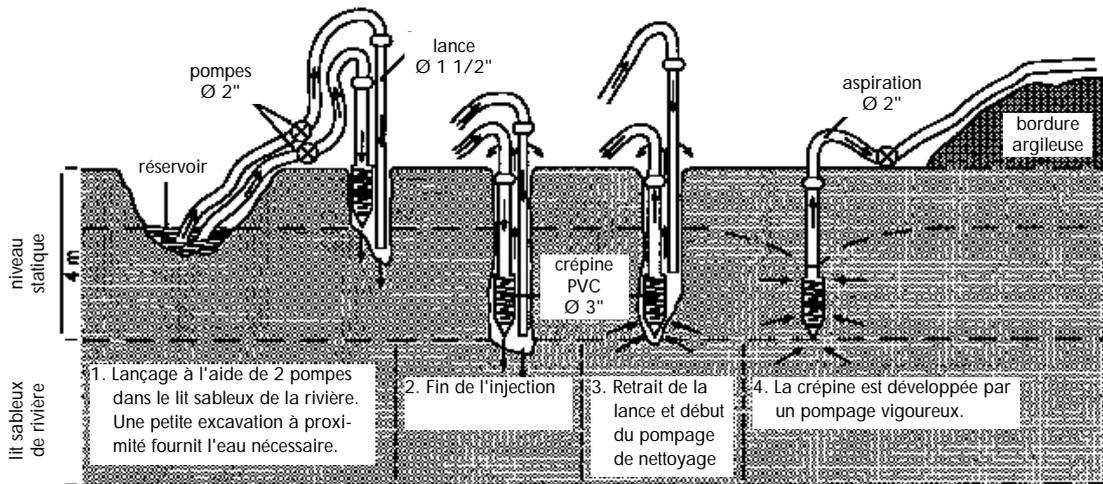


Figure 63 : lançage avec un double tube dans lits sableux de rivières

Toutefois, ce procédé présente d'importants inconvénients. Le premier en est le coût. Le second est le colmatage de l'aquifère qui réduit le rendement du forage.

Il a été suggéré de remplacer la bentonite par des polymères biodégradables. C'est une pratique courante dans le forage Rotary. Ces produits, à base d'amidon, s'autodétruisent, ce qui réduit considérablement les problèmes dus au colmatage et facilite donc le développement. Là encore, l'inconvénient est le prix élevé. Des essais devaient être faits avec de la farine de "cowpea" (pois à vache) que l'on trouve couramment en régions tropicales. Cette farine est utilisée dans le sud des Etats-Unis pour la boue de forage et comme engrais vert. Les résultats obtenus n'ont pas, à notre connaissance, été publiés.

L'usage de la boue de forage à base de bentonite ou d'amidon est probablement nécessaire dans beaucoup de circonstances, si des problèmes d'éboulement se produisent dans l'application des techniques de lançage à l'eau claire.

Le lançage avec un double tube

Cette technique (figure 63) repose sur un double lançage et l'utilisation de deux pompes. La première pompe est raccordée à un tube de lançage classique. La seconde à une crépine à

pointe de faible longueur (entre 0,50 et 1 m), du type Johnson en acier inoxydable, placée à l'extrémité d'un tube PVC de 2". Ce dernier ensemble est laissé définitivement en place dans le trou. Il sert d'équipement du forage.

Ce procédé est rapide et relativement simple puisqu'il permet la réalisation simultanée de deux étapes. Il a été employé uniquement pour la création de points d'eau dans des lits sableux de rivières. Il ne convient pas en bordure de lits qui comportent une couverture argileuse indurée.

Le forage à la rotation mécanique

Depuis décembre 1983, Knarda utilise deux petites foreuses montées sur camion léger. Ces machines, de marque américaine, peuvent forer des trous de 60 mètres de profondeur au diamètre 7"7/8 (200 mm) pouvant être équipés de tubes de diamètre 5"7/8 (149 mm) permettant de tuber au diamètre de 4" (102 mm). Le coût d'un équipement semblable était, en 1983, de 40 000 US dollars, y compris les accessoires et pièces de rechange.

Ces machines sont rapides et efficaces. Toutefois, elles demandent une maintenance très coûteuse et le prix de revient des forages n'a rien de comparable avec celui des forages manuels.

3. Les forages manuels à la boue

La technique

Cette technique de perforation du sol a été utilisée presque simultanément en Inde et au Pakistan. Elle est appelée "méthode à la boue" (Sludger Method). C'est une adaptation de la technique "Hollow Rod" que l'on peut traduire par "tube de creusement", mais elle fait plutôt référence à la méthode dite de "percussion hydraulique" : hydraulique parce qu'un fluide de

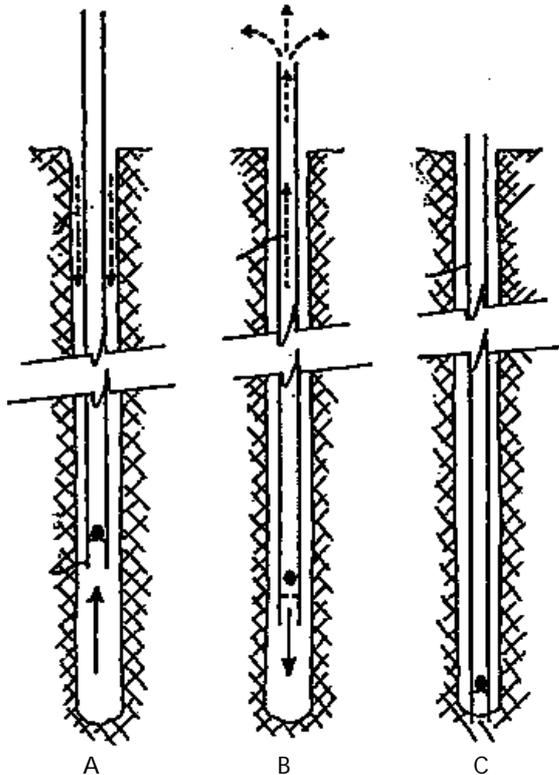


Figure 64 :

- A : lorsque le tube est soulevé, la boue descend dans l'espace annulaire.
- B : la descente de boue soulève le clapet et la boue et les déblais pénètrent à l'intérieur du tube. Après quelques coups, la boue sort du tube par le haut.
- C : lorsque le tube frappe le fond du trou, le clapet se ferme, empêchant la boue à l'intérieur du tube de redescendre.

circulation est employé, percussion parce que le mouvement de l'outil est de bas en haut et frappe le fond du trou.

L'outillage de creusement consiste en un embout tubulaire aiguisé, une soupape et des allonges du tube de forage. La boue, dans ce cas, sert simplement à maintenir les parois du forage au fur et à mesure de l'affouillement du terrain. Elle est descendue dans l'espace annulaire qui sépare les parois du forage du tube de creusement et est remontée à l'intérieur de celui-ci à chaque coup porté par un mouvement naturel d'aspiration vers le haut.

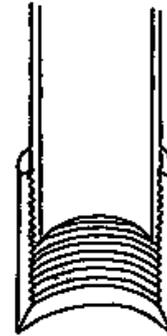


Figure 65 :
manchon aiguisé

Le clapet à la base du tube de forage permet à la boue, dans laquelle les déblais de terrain sont en suspension, de pénétrer à l'intérieur du tube lorsque ce dernier frappe vers le bas. A la remontée, la soupape se ferme et la boue et les déblais ne peuvent revenir dans le trou (figure 64).

Avec le coup vers le bas suivant, la soupape s'ouvre pour laisser entrer à nouveau de la boue et des déblais, lesquels chassent alors vers le haut à l'intérieur du tube ce qui y était déjà retenu. Les mouvements de frappe successifs provoquent donc un pompage par inertie. Ils permettent ainsi l'extraction hors du trou des déblais.

L'embout placé à la partie inférieure du tube de forage peut être un simple manchon de raccordement fileté que l'on aura aiguisé comme le montre la figure 65. L'embout frappe le fond du trou et désagrège le terrain qui est mis en suspension dans la boue pour être remonté hors du trou.

Certaines variantes de cette technique ont été utilisées avec succès. Des puits ont été forés en

utilisant de simples tubes standard filetés et manchonnés. Le rôle de la soupape est assuré par la main d'une personne placée à plat sur le haut du tube à la montée et retirée à la descente. On a également utilisé un joint tournant fixé à la partie supérieure du tube de forage (figure 66).

Lorsqu'on ne dispose pas de moyen de levage motorisé, des efforts physiques importants sont nécessaires pour manoeuvrer la garniture de forage au fur et à mesure de l'approfondissement.

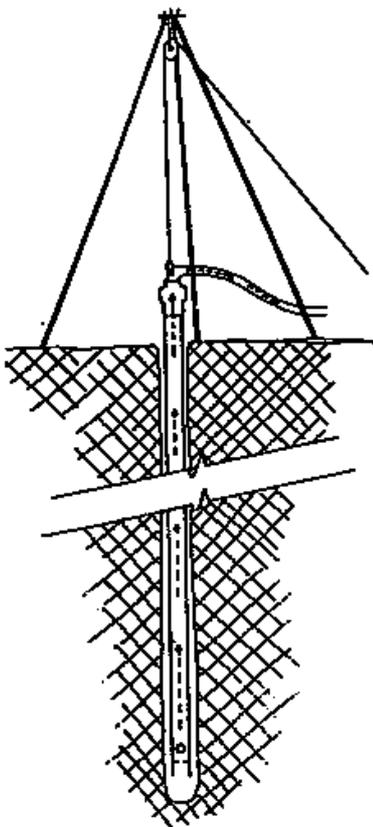


Figure 66 : joint tournant

Les avantages et les inconvénients

Les principaux avantages de cette méthode sont les suivants :

- très peu d'outillage est nécessaire ;
- la réalisation est très rapide ;
- l'appréciation de la nature des terrains traversés est facilement déterminée par :

- 1) la remontée des échantillons de terrain par la boue au fur et à mesure de la perforation ;
- 2) le taux de descente du tube de forage.

Les principaux inconvénients sont :

- la nécessité d'un volume d'eau à pied d'oeuvre assez important ;
- les éléments de terrain de dimensions supérieures à celles des graviers moyens ne peuvent être remontés et par conséquent empêchent la poursuite de la perforation.

L'équipement

◆ Embout d'attaque des terrains. Un manchon d'accouplement des tubes peut faire office d'outil d'attaque si ses bords ont été appointés (voir figure 65, page précédente).

◆ Soupape anti-retour. La soupape, placée à la base du tube de forage, laisse s'introduire la boue dans le tube mais en interdit le retour vers le bas. Des balles en caoutchouc lesté sont habituellement utilisées. Lorsque ce matériau est rare et difficile à se procurer, un bon foreur peut utiliser sa main pour couvrir le haut du tube de forage lorsque celui-ci est soulevé et la retirer à la descente.

◆ Tube de forage. Des tubes d'acier que l'on trouve facilement dans le commerce, assemblés par filetage et manchonnage, d'une longueur cumulée de l'ordre de la profondeur à atteindre, sont conditionnés en longueurs utilisables.

◆ Joint tournant. Il est connecté à la partie supérieure du tube de forage. Cette pièce n'est pas absolument indispensable, bien qu'elle permette de canaliser, à l'aide d'un tuyau flexible, la boue sortant du tube de forage vers le bassin à boue (figure 66) au lieu de la laisser chuter directement hors du tube. Ce système présente un inconvénient : les mouvements continuels de va-et-vient entraînent souvent une rapide détérioration du tuyau flexible.

◆ Matériel de levage. Il peut être fabriqué avec les moyens locaux. Ce matériel comporte essentiellement un trépied tubulaire avec poulie

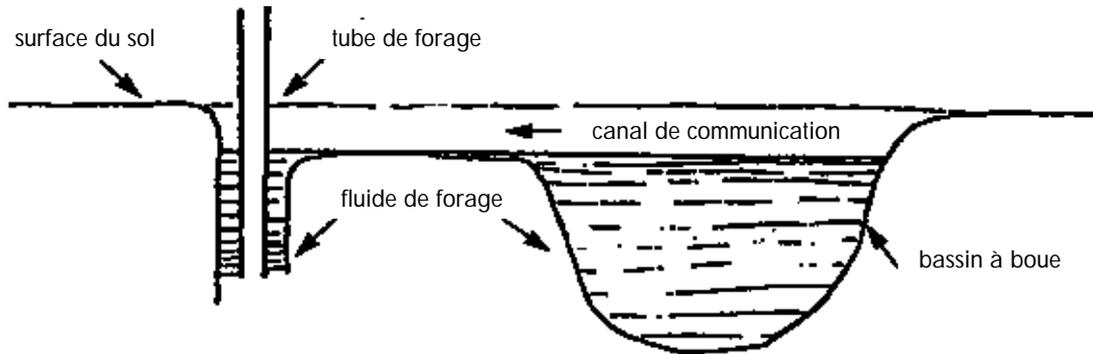


Figure 67 : le niveau de l'eau doit être maintenu suffisamment haut pour permettre une circulation continue entre le bassin et le forage

et câble ainsi que les accessoires nécessaires permettant de soulever et de relâcher la garniture de forage.

- ◆ Petit outillage. Un assortiment d'outils à main doit être disponible sur le chantier. Il doit comprendre en particulier des clés à griffes pour les tubes d'acier.

Le procédé de perforation

- ◆ L'emplacement doit être nettoyé et débarrassé au préalable de tout ce qui n'est pas indispensable. Le matériel et l'outillage doivent être disposés à proximité.

- ◆ Le système de levage doit être placé à l'aplomb du forage à réaliser. Le trépied doit avoir sa poulie placée exactement à la verticale du trou.

- ◆ On fait un avant-trou dans les terrains superficiels à l'aide d'une pelle ou d'une tarière, jusqu'au terrain aquifère non consolidé. Si les terrains superficiels sont bouillants et non consolidés, on place un morceau de tube de plus gros diamètre que le tube de forage de façon à soutenir les parois du sol sur une profondeur de 0,50 à 1 mètre. Le haut de ce tube de soutènement doit se trouver légèrement en dessous du niveau du sol.

- ◆ On creuse un bassin à boue à une distance relativement faible du forage, ainsi qu'un canal

reliant les deux dans le sens bassin-forage. Le tuyau de décharge, si on en utilise un, doit avoir une longueur suffisante pour rejoindre ce bassin. Si on n'en utilise pas, la seule alternative est de faire un bassin à boue circulaire autour du forage. Le problème est alors de trouver le moyen d'éviter le retour des déblais extraits vers le puits.

- ◆ On remplit le bassin d'eau (figure 67).

- ◆ On assemble le premier élément de la colonne de forage avec, à la base, le manchon aménagé en embout d'attaque, la soupape anti-retour et le système de décharge supérieur si on l'utilise. On place ensuite la colonne verticalement dans l'avant-trou et on y fixe le système de battage.

- ◆ On commence la perforation en soulevant et en relâchant la colonne de forage. Selon la résistance du terrain, les coups peuvent être plus ou moins forts. En général, les meilleurs résultats sont obtenus avec des coups courts et rapides. Plus de 120 coups par minute peuvent être nécessaires pour les grès et les calcaires. Les matériaux plus tendres comme le sable, les graviers et les argiles demandent des coups moins rapides (entre 30 et 60 coups par minute). Dans les matériaux extrêmement mous, il ne faut pas laisser la colonne poser au fond du forage sans mouvement car on risquerait d'avoir de sérieuses difficultés pour l'extraire.

- ◆ On ajoute des éléments de tubage au fur et à mesure de l'approfondissement. Avec la pro-

Deuxième chapitre

fondeur, la garniture de forage devient de plus en plus lourde et sa manoeuvre demande de plus en plus d'énergie.

- ♦ Il est également nécessaire d'ajouter de l'eau dans le bassin à boue afin que le niveau reste constant. Le bassin doit être débarrassé des déblais qui s'y accumulent pour éviter leur retour dans le forage.

- ♦ Lorsqu'un niveau aquifère est atteint, le niveau du fluide de forage baisse sensiblement. La poursuite du va-et-vient de la garniture crée un pompage de l'eau de la nappe. Si la quantité d'eau obtenue est suffisante, le forage peut être arrêté. La boue peut être absorbée par les terrains aquifères (parfois également par les terrains secs sableux et graveleux). Dans ce cas, il est nécessaire d'ajouter de l'argile dans la boue afin de maintenir les parois du forage et de réduire les pertes par absorption. De plus, la pose d'un tubage de soutènement peut s'avérer indispensable. La boue peut être également additionnée par de la pulpe de riz, de la paille de blé, voire de la bouse de vache ou autres matériaux qui en augmentent la viscosité. L'inconvénient majeur intervient plus tard, lors de la mise en production et du développement du crépinage.

Le tubage

Comme dans la plupart des autres méthodes de forage, le tubage peut être placé après le forage du trou, une fois atteint le toit de la nappe.

Après avoir retiré la colonne de forage, on place un tubage d'un diamètre légèrement supérieur à celle-ci, à la base duquel on visse un manchon de protection aiguisé. Une fois que le tubage a atteint le fond du trou, il est nécessaire de le curer avec une soupape afin d'en extraire les déblais qui s'y sont accumulés.

Le tubage du trou durant les opérations de forage est également nécessaire lorsque les parois s'éboulent malgré la présence de boue. Le pied du tubage doit pour cela être placé au

même niveau que l'outil de forage. Le sommet du tubage se situe presque toujours au dessus du niveau du sol. Il empêche ainsi le retour de la boue dans le forage. La boue doit alors être introduite avec des seaux afin de maintenir le niveau intérieur voisin de celui du sol.

Le trou est foré et tubé le plus profond possible, jusqu'à la base de l'aquifère si possible, au moins jusqu'à pénétration dans celui-ci d'une profondeur suffisante pour produire le débit recherché.

L'équipement définitif

L'équipement définitif de l'ouvrage peut être conçu de différentes manières.

- ♦ On peut mettre en place une crépine télescopique (figure 68) préfabriquée et descendue

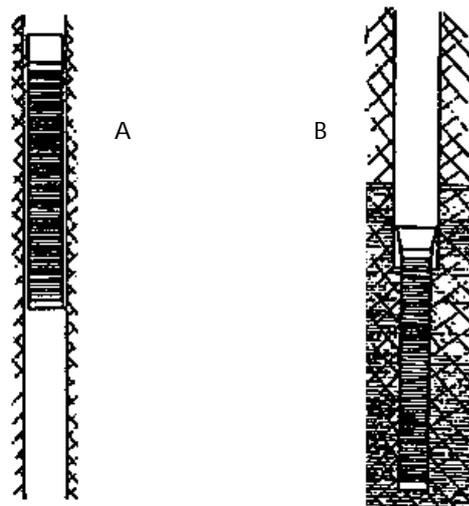


Figure 68

A : la crépine est descendue à l'intérieur du tubage.

B : position finale de la crépine après remontée du tube et sertissage de la bague d'étanchéité.

au fond du trou. Il faut d'abord nettoyer le trou en retirant à l'aide d'une soupape les déblais qui s'y sont accumulés par décantation. Puis le tubage est remonté à une hauteur qui permette de découvrir la partie crépinée. Cette crépine comporte à sa partie supérieure une bague extensible qui peut être dilatée par les chocs d'une

pièce conique descendue à l'extrémité d'une corde. Cette solution a l'inconvénient d'être délicate et, de plus, d'imposer de laisser en place le tubage acier qui, en principe, est considéré comme un outillage et doit donc être récupéré.

- ♦ On peut descendre à l'intérieur du tubage une colonne PVC à l'extrémité inférieure de laquelle est fixée la partie crépinée de même diamètre. Puis le tubage est totalement extrait et récupéré pour servir à nouveau pour la réalisation des forages suivants.

- ♦ Si, pour diverses raisons, le forage avec son tubage n'a pu être descendu au sein de l'aquifère, on peut alors placer une pointe filtrante par percussion. Cette pointe filtrante doit comporter, à sa partie supérieure, deux joints toriques pour en assurer l'étanchéité dans le tubage (figure 69). Dans ce cas, on retrouve les inconvénients mentionnés ci-dessus.

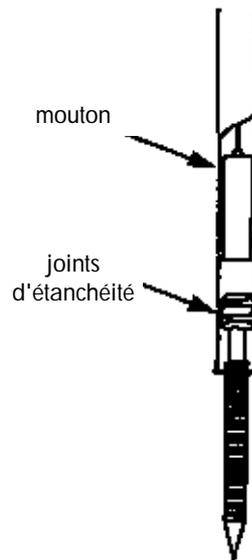


Figure 69 : mise en place d'une pointe filtrante au-delà du pied du tube

4. La création de points d'eau par pointes filtrantes

L'exploitation par pointes filtrantes de nappes peu profondes est une formule qui permet, dans certaines conditions bien précises, d'obtenir de l'eau à peu de frais et rapidement.

Principe et description

Le principe de base de ce procédé consiste à enfoncer dans l'aquifère une crépine de petit diamètre, directement fixée à l'extrémité d'un tube. On branche ensuite l'aspiration de la pompe d'exhaure sur ce même tube qui sert alors de canalisation.

La mise en place de pointes filtrantes reste limitée à des terrains meubles et aquifères. Elle ne peut être envisagée qu'à partir du moment où le forage ou l'avant-trou a atteint le toit de la nappe, ou lorsque les terrains situés au-dessus de de la nappe sont constitués de sables ou de terrains particulièrement meubles et très peu épais.

La pointe filtrante elle-même peut être fabriquée localement. Elle est constituée d'un tube en

acier d'une longueur totale de 1,50 mètre environ. Celui-ci est muni d'une pointe en acier soudée à sa base et comportant un filetage à l'autre extrémité. Sur une hauteur d'environ 1 mètre à partir de la pointe, des ouvertures sont pratiquées dans le tube. Des trous peuvent être faits à la perceuse ou des fentes réalisées à la scie. Cette partie ajourée du tube est recouverte d'un matériau filtrant qui peut être un fil d'acier, inoxydable de préférence (figure 70) ou d'un tissu métallique (figure 71).

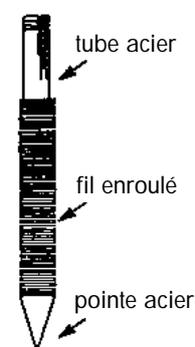


Figure 70



Figure 71

Deuxième chapitre

Ce montage doit être solide et résistant à la fois aux chocs et aux frottements latéraux inévitables lors de sa mise en place.

Le tube que l'on visse sur la pointe filtrante doit être en acier fileté et manchonné. Pour la facilité de l'enfoncement, on doit disposer de longueurs relativement courtes (1,50 mètre au maximum).

Cet équipement peut être fabriqué localement, à condition de disposer d'un minimum d'outillage. En particulier, un poste de soudure à l'arc et autogène, établi avec étau à tubes, une filière à tubes, une scie à métaux, etc.

Les tubes, en acier galvanisé de préférence, se trouvent en général facilement chez les dépositaires de produits métallurgiques et de matériaux de construction dans les grandes villes. Les dimensions utilisées sont en général comprises

entre 1"1/4 (33/42 mm) et 2" (50/60 mm). Ces tubes sont commercialisés en longueurs courantes voisines de 6 mètres. Il sera nécessaire de les couper en 4 longueurs égales, ce qui donne des éléments de 1,50 à 1,60 mètre. Il faut par conséquent les fileter et les munir de manchons que l'on peut se procurer chez les mêmes fournisseurs.

Les étapes de réalisation

La mise en place est normalement faite en frappant le haut du tube maintenu verticalement avec un mouton. Afin de ne pas détériorer le filetage supérieur, on doit disposer d'un manchon renforcé. La figure 72 montre les différents types de moutonnage utilisables.

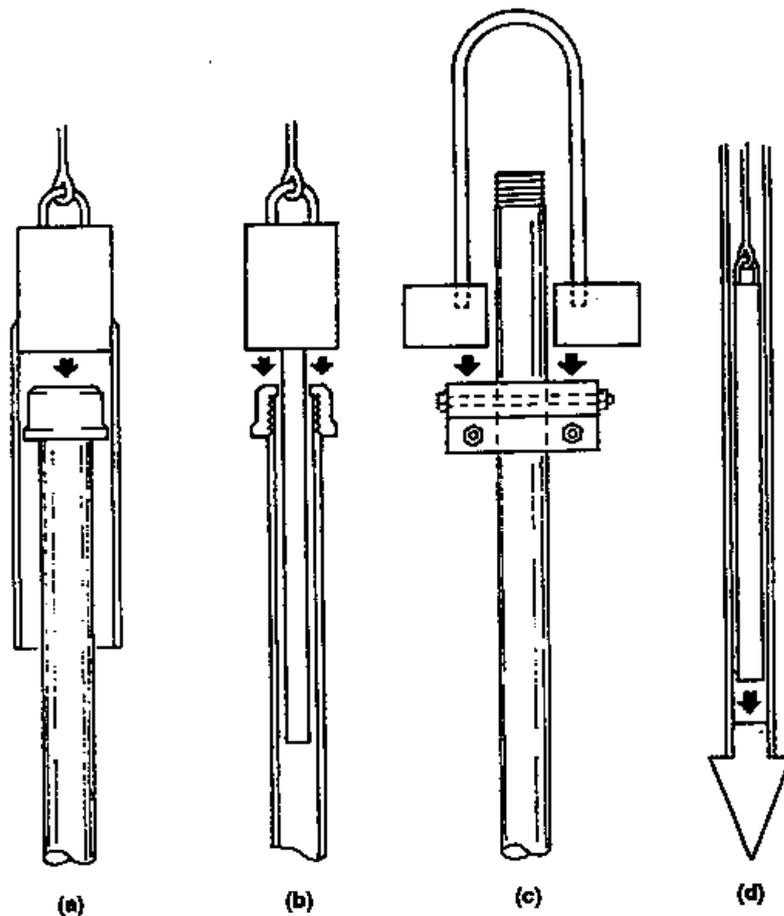


Figure 72 : différents types de moutonnage

Sur ce schéma (en a), le bouchon vissé sur le haut du tube est borgne, et le mouton est guidé par un tube extérieur. En (b), le bouchon est percé et le mouton est guidé à l'intérieur du tube. En (c), un collier est fixé solidement sur le tube et le mouton vient frapper le collier. Enfin, en (d), on utilise un mouton, de petit diamètre et de grande longueur, qui vient frapper la pointe à l'intérieur et à la base de la pointe filtrante.

Dans certains cas, lorsque la pointe filtrante n'est pas enfoncée très profondément ou bien lorsque le terrain est particulièrement meuble, on peut simplifier le procédé en frappant le haut du tube, qui reste toujours protégé par un bouchon renforcé, à l'aide d'une masse ou d'un gros marteau (figure 73). Cette formule n'est toutefois pas recommandée si la personne chargée de frapper n'est pas bien entraînée. Une frappe de travers peut provoquer une torsion du tube et le détériorer ainsi que la pointe filtrante.



Figure 73 :
enfoncement d'une
pointe filtrante
à la masse

Lorsque le haut du tube est amené ainsi au niveau du sol, il suffit de démonter le système de frappe, d'ajouter un élément de tube supplémentaire et de poursuivre l'opération.

La fabrication locale de pointes filtrantes

Une pointe filtrante peut être fabriquée localement (figure 74 page 50) de la façon suivante :

- 1) Aplatir l'extrémité du tube pour lui donner la forme d'un tournevis ou d'un burin.
- 2) Faire une entaille en "V" partant des coins inférieurs et rejoignant le milieu du tube à une hauteur où finit la partie aplatie (12 à 15 cm).
- 3) Rapprocher les deux pointes résultantes de manière à les plaquer l'une sur l'autre.
- 4) Souder les deux côtés de la pointe ainsi formée.

5) Limer ou meuler les irrégularités pour obtenir une pointe bien concentrique et lisse.

6) Souder une collerette, juste au-dessus de la pointe, pour augmenter le diamètre du trou lors de la mise en place dans les terrains. Le diamètre extérieur de cette collerette doit être légèrement plus fort que le diamètre des manchons de raccordement des tubes.

Il est cependant souhaitable que la pointe, qui subit de fortes pressions, soit exécutée en acier forgé, emboîtée et soudée à l'extrémité inférieure du tube crépiné (figure 74-c page 50).

Les perforations d'un diamètre de l'ordre de 4 à 6 mm (figure 74-a) peuvent être faites à la perceuse, ou en taillant une série de fentes en diagonale à la scie à métaux (figure 74-b). Dans ce dernier cas, il faut prendre la précaution de laisser les alignements dans le tube sans y faire de traits de scie afin de constituer des renforts nécessaires pour éviter l'écrasement de celui-ci lors de sa mise en place par moutonnage.

Le captage s'effectue en général dans des sables relativement fins. Aussi il est nécessaire de recouvrir la partie crépinée d'une toile filtrante, métallique ou en nylon (figures 70 et 71, page 47). Cette toile peut être maintenue en position par un fil de fer enroulé soigneusement par dessus.

La solution idéale est de recouvrir la toile filtrante d'une feuille métallique soudée comportant de gros trous (figure 75).

Dans tous les cas, la collerette de la pointe doit être d'un diamètre légèrement supérieur à l'encombrement total du montage, afin d'assurer sa protection lors du fonçage.

L'utilisation de tubes et de manchons de fabri-



Figure 75 :
détail d'une pointe
filtrante avec
protection de la toile
filtrante

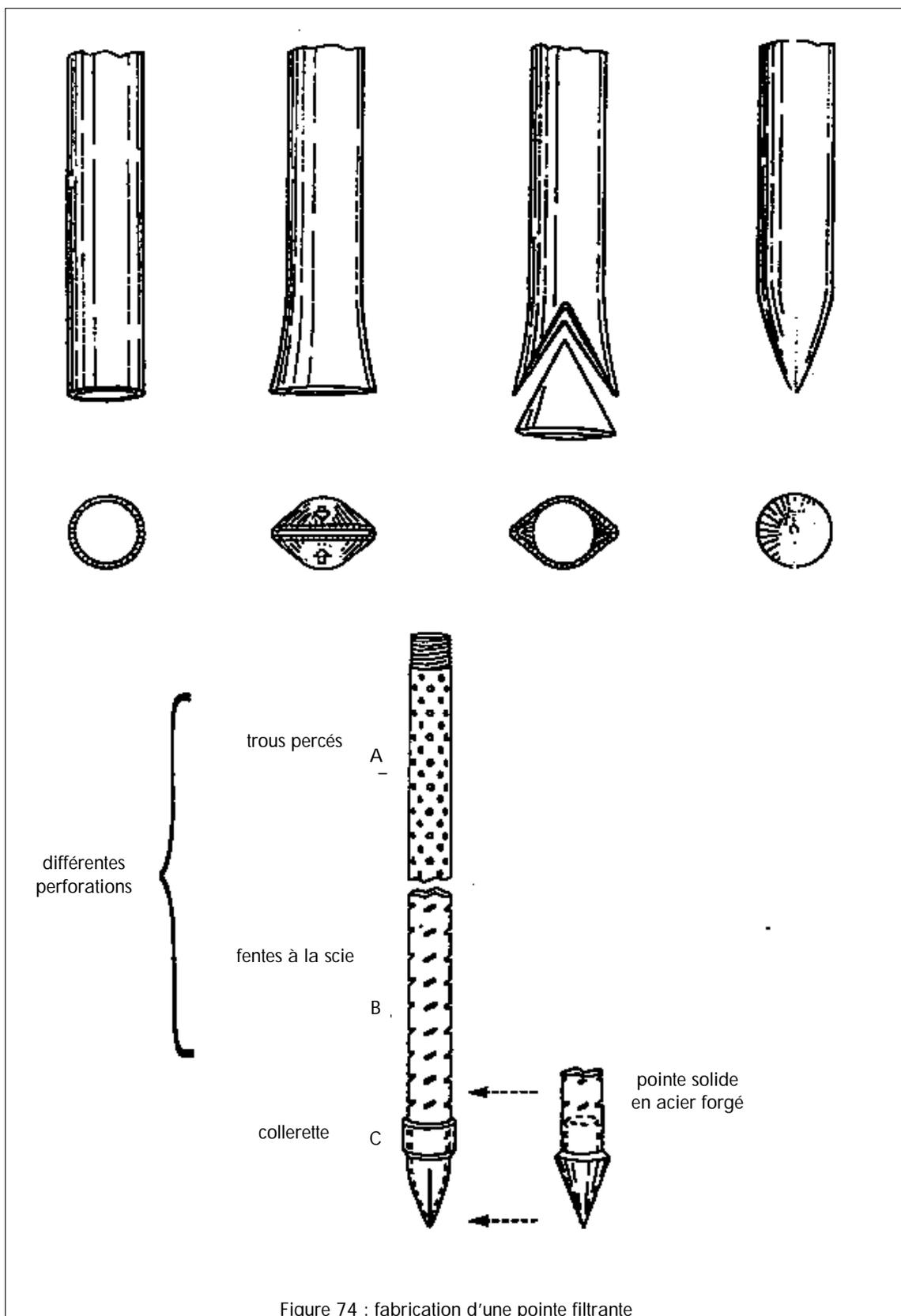


Figure 74 : fabrication d'une pointe filtrante

cation courante ne permet pas de faire supporter à ces matériaux des efforts trop importants. Si les coups de frappe sont trop violents, on risque un arrachement des filetages ou une rupture des manchons.

Lors du fonçage, si on se trouve devant des difficultés de descente en utilisant la frappe en haut du tube, on peut essayer la frappe de fond

(figure 72-d, p. 48) qui a l'avantage de moins solliciter les filetages. Cependant, à partir d'une certaine profondeur, ce procédé présente lui aussi un inconvénient majeur. Les forces de frottement latéral du terrain freinent la descente du tube. La frappe sur la pointe peut alors entraîner un arrachement par rupture de sa soudure sur le tube.

III. Tableau comparatif de différentes techniques de captage des eaux souterraines utilisables en milieu rural

Voir pages suivantes.

Tableau comparatif de différentes techniques de captage

Techniques Domaines de comparaison	Forage à faible coût (manuel ou faiblement motorisé)			
	Equipement complet tous terrains, types Cofomaya ou Tanzanie	Equipement simplifié terrains meubles, types LWR ou PBVT	Lançage (washbore)	Percussion hydraulique (Sludger method)
A. MATÉRIEL				
A1. Type de matériel mis en oeuvre	Trépied, treuil. Tube casing métal. Tarière, trépan, soupape.	Tarières, soupapes. Tube de soutènement métal ou PVC. Trépied et treuil non obligatoires.	Tube de lançage, pompe d'injection. Tube de soulèvement PVC pour forage à l'eau claire.	Tube de forage métal à clapet de pied. Trépied, poulie.
A2. Volume et poids du matériel	Réduits	Très réduits	Très réduits	Très réduits
A3. Transport du matériel	Véhicule type pick-up ou camionnette	Petit véhicule à moteur ou à traction animale	Petit véhicule à moteur ou à traction animale	Petit véhicule à moteur ou à traction animale
A4. Coût du matériel (ordre de grandeur)	100 000 FF à 150 000 FF	< 5 000 FF	< 10 000 FF	< 5 000 FF
A5. Utilisation de matériel fabriqué sur place	Possible	Règle générale	En partie possible, sauf pompes à moteur	En partie possible
B. RÉALISATION DE L'OUVRAGE				
B1. Reconnaissance hydrologique	Souvent utile	Parfois utile	Non pratiquée	Non pratiquée
B2. Personnel qualifié de chantier	Agent technique	Agent technique ou chef d'équipe expérimenté	Chef d'équipe expérimenté	Chef d'équipe expérimenté
B3. Utilisation de main-d'oeuvre bénévole	Possible, utile pour le battage	Peu utile	Peu utile	Peu utile
B4. Temps d'exécution des ouvrages	Une à plusieurs semaines	Moins d'un jour à quelques jours	Moins d'un jour	Moins d'un jour
B5. Consommation de carburant pour la force motrice (transport non compris)	Nulle, sauf si motorisation partielle (treuil)	Nulle	Modérée (pour la pompe d'injection)	Nulle
B6. Consommation de ciment (aménagement de surface non compris)	Faible ou nulle	Nulle	Nulle	Nulle

des eaux souterraines utilisables en milieu rural

	Puits		Forage motorisé	
Pointe filtrante	Puits moderne "hydraulique"	Puits rustique	Rotary à la boue	Marteau fond de trou (MFT) à l'air
Tube, crépine à pointe, tête de frappe, mouton	Moules et coffrages, buses, compresseur, matériel de perforation. Pompe, trépied avec treuil.	Pelles, pioches, seaux, cordes, poulies	Machine de forage avec pompe à boue	Machine de forage avec compresseur
Très réduits	Assez importants	Réduits	Très importants	Très importants
Petit véhicule à moteur ou à traction animale	Camion	Traditionnel	Véhicule gros porteur	Véhicule gros porteur
< 5 000 FF	100 000 FF à 200 000 FF	< 1 000 FF	Petit atelier souvent < 500 000 FF. Gros atelier généralement > 1 000 000 FF	> 1 000 000 FF
En partie possible	Règle générale pour coffrages. Non pour matériel motorisé	Règle générale sauf pompes à moteur	Non pratiquée	Non pratiquée
Non pratiquée	Souvent utile	Non pratiquée	Souvent utile, parfois indispensable	Souvent utile afin d'obtenir un meilleur pourcentage de forages positifs
Agent technique ou chef d'équipe expérimenté	Agent technique	Artisan, puisatier traditionnel	Technicien spécialiste, ingénieur	Technicien spécialiste, ingénieur
Peu utile	Couramment pratiquée	Couramment pratiquée	Non pratiquée	Non pratiquée
Moins d'un jour à un jour	Plusieurs semaines à plusieurs mois	Quelques jours	Une à plusieurs semaines	Un à quelques jours
Nulle	Assez importante pour pompage et compresseur	Nulle	Très importante	Très importante
Nulle	Très importante	Importante	Modérée	Modérée

Tableau comparatif de différentes techniques de captage

Techniques Domaines de comparaison	Forage à faible coût (manuel ou faiblement motorisé)			
	Equipement complet tous terrains, types Cofomaya ou Tanzanie	Equipement simplifié terrains meubles, types LWR ou PBVT	Lançage (washbore)	Percussion hydraulique (Sludger method)
B7. Consommation de produits à boue	Nulle	Nulle	Nulle ou modérée en cas de lancement à la boue	Nulle ou modérée
B8. Consommation d'eau	Nulle	Nulle	Modérée à importante	Modérée
B9. Influence de la nature des terrains sur le fonçage/captage				
Silts, sables très fins	Pas de difficulté (casing et massif de gravier nécessaire)	Captage difficile même avec dispositif de crépine entourée de tissu	Captage difficile même avec dispositif de crépine entourée de tissu	Captage difficile
Sables à graviers moyens peu ou pas argileux	Pas de difficulté	Pas de difficulté. Captage possible avec crépine plus tissu	Captage possible sans massif de gravier	Pas de difficulté
Graviers grossiers, galets	Pas de difficulté	Difficile si éléments trop gros	Impossible à foncer	Impossible à foncer
Passages d'argile (traversée)	Pas de difficulté	Possible si petit niveau	Possible si petit niveau	Difficile
Altérites du socle cristallin, meubles	Pas de difficulté	Inadapté	Impossible	Impossible
Cuirasses passages indurés	Possible, utilisation éventuelle du battage/trépan	Inadapté	Impossible	Impossible
Grès friables type Continental Terminal	Pas de difficulté	Inadapté	Impossible	Impossible
Roches dures fissurées (grès, calcaires, socle ancien)	Possible sur épaisseur réduite (battage ou trépan)	Impossible	Impossible	Impossible
Comportements particuliers. Terrains bouillants ou fluents	Possible, casing obligatoire	Possible, casing obligatoire	Possible, casing ou boue obligatoire	En principe possible
B10. Méthode et système de captage	Crépine, massif de gravier, développement	Crépine, massif de gravier ou crépine entourée de tissu, développement impossible dans ce cas	Crépine-massif de gravier rarement prévu – développement sauf avec crépine entourée de tissu	Crépine - développement en principe possible

des eaux souterraines utilisables en milieu rural

Pointe filtrante	Puits		Forage motorisé	
	Puits moderne "hydraulique"	Puits rustique	Rotary à la boue	Marteau fond de trou (MFT) à l'air
Modérée ou nulle	Nulle	Nulle	Importante	Nulle
Nulle	Nulle	Nulle	Importante	Nulle
Inadéquat	Difficile à impossible	Impossible	Pas de difficulté particulière	Parfois difficile
Convient bien	Pas de difficulté	Possible	Pas de difficulté particulière	Pas de difficulté particulière
Impossible à foncer	Pas de difficulté	Possible	Difficile si éléments trop gros	Difficile si éléments trop gros
Impossible à foncer	Pas de difficulté	Possible	Pas de difficulté, avancement lent	Avancement lent à problématique
Impossible	Pas de difficulté	Possible	Pas de difficulté	Pas de difficulté
Impossible	Possible, utilisation marteau-piqueur éventuelle	Possible à difficile	Pas de difficulté	Pas de difficulté
Impossible	Pas de difficulté	Possible	Pas de difficulté	Pas de difficulté
Impossible	Possible avec utilisation d'explosifs	Inadapté	Possible sauf socle cristallin	Possible, bien adapté
Possible	Fonçage : cuvelage en descendant obligatoire. Captage sans pompage recommandé	Impossible	Possible	Difficile, utilisation de mousse pour le fonçage
La pointe filtrante constitue la crépine – pas de massif de gravier – développement possible	Colonne de buses perforées entourée de graviers. N'est pas nécessaire en terrains rocheux	Entrée d'eau par le fond. Parfois perforations latérales	Crépines – massif de graviers – développement	Crépines – massif de graviers – bref développement

Tableau comparatif de différentes techniques de captage

Techniques Domaines de comparaison	Forage à faible coût (manuel ou faiblement motorisé)			
	Equipement complet tous terrains, types Cofomaya ou Tanzanie	Equipement simplifié terrains meubles, types LWR ou PBVT	Lançage (washbore)	Percussion hydraulique (Sludger method)
B11. Profondeur usuelle	20 à 30 m	8 à 12 m	10 à 20 m	10 à 20 m
Profondeur pouvant être atteinte	40 à 50 m (100 m avec battage motorisé)	20 m	15 m	60 à 80 m
C. CARACTÉRISTIQUES ET CAPACITÉ				
C1. Profondeur de la surface de la nappe ou de la surface piézométrique	6 à 35 m	4 à 15 m	3 à 6 m	3 à 6 m parfois plus
C2. Longueur du dispositif de captage	3 à 6 m	3 à 4,5 m	3 à 4 m	Variable
Hauteur d'eau dans l'ouvrage	10 m	3 à 10 m	4 à 6 m	Variable
C3. Volume d'eau dans l'ouvrage	Faible	Faible	Faible	Faible
C4. Système de puisage et débit	Puisette à main : 200 à 400 l/h. Pompe à main : 600 à 1500 l/h	Puisette à main : 400 à 1 000 l/h. Pompe à main : 600 à 1 500 l/h. Pompe à moteur : 8 000 à 15 000 l/h. Pompe électrique immergée : 15 à 20 m ³ /h	Pompe à moteur : 8 000 à 15 000 l/h	Pompe à main : 600 à 1 500 l/h
C5. Durée de vie des ouvrages	Plus de 10 ans	Avec crépine + massif de gravier : 10 ans ou + Avec crépine + tissu : moins de 4 ans	4 à 10 ans suivant équipement	Variable suivant équipement
C6. Risque de pollution de l'eau lors du pompage	Avec puisette : modéré. Avec pompe : nul ou faible	Avec puisette : modéré. Avec pompe : nul ou faible	Avec pompe : nul	Variable suivant le système de puisage
D. COÛT DES OUVRAGES RÉALISÉS (ORDRE DE GRANDEUR)				
Coût au m de forage + tubage ou de fonçage et cuvelage	De 300 à 600 FF/m	Inférieur à 100 FF/m	Inférieur à 100 FF/m	Inférieur à 100 FF/m

des eaux souterraines utilisables en milieu rural

	Puits		Forage motorisé	
Pointe filtrante	Puits moderne "hydraulique"	Puits rustique	Rotary à la boue	Marteau fond de trou (MFT) à l'air
6 à 8 m 10 à 12 m	30 à 50 m 80 m	6 à 8 m 10 à 15 m	Plus de 100 m Plusieurs centaines de mètres	60 à 80 m 120 m
2 à 6 m	6 à 45 m, parfois plus	6 à 10 m	Plusieurs dizaines de mètres	10 à 50 m
1 à 2 m	4 à 5 m, rarement plus	Absent	10 à 50 m	6 à 12 m
4 à 6 m	3 à 5 m	1 à 3 m	Plusieurs dizaines de mètres	10 à 20 m
Faible	Important, peut permettre un débit de puisage momentanément supérieur au débit de captage	Assez important	Assez faible	Faible
Pompe à moteur : 1 à quelques m ³ /h	Puisage à la main : 1 à 2 m ³ /h. Pompe manuelle : 600 à 1200 l/h	Puisage à la main : quelques centaines de litres à l'heure	Pompes à motricité humaine : jusqu'à 1200 h/l plusieurs m ³ /h	Pompe à motricité humaine : jusqu'à 1500 h/l. Pompe immergée : 10 m ³ /h
Variable suivant la nature du terrain	Plusieurs dizaines d'années	Ouvrage temporaire	Plus de 10 ans	Plus de 10 ans
Nul	Puits ouvert, puisage à main : important. Puits fermé avec pompe : modéré	Important	Avec pompe : nul	Avec pompe : nul
Inférieur à 100 FF/m	Plus de 1 000 FF/m	Inférieur à 100 FF/m	Plus de 1 000 FF/m sauf pour très petite machine	Plus de 600 FF/m

Les forages à faibles coûts en images

- ◆ Matériels, techniques et réalisations de la Cofomaya
- ◆ Matériels et réalisations du Gary
- ◆ Matériels et réalisations du PBVT
- ◆ Techniques de pompage non motorisé utilisées sur des forages à faibles coûts

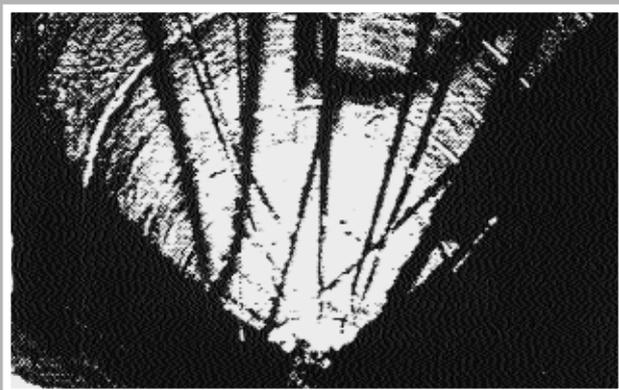
Matériels, techniques et réalisations de la Cofomaya



1. Lot de matériel de forage à la base de la Cofomaya : tubage, casing, tarière hélicoïdale, tubes-allonges.



2. Installation de surface sur un puits en cours d'approfondissement : trépied (ou chèvre) avec treuil manuel, poulie pour le battage de la curette (souple à sable ou cuillère).



3. Plateforme installée dans le puit en cours d'approfondissement par forage.

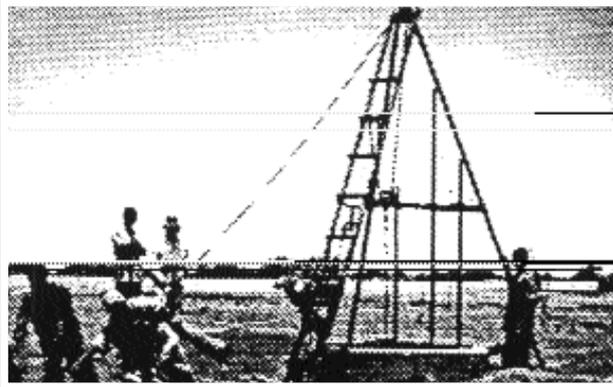


4. Descente d'un trépan pour forage en terrain dur.

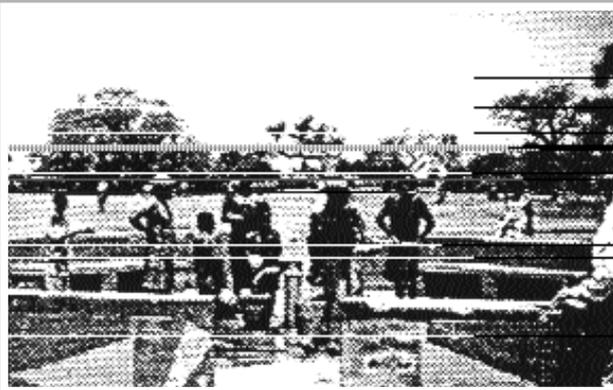


5. Forage à partir du sol : tarière hélicoïdale pour la perforation en terrain meuble, à la base du tube casing. Enfouissement du tube casing aidé par vérins prenant appui sur deux fers IPN fixés sur des blocs de béton ancrés au sol.

Les forages à faibles coûts en images



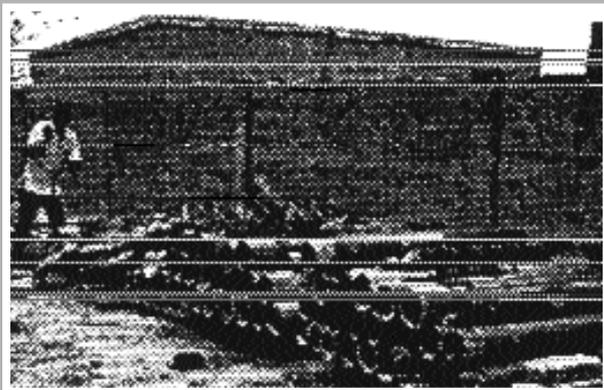
6. Recours à la main-d'oeuvre villageoise pour le battage au câble du trépan. Noter le mouflage de la corde.



7. Points d'eau entièrement équipés de forages à faibles coûts. Puits approfondi par forage, fermeture par dalle de béton, mise en place d'une pompe à motricité humaine, trottoir, muret de protection, bancs d'attente.

Matériels et réalisations du Gary

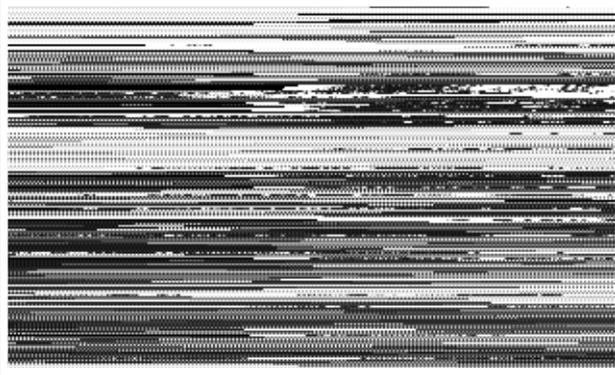
8. Lot de matériel de forage manuel à la base du Gary : équipement complet pour deux équipes. Tubes casing, tarières de plusieurs types, tubes-allonges, etc.



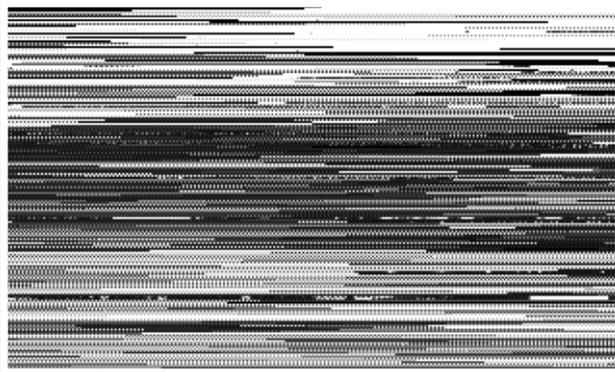
9. Diversification d'activité : construction de pompes à motricité humaine. Noter les roulements à billes, de récupération, équipant les paliers des axes de balanciers.



Matériels, techniques et réalisations du PBVT



10. Fonçage de l'avant-trou à la tarière conique.

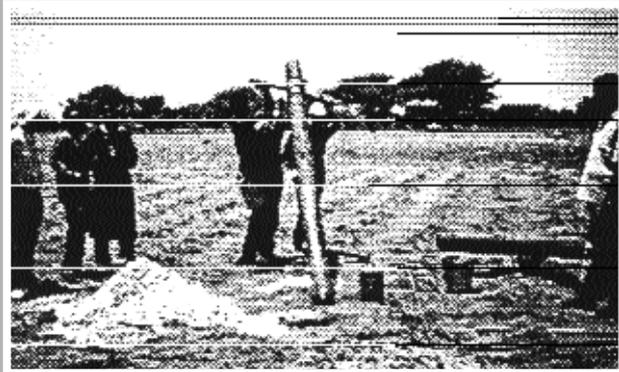


11. Vidange de la tarière conique.

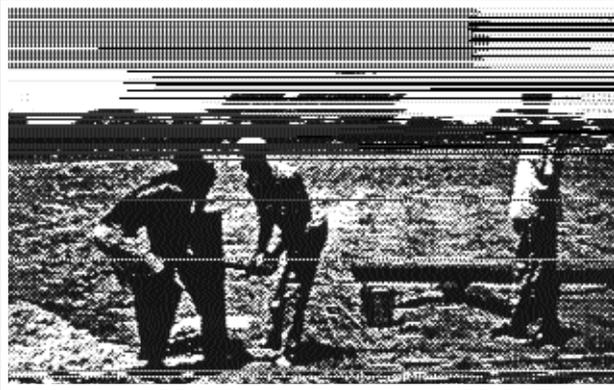
12. Préparation du pré tubage (casing)
métallique.



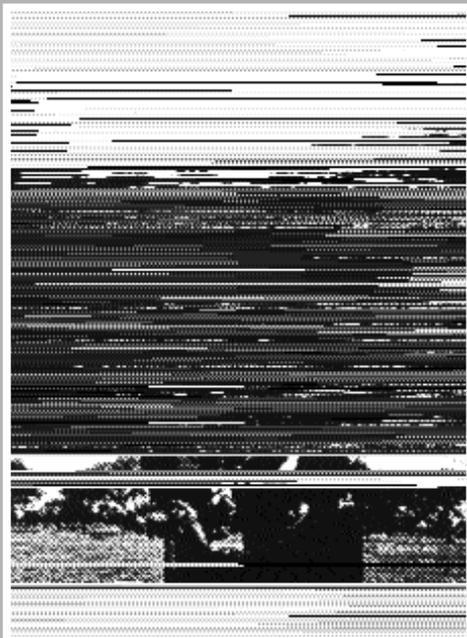
13. Transport du pré tubage : noter la légèreté
du tube d'acier fabriqué localement, permettant
de se passer de chèvre et de treuil.



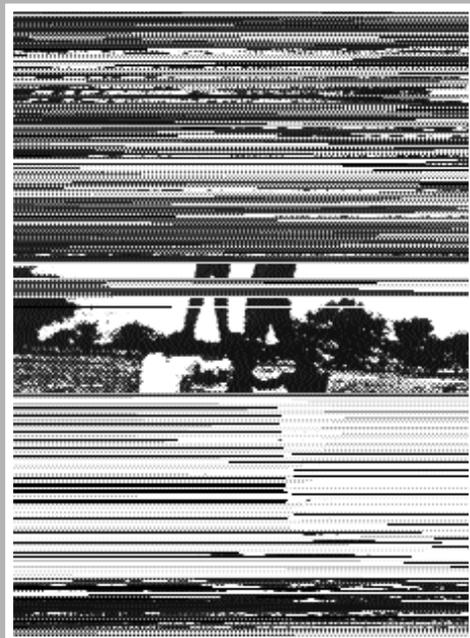
Les forages à faibles coûts en images



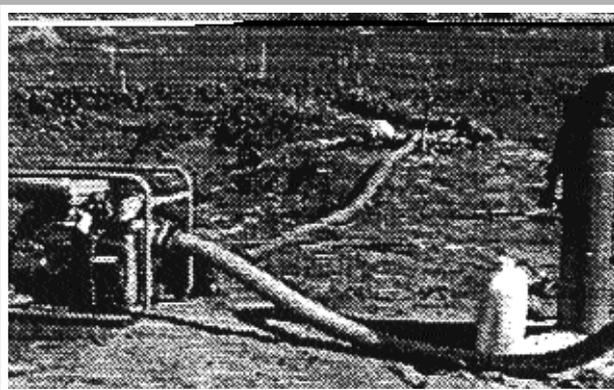
14. Mise en place du prétubage.



15. Introduction dans le prétubage de la tarière cylindrique (soupape à sable), pour la poursuite du forage à la base du prétubage.



16. Battage de la soupape à sable au moyen de tiges rigides, et enfoncement simultané du prétubage sous le poids de deux personnes. Noter l'inutilité de la chèvre et du treuil.



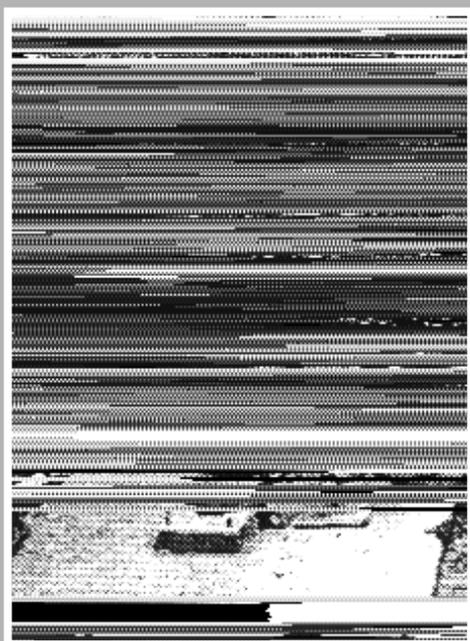
17. Pompage à la motopompe et irrigation de parcelles privées, à partir de forage à faibles coûts réalisés à la main.

Les forages à faibles coûts en images



18 et 19. Pompage avec motopompe

Techniques de pompage non motorisé utilisées sur des forages à faibles coûts

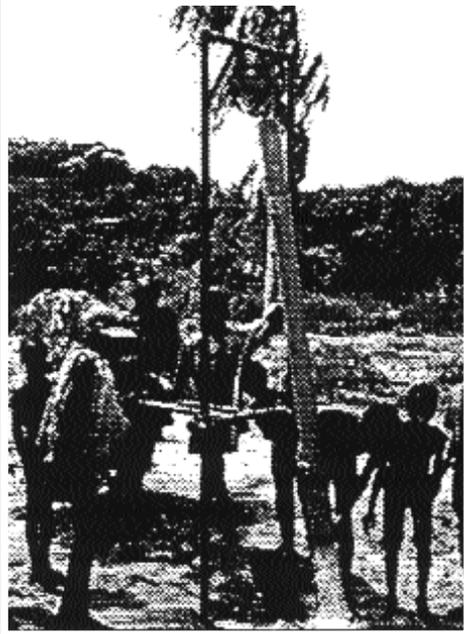


20. Utilisation d'une petite puisette en tube PVC pour tirer l'eau d'un forage réalisé par le Gary. Vidange par retournement. Capacité de 5 à 6 litres.

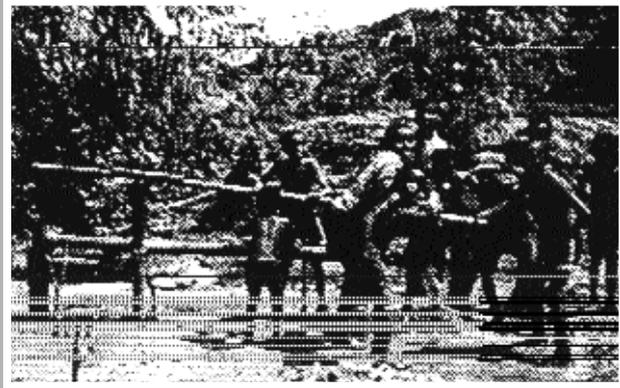


21. Atelier de fabrication de puisettes en tube PVC et démonstration d'utilisation (base du LWR à Niamey). Puisette à vidange par la base, fixation renforcée. Capacité de 7 à 8 litres.

Les forages à faibles coûts en images



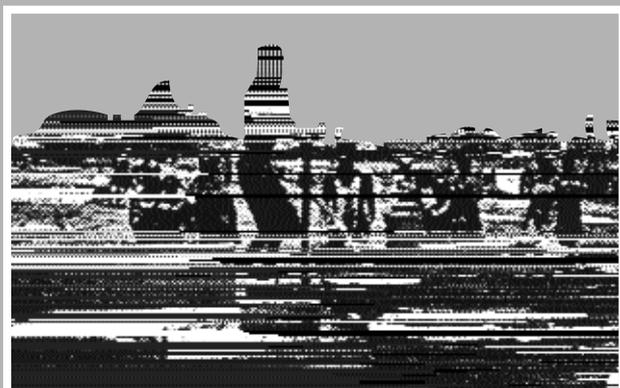
22. Puisette de grande capacité (18 à 20 litres), avec vidange par la base. Manipulation au moyen d'un petit treuil et d'une poulie. Utilisation pour l'irrigation. Centre expérimental du LWR au Niger.



23. Pompe à balancier, avec cylindre dans l'ouvrage. Fabrication locale. Utilisation pour l'arrosage, dans le centre expérimental du LWR au Niger.



24. Pompe à pédale, pour arrosage sous pression. Centre expérimental du LWR au Niger.



25. Pompe importée, montée sur un forage, pour l'alimentation en eau villageoise au Burkina Faso.

Contextes socio-économiques d'utilisation des forages à faibles coûts et dynamiques de développement local

1. Une technique particulièrement pertinente pour les zones rurales isolées, les petits villages et les zones d'habitat dispersé

Le forage à faibles coûts permet de multiplier les points d'eau

La plupart des pays ont pour objectif de mettre à la disposition des populations rurales des points d'eau assurant, pour les besoins domestiques, un volume de 10 à 20 litres d'eau potable par jour (suivant les ressources disponibles) et par personne. Ces objectifs restent toutefois couverts de façon inégale suivant les pays et les zones géographiques (taux de couverture de 20 à 70 %).

Le souci actuel est de rapprocher les points d'eau des utilisateurs, et donc de multiplier les points d'eau tout en attachant plus d'importance à la qualité de l'eau (surtout à sa qualité bactériologique).

Le forage à faibles coûts répond mieux à ces objectifs que le puits ou le forage classique

Il permet de réaliser des forages pour des populations peu denses, traditionnellement ex-

clus des points d'eau modernes. Ceux-ci sont en effet prévus pour des groupes de bénéficiaires d'environ 400 personnes (400 x 20 litres/jour = 8 000 litres/jour). Ce chiffre ne peut être beaucoup abaissé tant pour des raisons de rentabilité coût/utilisateur que pour des raisons de pérennité du forage : les enquêtes montrent qu'en dessous de 250 personnes, les bénéficiaires ne peuvent plus supporter seuls la gestion de l'aménagement.

Le forage à faibles coûts fait descendre ce seuil, à la fois par le faible prix de revient de sa construction, mais aussi par la possibilité d'utiliser le forage au moyen de puisettes à main confectionnées avec un morceau de tube PVC d'un prix de revient très bas. Avec un volume d'eau remonté à la main de 5 à 7 litres à chaque manœuvre, il est possible d'extraire de 150 à 200 litres d'eau à l'heure, soit 1 à 2 m³ d'eau par jour, ce qui suffit à l'alimentation en eau potable de 50 à 200 personnes.

Il permet donc d'alimenter en eau des hameaux isolés et des petits villages, ou bien encore d'exploiter des ressources en eau de

façon discontinue, c'est-à-dire de faire face à des besoins spécifiques en eau à certaines périodes de l'année. Il permet enfin de réaliser des points d'eau dans des zones inaccessibles aux véhicules utilisés pour le transport d'ateliers de forage mécanisés. Le matériel nécessaire pour un forage à faibles coûts peut être transporté par des véhicules légers ou par des moyens traditionnels : transport par charrette, à dos d'animaux ou même à dos d'homme.

Le forage à faibles coûts offre une bonne qualité bactériologique de l'eau, puisqu'il permet d'exploiter des nappes plus profondes. Son handicap, par rapport au puits, est la nécessité d'équiper le forage d'une pompe. Ce handicap s'est grandement amenuisé. Il existe désormais sur le marché des pompes fiables pour une utilisation intense, de plus en plus souvent fabriquées dans le pays d'utilisation ou dans un pays voisin. Il est possible d'obtenir une garantie du vendeur et des pièces de rechange pour ce matériel. Les bénéficiaires prennent de plus en plus souvent en charge la gestion du point d'eau, souvent avant sa réalisation. Ils participent au coût de sa réalisation et s'engagent à entretenir les moyens d'exhaure et les aménagements de surface.

Le forage à faibles coûts peut favoriser le développement de petites entreprises privées

Dans le secteur hydraulique, les réalisations importantes sont principalement confiées aux structures étatiques, aux organismes para-étatiques, ou encore aux entreprises importantes, généralement étrangères, ou à leurs filiales locales.

Cette situation s'explique par l'importance des investissements à mettre en place pour l'acquisition de matériel de fonçage mécanisé, par les frais de fonctionnement élevés et enfin par la haute technicité que réclame leur mise en œuvre.

La prise en charge par l'Etat des investissements nécessaires aux aménagements hydro-

liques constitue une lourde charge financière, même si le matériel est souvent fourni dans le cadre de projets soutenus par les coopérations étrangères.

Le désengagement de certains Etats d'une partie des investissements en hydraulique rurale et les politiques actuelles de décentralisation ouvrent de nouveaux marchés pour des entreprises privées.

Jusqu'ici, les petites entreprises n'étaient pas favorisées par la législation et rencontraient des difficultés d'accès au crédit bancaire. Il existait surtout des artisans puisatiers indépendants, mais dont le métier, le puits, ne suffit pas à assurer les besoins en points d'eau.

Dans le domaine du puits moderne, un certain nombre de petites entreprises privées se sont installées et essayent de maintenir une activité rémunératrice. Cet objectif n'est pas facile à atteindre car l'investissement initial en matériel est important : moules à cuvelages et à buses, treuils, pompes, compresseurs, éventuellement bennes preneuses, camions, etc.). Pour être rentables, ces entreprises ont besoin d'un volume important et régulier de puits à réaliser. Le forage à faible coût atténue ce handicap sans le faire disparaître toutefois.

Les organismes étatiques peuvent contribuer au développement de la technologie des forages à faibles coûts de plusieurs façons :

- la création de brigades de forages à faibles coûts travaillant en régie ;
- la formation de personnel aux techniques de forage à faible coût, soit par la pratique, soit dans le cadre d'organismes d'enseignement professionnel ;
- le partage des tâches, les plus faciles ne nécessitant pas un matériel lourd étant laissées aux forages à faibles coûts (fractionnement des marchés, sous-traitance) ;
- la diffusion de la technique alternative représentée par les forages à faibles coûts auprès des opérateurs et bailleurs de fonds.

2. Une technique favorable aux dynamiques économiques locales

Les forages à faibles coûts sont réalisés par une entreprise de petite dimension, un groupement d'artisans, ou même un artisan de village. Ils peuvent éventuellement être effectués par une équipe d'un service technique local intervenant dans le domaine de l'hydraulique rurale. L'exécutant est donc généralement basé à proximité du client ou du bénéficiaire. Ce dernier connaît le réalisateur potentiel. Il peut s'informer sur son activité et ses réalisations, en discuter, demander des devis et donc choisir ce type de point d'eau s'il lui convient.

Le coût de l'ouvrage, dans sa totalité, ou pour la part à la charge du bénéficiaire dans le cas d'un recours à un partenaire financier, reste à la mesure des moyens du client/bénéficiaire. Le forage à faibles coûts est réalisé à la main, le bénéficiaire peut donc fournir une partie de sa contribution en participant aux tâches les plus simples. L'ensemble de ces éléments permet au bénéficiaire (même si sa contribution au coût de

l'ouvrage n'est que partielle) de se sentir largement propriétaire du point d'eau et, de ce fait, d'accepter plus facilement sa gestion et les dépenses se rapportant aux moyens d'exhaure.

Le faible prix de revient des ouvrages facilite l'obtention d'aides financières et de crédits éventuels pour la réalisation des travaux. L'exemple du Niger montre que lorsque les nouveaux points d'eau permettent de développer des activités agricoles rémunératrices (maraîchage par exemple), les exploitants agricoles rentabilisent sans difficultés l'investissement nécessaire à la réalisation des forages à faibles coûts.

Ces techniques permettent donc à la fois :

- de satisfaire à moindre coût les besoins des communautés rurales en points d'eau ;
- de stimuler la création de petites entreprises rentables (les réalisateurs des forages) ;
- de développer la production agricole et les ressources des communautés rurales.

3. L'importance de la formation

Les forages à faibles coûts, avec leurs techniques et leurs matériels très variés, s'adaptent à de nombreux contextes géographiques et socio-économiques des pays des zones arides et semi-arides de l'Afrique.

Les techniciens, les personnels, les responsables des équipes actuellement opérationnelles ont été formés par des ONG du Nord comme OXFAM, LWR, l'AFVP, CARE ou PEACE CORPS. Dans certains pays, des brigades ont été formées et organisées dans le cadre de services techniques nationaux (le génie rural au Niger s'inspire, par exemple, de la technique divulguée par LWR).

Quelques bailleurs de fonds, comme l'Union européenne ou l'USAID, ont initié des projets

d'hydraulique qui reposent sur ces techniques et sur la formation de professionnels compétents. Nous présentons dans la suite de ce chapitre deux cas, l'un d'une entreprise privée qui s'est spécialisée dans la réalisation de forages à faibles coûts, l'autre d'un projet d'hydraulique villageoise qui repose sur la promotion de ces techniques. Les deux exemples témoignent de l'intérêt économique de ces techniques. Néanmoins, le tableau des utilisateurs de ces techniques en Afrique que nous avons pu recenser, montre également qu'elles sont manifestement beaucoup moins développées qu'elles devraient l'être.

La promotion des techniques de forages à faibles coûts, et notamment la réalisation de

forages par des artisans et des petites entreprises privées (ou par des équipes d'organismes gouvernementaux, officiels ou parapublics) passent par la formation de personnels et techniciens.

Actuellement, des organismes comme le Gary ou Cofomaya au Burkina Faso, le LWR (Lutheran World Relief) et le génie rural au Niger, forment des stagiaires pour leur apprendre les techniques de forages à faibles coûts. Mais cette formation

reste très limitée et se réalise au coup par coup, à la suite d'initiatives individuelles plutôt que selon un programme d'ensemble conséquent et important.

Il paraît nécessaire de renforcer les formations à ces techniques dans des cadres adéquats comme les centres de perfectionnement d'artisans ruraux, les écoles de formation de techniciens du génie rural, etc.

4. Deux exemples de réalisation et d'utilisation de forages à faibles coûts

■ Exemple d'une entreprise spécialisée dans la réalisation de forages à faibles coûts : la Cofomaya

La Cofomaya, coopérative de forage manuel du Yatenga, est basée à Séguénéga, dans la province du Yatenga au Burkina Faso. La coopérative regroupe une dizaine de coopérateurs. Elle a été fondée en 1982 à l'initiative de l'AFVP (Association française des volontaires du progrès). L'entreprise est inscrite au registre du commerce depuis 1985. Elle est un organisme indépendant, libre de conclure des marchés à la demande de tous clients éventuels.

La Cofomaya intervient principalement dans la Province du Yatenga, au nord-ouest du Burkina Faso. Elle peut se déplacer, à la demande, sur l'ensemble du territoire burkinabé. La coopérative a participé, par exemple, à un programme de forages dans le sud-ouest du territoire (bassin de la rivière Comoé).

Domaines d'activités et clients

L'activité permanente de la Cofomaya se situe dans le domaine de l'hydraulique villageoise. Elle agit dans le cadre de projets ou de programmes de points d'eau bénéficiant d'aides de financement de la part d'organismes internatio-

naux (FED, Mission française de coopération) ou d'ONG étrangères. La coopérative assure, en particulier, la réalisation d'un programme d'hydraulique pour des villages qui bénéficie de l'appui de l'ONG "Eau Vive".

Les techniques et les matériels

La Cofomaya dispose de plusieurs équipes de forage (trois actuellement) disposant chacune d'un lot complet de matériel de forage à la main, permettant de travailler sur tous les terrains jusqu'à une profondeur d'une quarantaine de mètres. Aucune opération n'est mécanisée.

Compte tenu de son implantation géographique, les forages réalisés par la Cofomaya permettent de capter des ressources en eau situées dans les niveaux de base des altérites du socle cristallin (latérites au sens large). La Cofomaya s'est spécialisée dans l'approfondissement de puits qui ont tari, par forage à l'intérieur du puits. Mais elle réalise aussi des forages à partir du niveau du sol. De plus, la Cofomaya s'est dotée de deux équipes de fonçage de puits modernes en grand diamètre.

La Cofomaya est équipée de matériel de forage pour tous terrains principalement fabriqué en France par la société Bonne Espérance. L'utilisation de ce matériel conduit à adopter la technique de fonçage suivante :

- avancement à la tarière hélicoïdale dans les terrains meubles, ou battage au trépan dans les terrains compacts ou durs ;
- enfoncement simultané d'un tube de travail provisoire (casing) en acier de diamètre 180 mm, aidé par cric ou vérin ;
- remontée des déblais au moyen d'une soupape à clapet.

Une fois la profondeur recherchée atteinte, le forage est équipé au moyen d'un tube PVC plein (diamètre 112/125 mm) et de crépines entourées d'un massif filtrant mis en place simultanément à l'arrachage du tube provisoire. On procède alors au développement, à l'aide d'une soupape et d'une pompe manuelle.

Ces ouvrages sont équipés de pompes à motricité humaine. Les puits sont fermés par une dalle en béton. Un ensemble d'équipement de surface (dalle anti-bourbier, muret de protection, etc.) complète l'ouvrage.

Les ressources humaines

Un petit nombre de foreurs ont été, à l'origine, initiés par l'AFVP aux techniques de forages manuels pratiquées par le Gary (groupement d'artisans implantés dans le même secteur)¹. Par la suite, ce noyau initial a formé les autres coopérateurs. Actuellement, grâce à l'expérience acquise par la pratique, l'ensemble du personnel maîtrise bien les opérations entreprises.

La Cofomaya a également bénéficié de l'assistance de l'AFVP pour se former à la gestion d'entreprise. Au niveau du matériel, la Cofomaya a bénéficié dans sa phase de démarrage de dotations extérieures, et notamment de l'aide de l'ONG Eau Vive. Son dernier investissement a été entièrement autofinancé (4 300 000 Fcfa, avant dévaluation).

¹ Gary a la même implantation géographique que la Cofomaya. Créée en 1976, elle est à l'origine de l'utilisation de la technique de forage manuel dans le Yatenga (Ouahigouya). Elle dispose de plusieurs ateliers de forages équipés de la même façon que la Cofomaya et pratique les mêmes techniques dans les mêmes terrains. Toutefois, le Gary dépend d'Ong étrangères (Oxfam, et Asi – de Seine-et-Marne). Elle n'a pas un statut juridique d'entreprise.

Evolutions et perspectives

Le chiffre d'affaires de l'entreprise a augmenté régulièrement au cours des dernières années et dépasse 200 000 FF par an. Pour assurer son développement, l'entreprise diversifie ses activités, notamment en ouvrant des chantiers de puits et en intervenant pour l'installation et la maintenance des pompes équipant les forages qu'elle réalise.

L'entreprise n'a pas de concurrents pour l'approfondissement de puits, domaine où il reste beaucoup à faire. Compte tenu de la création de nouvelles activités, de la réputation qu'elle a acquise auprès de différents bailleurs de fonds et partenaires financiers, de la sensibilisation des bénéficiaires aux avantages du forage, l'entreprise devrait poursuivre sa croissance économique.

Coût des forages réalisés

Actuellement, la Cofomaya propose des prix pour des ouvrages livrés équipés (pompes manuelles et aménagements de surface). L'implantation est précédée d'une animation villageoise et de la formation du comité de gestion et, si nécessaire, d'une étude hydrogéologique.

Pour les puits approfondis par forage, deux cas peuvent se produire :

- l'approfondissement par forage sans réfection du cuvelage ;
- l'approfondissement du puits avec réfection du cuvelage.

Dans le premier cas, pour des puits approfondis de 15 à 30 mètres, les prix atteignent 1 500 000 à 1 800 000 Fcfa². Dans le deuxième cas, à titre d'exemple, pour un ouvrage nécessitant 15 m de réfection et 20 m de fonçage, le prix atteint environ 2 350 000 Fcfa, dont 750 000 Fcfa de cuvelage².

Enfin, pour un forage commencé à partir du sol et atteignant environ 40 mètres de profondeur, il faut compter sur un coût d'environ 2 000 000 Fcfa².

² Ces prix, approximatifs, ont été calculés en 1994.

Troisième chapitre

Tous ces forages captent la nappe contenue dans les altérites du socle cristallin et nécessitent l'utilisation du battage au câble au moins sur quelques mètres.

Coût du matériel

Le prix de revient au Burkina Faso de l'équipement complet d'une unité de forage de type Cofomaya, comprenant du matériel importé (tubage et outils de forage) et du matériel d'origine locale (trépied, treuil, etc.) était estimé à 150 000 FF en 1994.¹

■ Un programme hydro-agricole basé sur les forages manuels à faibles coûts

Le projet Basse vallée de la Tarka (PBVT) est basé à Madaoua, dans le département de Tahoua, au Niger. Le projet associe le ministère de l'Agriculture et de l'élevage et l'Union européenne qui finance les réalisations. Le projet encadre et aide les paysans privés locaux à aménager des terrains dont ils sont propriétaires pour obtenir une production agricole rémunératrice.

Secteurs géographiques d'intervention

La basse vallée de la Tarka se situe dans les arrondissements de Madaoua et de Bouza, à environ 450 km à l'est de Niamey, au nord de la frontière du Nigeria. C'est une dépression allongée en arc de cercle, qui s'étend sur plus de 300 km depuis les hauteurs du Damergou jusqu'à la frontière du Nigeria et au-delà vers le sud. Elle correspond à une vallée fossile de 5 à 10 km de largeur, creusée au cours du Quaternaire ancien. Aucun écoulement de surface ne se produit actuellement mais, dans les biefs où la vallée est comblée par des alluvions sableuses perméables, il existe une nappe permanente à faible profondeur, bien alimentée par

les apports des pluies et des bassins versants latéraux.

C'est cette situation favorable qui détermine l'implantation du projet de petite irrigation sur une section de 75 km de longueur, à fond plat, large de 6,5 km en moyenne et délimitée sur ses deux rives par un talus de 15 à 20 mètres de hauteur.

La méthode de captage adoptée

La surface de la nappe exploitée se situe à une profondeur de 3 à 5 mètres sous le sol, dans des alluvions sableuses de granulométrie moyenne à grossière, avec peu d'éléments fins ou argileux. La hauteur mouillée est souvent supérieure à 10 mètres. En surface, il existe une couche limoneuse de 1 à 2 mètres d'épaisseur, favorable aux cultures.

Après des essais de divers systèmes de captage des eaux souterraines (puits Ofedes, puits génie rural, forage Rotary, Washbore), le forage manuel a été retenu dans le cadre du projet.

Deux méthodes sont utilisées :

- le système conçu par le LWR (voir description en page 37) pour des forages de 8 à 10 mètres de profondeur gérés individuellement ;
- le système de forage LWR, amélioré par le génie rural pour des forages de 15 à 18 mètres de profondeur, gérés collectivement. Ce système est voisin du précédent, la seule différence est l'utilisation d'un "pré-tubage" (tubage provisoire ou casing) en acier fabriqué au Niger suivant un procédé permettant d'obtenir un tube léger de 200 mm de diamètre environ.

Dans les deux cas, le forage est équipé en tuyau PVC de 125/140 mm muni à sa partie inférieure de crépines de même diamètre sur une longueur de 4,50 mètres. Ces crépines sont enveloppées dans un tissu filtrant. La mise en place d'un massif de gravier n'est pas prévue.

Le forage est exploité par motopompes de 3 à 5 ch débitant 2 à 5 litres/seconde (7 à 18 m³/h) pour les forages individuels. Les forages collectifs peuvent être exploités par

pompes électriques immergées et fournir un débit supérieur à 20 m³/h.

Les équipes de réalisation

Les forages sont réalisés par des équipes du génie rural. Dans le cas de la première technique de forage, une équipe de quatre personnes réalise en moyenne un à deux forages par jour. Dans le deuxième cas, une brigade de quatre manœuvres et un chef d'équipe réalise un forage en moyenne par semaine.

L'équipement de forage a été amélioré par rapport au matériel LWR. Il est fabriqué par les artisans de Madaoua.

Le génie rural souhaite soutenir la création de petites entreprises privées d'hydraulique rurale. En 1995, une seule entreprise s'est lancée dans le forage manuel, en complément de son activité de plomberie et de pose de canalisations d'irrigation. Trois brigades de forage ont été entièrement équipées avec les moyens financiers de l'entreprise. Le coût de l'équipement de base est revenu à 65 000 Fcfa par équipe (soit 195 000 Fcfa pour trois équipes). Il faut y ajouter environ 165 000 Fcfa d'équipement commun aux trois équipes. Au total, un investissement de l'ordre de 360 000 Fcfa a été déboursé¹. Chaque équipe comprend un technicien et trois manœuvres. L'entreprise ne dispose pas de véhicules en permanence. Elle a recours à la location de véhicules de type "Pick up" ou de charrettes.

L'entrepreneur estime que le forage manuel pratiqué dans les conditions décrites ci-dessus est une activité rentable.

Le coût des ouvrages et le système de financement

Le forage et le dispositif de pompage sont à la charge de l'exploitant agricole. Dans la mesure où il est propriétaire d'un terrain de 0,4 hecta-

re au minimum, il peut postuler auprès du projet pour un crédit d'équipement-irrigation de 4 ans pour l'ensemble forage et motopompe. Un apport personnel de 10 % est exigé. Le taux d'intérêt est de 5 %. Les remboursements sont effectués sur des échéances semestrielles.

En 1995, le coût moyen d'un aménagement revient à environ 290 000 Fcfa (forage : 90 000 Fcfa, motopompe : 200 000 Fcfa) pour une surface de 0,4 hectare (725 000 Fcfa/ha).

Le procédé adopté pour la réalisation des forages ne permet pas de garantir leur durée de vie au-delà de quatre ans. Toutefois, un contrat est passé entre les responsables du projet et l'exploitant agricole pour que leur réfection soit assurée par les équipes techniques à tout moment, si nécessaire, pour une somme forfaitaire de 10 000 Fcfa. L'opération consiste essentiellement en l'extraction du tubage, l'échange du tissu enveloppant la crépine, puis la réalisation d'un nouveau forage à un emplacement voisin, en réutilisant le même équipement tubulaire.

Rentabilité du forage au niveau de l'exploitant agricole

Les techniciens du projet ont calculé que la production agricole permise par la mise en place du forage et son exploitation (essentiellement la culture d'oignons) fournissait des revenus suffisants pour le remboursement du prêt et laissait un bénéfice qui rendait l'opération rentable pour l'agriculteur. En effet, les demandes d'accès aux crédits sont nombreuses.

Le projet continue à évaluer l'importance exacte des ressources en eau disponibles afin de faciliter l'intensification de la production agricole. Au cours d'une première phase (1988-1993) 320 hectares ont été aménagés pour l'irrigation à partir de 800 forages individuels réalisés manuellement. Il est prévu dans une deuxième phase d'aménager 1 200 hectares de périmètres individuels à partir de 3 000 forages réalisés manuellement. L'importance des résultats et des perspectives confirme l'intérêt des forages à faibles coûts dans ce type de contexte.

¹ Ces prix ont été calculés avant la dévaluation (50 Fcfa = 1 FF)

Liste d'utilisateurs de forages à faibles coûts

Pays, localisation	Organisme Utilisation	Dates	Aquifère Profondeur Niveau statistique (NS)	Fonçage
Sénégal Thiébaba Khombolé Bakel Casamance	FED, AFVP maraichage bovins USAID maraichage	octobre 89 à 94 1992 à 1994	sableux vallées fossiles 2 à 10 m sableux, alluvions 4 à 5 m	tarière cuillère au jet
Burkina Faso Ouahigouya	Gary+ Oxfam alimentation humaine Cofoyama + AFVP + Eau Vive alimentation humaine	1976 à 1994 1982 à 1994	altérites du socle cristallin 10 à 40 m altérites du socle cristallin 10 à 35 m	tarière, trépan et cuillère battage au câble Tarière, trépan et cuillère battage au câble
Niger Niamey Dallol Bosso Egalement Mali et nord Burkina Madaoua (basse vallée de la Tarka)	LWR AEP et maraichage PBVP UE + génie rural maraichage	1985 à 1994 1988 à 1991	sableux alluvions vallées fossiles 5 à 10 m sableux vallée fossile 4 à 5 m	tarière cuillère (battage à tiges) tarière + cuillère (battage à tiges)
Togo Notsé et région des savanes	hydraulique villageoise	1974 arrêté en 1994	altérites, grès schistes, prof. : 10 à 15 m	diamètre 5" carottier trépan battage à tiges
Nigeria Vallée de la rivière Sokoto et Fadamas N-E de Bauchi Vallées affluentes de la Komadougou idem idem	groupements maraichers idem groupements maraichers BSADP idem idem	1990 à 1994 idem 1984 à 1994 idem idem	alluvions prof. : 10 à 15 m NS : 2 à 3 m alluvions prof. : 6 à 8 m NS : 1,6 à 3 m alluvions prof. : 12 m NS : 3 à 4 m idem prof. : 8 m NS : 4 m lit sableux de rivière prof. : 4 m NS : 1 m	1) avant-trou tarière 6" battage, cuillère (soupape) 2) lançage à l'eau tube ABS 3" avant-trou tarière Type 1 lançage à la bentonite, tube acier 2", avant-trou tarière 4" Type 2 lançage à l'eau claire, avant-trou tarière 4" Type 3 double lançage à l'eau tube d'injection 2" crépine à pointe 3"
Tchad bordure du lac Chari ardt S-O et S Kanem	USAID CARE	1986 récent	Terrains tendres sablo- argileux, prof. : 25 m NS : 30 m alluvions fluvio lacustres prof. : 10 m	Tarière mécanique 4" soupape à sable
Tanzanie Dar Es Salam	RWRI	1984	alluvions prof. : 20 à 25 m NS : variable	tarière diamètre 230 à 180 mm soupape

Liste d'utilisateurs de forages à faibles coûts

Tubage provisoire	Tube exploitation captage	Moyen d'exhaure	Débit	Observations
Casing, Ø ext. 219 mm fabrication locale néant	PVC 125 mm crépine 3 m + géotextile + gravier basalte crépine + textile 60 mm	pompe manuelle Ø 75 mm et 90 mm pompe à motricité humaine	maximum 2 m ³ /heure 1 500 l/heure	crépines fabriquées sur le chantier, coût du forage équipé : 50 FF/m approfondissement de puits 3 m : 300 FF
Casing Ø ext. 180 mm (importé) Casing : idem (importé)	PVC 112/125 mm lanterné 3 mètres gravier concassé PVC 112/125 mm, crépiné 3 à 6 m, gravier concassé	puisette ou pompe manuelle pompe manuelle	200 à 1000 litres/heure 800 à 1000 litres/heure	coût foration + tubage : 400 à 600 FF/m
Type 1 pas de casing Type 2 pré-tubage Ø 170 mm en acier fabrication locale	PVC Ø 140 mm crépiné + tissu polyester PVC Ø 125/140 mm crépine 4 à 5 m + tissu filtrant	puisette, pompe à motricité humaine, motopompe type 1 : motopompe type 2 : pompe électrique immergée	2 à 14 m ³ /h 7 à 18 m ³ /h 10 à 20 m ³ /h	tube PVC crépiné en usine coût forage équipé: 80 FF/m tube PVC crépiné en usine coût forage sans pompe 80 à 100 FF/m
Casino 5" tube galvanisé	tubage galvanisé 2", crépine à pointe Johnson 1 m + gravier	pompe à main monitor 1"11/16	1 à 1,2 m ³ /h	
casing Ø 150 mm néant néant PVC 4" néant	PVC Ø 4" crépine idem longueur 1,5 à 3 m idem PVC 3" crépine 3" longueur 3 à 6 m PVC 3" crépine 3" longueur 3 à 6 m crépine à pointe 3 m	motopompe 2 à 3" motopompe motopompe 2" motopompe 2" motopompe 2"	5 à 10 m ³ /h 15 à 20 m ³ /h 5 à 10 m ³ /h idem idem	tout matériel fabriqué sur place, 2 à 3 forages/jour coût 300 FF /m forages/jour coût 80 FF/m coût du forage équipé : 80 à 100 FF/m
néant (?)	tube acier galvanisé 2" crépine Johnson 2", slot 6 à 12, longueur 1,50 m PVC 4", 3", 2"	Pompe manuelle 2" type Sahores tubage pour refoulement par la pompe pompe manuelle rustique	600 à 1000 litres/heure 600 à 1000 litres/heure	absence de massif de gravier : ensablement rapide, coût 300 FF/m
Casing acier 250/275 mm 200/220 mm	PVC 103/110, 117/125 147/160 crépines même Ø longueur 3 m	pompe manuelle 2" à 4"	600 à 2500 litres/heure	

Annexes

1. Différents types de terrains aquifères favorables aux forages à faibles coûts
2. Zones d'Afrique de l'Ouest et du Centre où les conditions géologiques et hydrogéologiques paraissent favorables aux forages à faibles coûts
3. Cartes au 1/5 000 000^e des formations géologiques pouvant contenir des nappes exploitables par forages à faibles coûts
4. Possibilités de diversifier l'utilisation du matériel, des ateliers et des équipes de forages manuels et à faibles coûts
5. Bibliographie
6. Fabricants de matériels de forage : quelques adresses
7. Organismes ressources

Différents types de terrains aquifères favorables aux forages à faibles coûts

■ Formations sédimentaires actuelles ou récentes

Les alluvions

Transportées et redéposées par les eaux, on les trouve :

- dans les vallées de rivières et fleuves où elles sont constituées de sables fins ou grossiers avec des possibilités de passages argileux. Lorsqu'il existe un écoulement permanent, les alluvions contiennent une nappe peu profonde, d'épaisseur variable suivant la situation du captage par rapport au lit actuel ou ancien du cours d'eau. Cette nappe alluviale peut persister même si l'écoulement n'est que temporaire ;

- par ailleurs, en zone sahélienne, il existe des nappes permanentes à faible profondeur dans des vallées anciennes (vallées fossiles) où elles constituent des réserves importantes facilement exploitables. Les alluvions forment aussi des dépôts importants dans les zones de deltas, c'est-à-dire au débouché des cours d'eau en mer ou dans les lacs et bas-fonds.

Toutefois, les alluvions sableuses peuvent se limiter aux lits actuels et à leurs berges ou à des zones correspondant à d'anciens bras du cours d'eau, tandis que partout ailleurs on rencontre des alluvions fines, argileuses ou limoneuses. Bien qu'étant presque toujours aquifère, ce type de dépôt ne sera pas partout exploitable. Le repérage des zones favorables, qui se situent parfois en surface, parfois en profondeur, doit faire l'objet d'une étude préalable (par sondages de reconnaissance, par examens de surface ou par photos aériennes). Ces dispositions se rencontrent en particulier dans les vallées des grands fleuves, à pente très faible.

Les aquifères des deltas situés à l'embouchure des rivières en mer sont fréquemment contaminés par des eaux salées : les eaux douces exploitables ne se rencontrent pas partout.

Il existe aussi des deltas intérieurs qui correspondent à des ruptures de pente dans les grandes rivières. Ces zones présentent des nappes à faible profondeur mais dans des terrains variables où alternent dépôts sableux et dépôts argileux. L'exploitation de ces nappes n'est donc pas toujours possible. Une reconnaissance hydrogéologique préalable est souvent nécessaire pour délimiter l'implantation des forages.

Les rivières qui aboutissent dans des lacs ou dépressions ont pu les combler petit à petit, et former ainsi des dépôts très importants, généralement aquifères avec une nappe à faible profondeur. Il s'agit en général de sédiments sableux ou sablo-argileux, dits fluvio-lacustres, de granulométrie très fine. Leur captage sans dispositions adéquates (massif de gravier et crêpines adaptées) peut poser des problèmes d'ensablement.

Formations côtières

Les côtes basses, sans relief, sont le siège de dépôts sableux marins, repris par le vent et modelés sous forme de dunes qui peuvent s'avancer loin à l'intérieur des terres en climat aride.

Ces formations sont normalement aquifères, au moins au bord de la mer, avec une nappe à faible profondeur. Toutefois, les eaux douces y sont en équilibre avec les eaux salées qu'elles surmontent. En général, les captages peu pro-

fonds de type forage à faibles coûts conviennent bien pour la récupération de ces ressources d'eaux douces. Mais il faut prendre des précautions pour ne pas extraire de l'eau salée, notamment lorsque les nappes d'eau douce ont une forme lenticulaire.

Plus à l'intérieur, les dépressions interdunaires où la nappe se trouve à faible profondeur sont en principe des zones favorables pour le captage d'eau par forage à faibles coûts. Toutefois, la présence d'eau salée, ou fortement minéralisée, n'est pas à exclure et doit être délimitée avant mise en exploitation.

Accumulations éoliennes

Dans les zones sahariennes ou subsahariennes, le vent a accumulé d'importants dépôts de sables, souvent fins, disposés en général en dunes. Malgré la faible pluviométrie, la grande perméabilité des sables permet souvent l'infiltration rapide des eaux de pluie. Si les dispositions profondes sont favorables, les eaux de pluie infiltrées permettent la formation de nappes accessibles par forage à faibles coûts dans les dépressions. Cependant, la présence d'eau salée n'est pas à exclure, compte tenu de la forte évaporation.

Colluvions

Ce sont des dépôts granuleux, sableux, argilo-sableux, limoneux, qui correspondent aux résidus de l'altération des reliefs laissés sur place ou transportés à faible distance. Des nappes d'eau localisées se forment parfois à la base de falaises ou d'escarpements, et peuvent éventuellement être exploitées.

Les pédiments sont des formations de type voisin mais répandus sur de vastes surfaces autour de reliefs autrefois importants. Ils ne sont signalés en Afrique que dans les zones non soumises à une altération de type latéritique. Ils peuvent être aquifères, mais de façon discontinue. Leur mise en exploitation par des forages à fai-

bles coûts demande une étude préalable. En effet, dans les zones à très forte évaporation, les pédiments ne sont que localement assez épais pour maintenir une nappe pérenne.

■ Formations sédimentaires anciennes meubles

Continental Terminal (C.T.)

La zone subtropicale et sahélienne ou de transition entre la zone désertique et la zone à climat soudano-sahélien est recouverte sur de larges surfaces de l'Afrique Occidentale par des formations détritiques déposées depuis le Tertiaire moyen jusqu'au Quaternaire inférieur.

Lorsqu'elles sont constituées de sables plus ou moins argileux ou de grès tendres, alternant avec des bancs d'argiles, elles sont aquifères et constituent la nappe phréatique la plus fréquemment exploitée pour l'alimentation en eau des villages. Cette nappe, dont l'épaisseur peut atteindre plusieurs dizaines de mètres, est atteinte et exploitée par de très nombreux puits.

La profondeur de la surface des eaux souterraines est très variable, mais souvent supérieure à 15/20 mètres. Des profondeurs de 60 à 80 mètres sont signalées.

La nappe du C.T. peut parfaitement être exploitée par des forages à faibles coûts dans les zones où la profondeur de la surface piézométrique ne dépasse pas les profondeurs accessibles indiquées plus haut, soit une quarantaine de mètres, compte tenu de la hauteur du captage qui ne peut être inférieure à 5 mètres et peut atteindre une dizaine de mètres.

La production de cet aquifère est très variable. S'il existe des niveaux de bonne perméabilité, celle-ci est généralement médiocre, en raison de la présence permanente d'argile en proportion variable.

Toutefois, compte tenu du système manuel d'exhaure qui peut être mis en place sur les forages à faibles coûts, le débit obtenu permet la

création de points d'eau à usage villageois, sous réserve que la tranche captée soit suffisante.

■ Formations sédimentaires plus anciennes que le Continental Terminal

Leur consolidation les rend en général trop compactes pour qu'elles puissent être traversées par des forages à faibles coûts.

Toutefois, étant assez souvent aquifères, en raison notamment de leur fissuration ou de leur schistosité, ou parfois de leur porosité, l'utilisation des forages à faibles coûts a été tentée dans de telles formations. Cette technique n'a été rentable que dans le cas de motorisation au moins partiel des ateliers (il s'agit essentiellement de calcaires, marnes et schistes, parfois de grès).

Altérites (altérations latéritiques) du socle cristallin

Ce type d'altération est caractéristique d'un climat chaud et humide. Dans ces conditions climatiques, les eaux de pluie s'infiltrant en profondeur ont la propriété de dissoudre la silice des minéraux constituant ces roches. Il s'agit de la silice des silicates, la silice massive comme celle des filons de quartz est beaucoup plus résistante. Cette silice dissoute est ensuite évacuée vers la mer par les cours d'eau.

L'altération de la roche suit un processus qu'il est intéressant de connaître pour déterminer la situation des points d'eau et la position des captages. Ainsi, de bas en haut, on distingue :

- la roche fissurée, encore trop dure pour être abordée en forage à faibles coûts ;

- la roche désagrégée en éléments minéralogiques élémentaires, c'est-à-dire en grains de la dimension de grains de sable, parmi lesquels persistent quelques blocs. Ce niveau dont l'épaisseur ne dépasse pas quelques mètres est suffisamment ameubli pour être foré en forage à faibles coûts ;

- le passage correspondant à la transformation des silicates originaires en argiles (qui sont aussi des silicates mais avec une teneur moindre en silice). Tous les termes de la transformation existent. Cette transformation peut aboutir à des niveaux essentiellement argileux.

Plus haut, les argiles perdent leur silice et se transforment en hydroxydes de fer (la latérite au sens strict) ou en hydroxydes d'alumine (la bauxite) ou généralement en un mélange des deux. Ces formations peuvent s'indurer et former une cuirasse de quelques mètres d'épaisseur ou plus, affleurante ou masquée par de minces niveaux de formations résiduelles ou terreuses.

Schématiquement, l'altération latéritique aboutit à trois niveaux concernant la répartition des eaux souterraines exploitables par forages à faibles coûts, à savoir :

- à la base, la roche désagrégée en éléments. Ce niveau est connu sous l'appellation d'arène. Il est généralement aquifère (nappe d'arène, souvent continue) et permet des captages de qualité assez bonne mais variable selon l'état de désagrégation, la taille, la forme des grains, selon la proportion d'argile qui commence à se former, les particules de roches résiduelles non altérées ;

- au milieu, la tranche argileuse, généralement aquifère, mais peu productive, ses caractéristiques variant suivant la proportion d'argiles, la présence de fissures, de canalicules, etc. Ce niveau n'intéresse pas, en principe, les forages à faibles coûts. De nombreux puits s'arrêtent à ce niveau ;

- au sommet, les latérites, généralement cuirassées. Il s'agit de concrétions laissant des vides, des cavités, des canaux, des fissures.

Les latérites sont perméables, elles laissent passer l'eau, mais elles ne sont en principe pas aquifères, car elles sont situées au-dessus de la nappe générale des eaux souterraines. Toutefois, il peut exister des nappes temporaires ou "suspendues" à la limite des latérites et des argiles sous-jacentes. On observe aussi parfois des latérites noyées. Les latérites peuvent être traversées

Annexe 1

en forage à faibles coûts sous réserve d'utiliser les moyens appropriés (battage au trépan, si nécessaire).

De nombreux puits traditionnels ou artisanaux (ou même modernes) s'arrêtent aux niveaux plus ou moins argileux des latérites et captent des arrivées d'eau qui peuvent devenir insuffisantes lorsque les besoins en eau augmentent ou que la surface de la nappe phréatique s'abaisse par surexploitation, ou bien encore parce que ces réserves en eau sont très sensibles aux fluctuations cycliques ou saisonnières de la pluviométrie.

En revanche, les eaux souterraines correspondant au niveau de base sont fréquemment en charge sous les latérites argileuses. Ces dispositions sont favorables au captage de cet aquifère par forage manuel et justifient l'approfondissement de puits pratiqué par des entreprises comme la Cofomaya.

L'exploitation des nappes dans les altérites du socle cristallin n'est pas facile et n'est pas toujours couronnée de succès. Cela tient à plusieurs causes :

- les conditions variables de formation et de développement de l'altération, favorisée par la nature de la roche mère et son état de fissuration ;
- l'état de démantèlement de la couverture latéritique.

En effet, les latérites se sont formées à la faveur d'un climat chaud et humide qui n'existe plus actuellement dans la zone sahélienne et soudanaise où les latérites se présentent sous forme de plateaux entamés par l'érosion, ou de buttes résiduelles, ne laissant substituer que les couches inférieures de l'altération, ou laissant apparaître par endroits la roche mère inaltérée.

Cependant, les variations climatiques étant cycliques, des latérites se sont reformées à plusieurs époques, notamment sur les glacis entourant les plateaux dont les plus anciens datent du début de l'ère quaternaire, ou encore dans les bas-fonds. Fréquemment, l'implantation des forages à faibles coûts dans les zones latéritiques est précédée de prospections hydrogéologiques

comportant l'étude morphologique (cartes topographiques, photos aériennes), piézométrique (inventaire des points d'eau) et géophysique (repérage des zones fissurées et des grandes fractures où l'altération est la plus profonde).

Il est utile de connaître les règles générales suivantes :

- sur les plateaux, l'épaisseur d'altération est la plus forte et donc également la tranche aquifère, mais sa profondeur peut la rendre inaccessible ;

- la zone de glacis peut être assez bonne mais, au fur et à mesure que l'on se rapproche des bas de pentes, l'épaisseur d'altération résiduelle diminue, la surface de la zone aquifère devient moins profonde, mais son épaisseur diminue aussi, de telle façon qu'elle n'est pas toujours exploitable ;

- enfin, normalement, la nappe phréatique se raccorde au cours d'eau et émerge plus ou moins dans celui-ci s'il existe un écoulement. La nappe se réduit à presque rien si des affleurements rocheux se manifestent ;

- dans d'autres cas, la surface de la nappe passe au-dessous du bas-fond. De nombreux cas existent qui nécessitent une étude d'implantation minutieuse.

Dans le cas où la couverture d'altération latéritique a été fortement érodée, ou bien ne s'est pas développée intensément, une disposition inverse peut se présenter. Elle est caractérisée par la présence d'affleurements rocheux dans les zones hautes ou interfluves. C'est alors dans les zones basses que l'épaisseur des formations d'altération sera la plus grande et que sera localisée une nappe exploitable par forages à faibles coûts.

La nature de la roche mère doit aussi être prise en compte :

- aux roches de type granitique correspondent des altérites plus perméables (prédominance des arènes) mais d'épaisseur parfois limitée ;

- aux roches gneissiques et schisteuses correspondent des altérites épaisses mais plus argileuses et donc moins perméables.

Zones d'Afrique de l'Ouest et du Centre où les conditions géologiques et hydrogéologiques paraissent favorables aux forages à faibles coûts

■ Mauritanie

Vallée du fleuve Sénégal

La nappe alluviale est généralisée le long du fleuve, entre Rosso et la vallée du Gorgol et, ponctuellement, plus en amont, dans les limons, sables et argiles. Elle est localement très perméable. L'eau devient salée à l'aval de Rosso.

Au nord du fleuve Sénégal

Sur une dizaine de kilomètres de largeur à partir de la zone ci-dessus, on trouve la nappe du Continental Terminal (sables et grès plus ou moins argileux), alimentée par le fleuve. La profondeur du niveau statique, d'abord voisine de 20 mètres, augmente progressivement en s'éloignant du fleuve.

Partie nord de la dépression de l'Aouker

Il existe une nappe à 20/30 mètres sous le sol, dans des sables éoliens. Il s'agirait d'eau d'épandage issue de la falaise gréseuse du Dahr. L'eau peut être saumâtre par endroits.

Dans les zones du socle cristallin ancien de la Mauritanie méridionale

Quelques ressources peuvent exister sous le réseau hydrographique à écoulement temporaire. Il existe également des nappes alluviales exploitables par endroits dans l'Akjoujt.

■ Sénégal – Gambie

Vallées des fleuves

♦ Fleuve Sénégal

On trouve une zone aquifère généralisée le long du fleuve sur 1 à 10 km de largeur, parfois plus, entre Dagana et une vingtaine de km à l'aval de Bakel. Ces terrains aquifères sont constitués par des limons, sables, argiles de perméabilité variable. La surface des eaux souterraines se situe à une dizaine de mètres de profondeur, parfois plus. Elles sont alimentées par le fleuve et par les pluies.

En aval de Richard-Toll, dans la zone du delta, l'eau de la nappe est salée, sauf dans le secteur de Rao, où existent des ressources exploitables dans des niveaux sableux, à faible profondeur.

♦ Fleuves Saloum et Sine

Les eaux souterraines sont peu profondes, généralement saumâtres ou salées, dans la zone du delta. Il existe quelques lentilles d'eau douce. Il est possible d'exploiter l'eau douce par forages manuels dans le réseau des vallées fossiles qui se rattachent à ces cours d'eau, notamment entre Tataguine, Khombolé et, plus au Nord, en direction de Tivaouane. Le niveau d'eau se situe entre 2 et 8 mètres, la perméabilité est bonne, l'épaisseur de la nappe suffisante. L'eau est parfois saumâtre.

La nappe est alimentée par les pluies. Elle est en équilibre avec la nappe généralisée dans le Continental Terminal.

◆ Fleuve Gambie

On trouve une nappe d'eau dans les alluvions sablo-argileuses très perméables. Elle est accessible à faible profondeur. L'eau salée est dans l'estuaire et la basse vallée.

◆ Fleuve Casamance

On trouve assez peu d'alluvions exploitables. Il existe des risques de trouver de l'eau salée en Basse-Casamance. Il existe quelques possibilités ponctuelles de forage en Moyenne Casamance.

◆ Vallée du Ferlo

Une nappe phréatique a pu se développer en certains points de la vallée du Ferlo, à partir de remontées d'eau de surface, qui sont la conséquence du barrage de Diama.

Zones côtières

Des ressources en eau douce, exploitables à faible profondeur, dans les sables côtiers, existent localement un peu partout le long des côtes.

Des formations de sables côtiers bien développées permettent des aquifères plus généralisés, notamment dans la zone qui va de Dakar à Saint-Louis, plus spécialement de Mboro à Gandiol, et aussi de façon plus circonscrite dans le secteur de Kayar, au nord de Rufisque et à Thiaroye (ressources déjà fortement exploitées). Dans la région côtière dite des Niayes, les eaux souterraines sont accessibles dans les dépressions interdunaires, à une distance de la côte qui peut parfois dépasser une dizaine de kilomètres.

Nappe du Continental Terminal

C'est une nappe généralisée exploitée par puits (nappe phréatique), dans des formations sablo-argileuses et argilo-sableuses. Théoriquement, la nappe pourrait être exploitée par forage manuel, lorsque la profondeur des eaux souterraines ne dépasse pas 35 à 40 mètres, ce

qui est souvent le cas, notamment dans le nord-ouest du Sénégal (est de la route Louga-Thiès) et aussi à proximité immédiate des écoulements de surface. Certaines zones du fleuve Sénégal, du lac de Guiers, de la Gambie, du fleuve Casamance constituent des zones d'alimentation, à partir desquelles la surface de la nappe phréatique chute assez rapidement pour atteindre des cotes négatives inaccessibles aux forages à main, sauf au sud de la Gambie et en haut de la Casamance.

■ Mali

Vallée du fleuve Niger

Il existe un aquifère généralisé dans le delta intérieur du Niger et de son affluent le Bani. Il est constitué par les alluvions du fleuve (sables souvent fins ou très fins, sables argileux) et par les formations du Continental Terminal (sables et grès plus ou moins argileux, argiles sableuses), sous-jacentes ou affleurant autour de la zone alluviale. Les deux nappes se confondent. Elles sont alimentées par les pluies et les eaux de surface.

Il est parfois plus facile de capter la nappe phréatique dans le Continental Terminal que dans les alluvions (granulométrie très fine). La surface des eaux souterraines se situe souvent à faible profondeur (10 mètres et même moins). Des possibilités très importantes existent par endroits dans les alluvions (secteur de Kolongotomo dans la zone alluviale au nord du fleuve).

D'autres possibilités intéressantes sont signalées dans la frange sud de la zone alluviale, à Djenné, Mopti/Sévaré et dans la partie nord de cette frange : le Macina, Tenenkou, Niafouké.

En s'éloignant de la zone alluviale du delta, la nappe du Continental Terminal s'approfondit rapidement. Les zones où la nappe reste accessible aux forages manuels sont celles de Ségou

Annexe 2

et celle au nord du Macina en direction de Niono et de Dioura.

En aval du delta, les alluvions sont peu exploitables, sauf dans le secteur de Gourma-Rhaous. Ailleurs, la nappe phréatique est trop profonde.

En amont du delta intérieur, il existe ponctuellement de petites zones alluviales le long du Niger, avec des nappes correspondantes peu développées mais pouvant présenter quelques possibilités.

Autres zones

D'autres zones du Mali présentent des ressources en eau, discontinues et limitées, mais exploitables par forages à main. Par exemple, en bordure sud de la falaise de Bandiagara et dans quelques dépressions de remplissage sableux du Gourma.

Enfin, le secteur au sud de Bamako, en direction de Bougouni et de la frontière avec la Côte d'Ivoire, qui correspond aux formations granitiques du socle précambrien, pourrait, dans sa frange d'altération latéritique, présenter des ressources en eau exploitables avec les mêmes méthodes de forage à main que celles qui sont utilisées avec succès, dans des formations comparables, au Burkina Faso.

■ Burkina Faso

La plus grande partie du substrat géologique du Burkina Faso est constitué de roches granitiques ou métamorphiques du socle cristallin ancien. Ces roches fissurées et altérées (altération latéritique) sont presque partout aquifères. La nappe se situe à la fois dans la partie meuble de l'altération (aquifère plus ou moins continu) et dans la partie à fissures ouvertes du substrat rocheux dur (aquifère discontinu). Ces ressources en eau sont exploitables par forage manuel uniquement dans certaines conditions particulières :

- profondeur de la limite entre les formations d'altération meubles et les roches dures pas trop importante : profondeur limite 40 à 50 mètres ;

- épaisseur de la tranche aquifère à l'étiage : au moins 10 mètres, de préférence contenue dans la partie la plus perméable de l'altération (zone d'arène) ;

- profondeur maximum de la nappe phréatique : 30 à 35 mètres.

Ces conditions ne sont pas partout réunies. La surface piézométrique peut rester dans la roche dure fissurée. L'altération est parfois très argileuse et donc peu productrice.

Au Burkina Faso, l'ensemble du territoire bénéficie de cartes hydrogéologiques au 1/500 000^e (projet Bilan d'eau). Précises, ces cartes permettent de délimiter les zones théoriquement favorables aux puits modernes et donc aussi aux forages manuels qui peuvent être mis en oeuvre dans des zones de mêmes caractéristiques. Ces cartes ne sont pas d'une lecture facile. Elles s'adressent principalement à des spécialistes et des techniciens avertis.

Des variations de détail, très locales, peuvent ne pas apparaître à cette échelle et entraîner des échecs, si bien que l'existence de ces cartes constitue un guide mais ne supprime pas totalement la reconnaissance hydrogéologique préalable à l'implantation de nouveaux points d'eau.

Dans les grandes lignes, un ensemble favorable et relativement "facile" pour l'implantation et la réalisation de forages à main se dégage de l'examen de la carte au 1/500 000^e. Dans cette zone, la profondeur de la surface de la nappe ou de la surface piézométrique serait rarement supérieure à 20 mètres. Elle correspond à la partie sud-ouest, centre-ouest et nord-ouest du Burkina Faso (zone du socle cristallin).

- ♦ La région Sud-Ouest favorable s'étend entre la rivière Mouhoun (dans la section où elle coïncide avec la frontière du Ghana) et le bassin de la rivière Komoé, limite qui se prolonge au nord, au pied de la falaise de Banfora (contact socle-couverture sédimentaire gréseuse).

Annexe 2

♦ Dans la région centrale de l'Ouest, la zone favorable s'étend depuis la rivière Sissili au nord de la frontière avec le Ghana. La limite se prolonge vers le nord en passant à une trentaine de kilomètres à l'est de Koudougou et à une vingtaine de kilomètres à l'est de Yako. Dans cette partie centrale, la limite ouest de l'ensemble "facile" correspond au contact socle/grès qui passe à une vingtaine de kilomètres à l'est de Bobo Dioulasso, puis se dirige vers le nord-est en suivant les branches des rivières Grand Balé et Karouko, orientées de la même façon, passe à 20 kilomètres à l'est de Dedougou, puis à 10 kilomètres à l'est de Tougan.

♦ Dans la région Nord-Est, la largeur de la partie "facile" se réduit. La limite est de la zone passe depuis l'est de Yako vers Séguénéga, puis vient rejoindre la limite ouest pour se terminer en arrondi au sud-ouest de Djibo (25 kilomètres environ). La limite ouest de la zone se prolonge, à partir de l'est de Tougan, en direction nord-nord-est pour passer à une vingtaine de kilomètres au nord-ouest de Ouahigouya et rencontrer la limite est au sud-ouest de Djibo.

Cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas des îlots favorables répartis un peu partout sur le territoire. Les cartes en signalent dans le Liptako, vers Koutougou, Sikiré, Nord-Oursi, Sud-Gorom-Gorom. Elles signalent aussi que la nappe remonte au niveau des cours d'eau Béli et Gourouol. Plus au sud, un îlot "facile" existerait entre Zorgho et Koupela.

Les grès très durs, bien que fissurés, qui occupent l'ouest du pays, au-delà de la falaise de Bonfora et de Bobo Dioulasso, ne permettent pas de réaliser des forages manuels.

En limite nord-ouest du pays, le long de la frontière avec le Mali, apparaissent des formations du Continental Terminal (sables et grès plus ou moins argileux) où existe une nappe continue, de profondeur éventuellement accessible.

De même, au sud-est, des formations sédimentaires anciennes, notamment à proximité du lac Pama et de la frontière avec le Bénin, présentent une nappe phréatique à faible profondeur. Ces mêmes aquifères se retrouvent au Togo où ils font l'objet de captages par forages manuels.

Les cours d'eau du Burkina Faso ont des pentes très faibles et, de ce fait, ne présentent que peu de zones favorables aux captages d'éventuelles nappes alluviales. Lorsque les dépôts alluvionnaires existent, ils sont limoneux ou argilo-sableux. Quelques zones favorables sont cependant signalées dans la zone du bassin du Mouhoun, correspondant aux formations gréseuses, à l'ouest de Bobo Dioulasso. Au sud et au sud-est du pays, les rivières Sissili et Pendjari présenteraient des dépôts alluviaux plus grossiers.

Le Burkina Faso possède de très nombreux barrages artificiels. Les eaux de ces retenues s'infiltrant en entraînant sur leur pourtour la présence d'eaux souterraines éventuellement récupérables par puits et forages manuels, en vue de la création de points d'eau potable ou pour la petite irrigation (maraîchage).

En ce qui concerne les quelques retenues naturelles, leur plan d'eau libre étant en principe en équilibre avec la nappe phréatique, celle-ci devrait pouvoir être facilement atteinte sur le pourtour, éventuellement par forages manuels.

■ Togo

Des ateliers de forages manuels ont fonctionné, avec satisfaction semble-t-il, dans la zone de Notsé, dans la partie sud du pays (région des plateaux).

Ces ateliers ont permis d'exploiter une partie de la nappe de la frange altérée du socle cristallin (altérites). Le procédé employé, dénommé "Canadien", est assez particulier puisque toutes les opérations, y compris le battage (carottier, soupape, trépan), sont faites au moyen de tiges et non de câbles.

Le principe de forages à main est envisagé pour un programme de points d'eau dans la région des savanes.

Dans ce secteur, le substrat géologique est différent. Il s'agit de formations sédimentaires

Annexe 2

anciennes, essentiellement des grès et des schistes plus ou moins argileux.

Dans ce type de terrains (certains niveaux de grès représentant en particulier le type d'aquifère le plus favorable), la perforation demande une fréquente utilisation du battage au trépan. Il faut réaliser des ouvrages assez profonds pour capter la nappe, peu productive, sur sa plus grande épaisseur. Pour être efficace, la méthode doit faire appel à la motorisation des opérations de battage. Le projet n'a pas été développé, mais reste sans doute valable, moyennant une motorisation partielle des ateliers.

■ Niger

Les conditions les plus favorables pour le captage des ressources en eau souterraine sont rassemblées dans un certain nombre de vallées fossiles, sans écoulement de surface, où l'aquifère est constitué d'alluvions sableuses peu argileuses, de granulométrie moyenne, parfois grossière. La surface de la nappe souterraine est située à quelques mètres de profondeur. La hauteur mouillée peut atteindre 10 mètres et plus. Les débits prélevables sont importants. L'utilisation de pompes de surface est généralement possible. Les forages sont réalisés au moyen d'équipements à motricité humaine très simples.

Dans le sens de la longueur, l'ensemble de ces vallées ne présentent pas partout ces conditions favorables. Celles-ci sont limitées à un certain nombre de biefs qui peuvent toutefois s'étendre sur de grandes distances (plusieurs dizaines de kilomètres).

Les vallées fossiles très favorables ne se rencontrent que dans la partie sud du pays, au nord de la frontière avec le Nigeria. Ces vallées portent de nom de "dallol" lorsqu'elles sont orientées nord-sud et aboutissent au fleuve Niger. Elles sont appelées "goulbi" lorsqu'il s'agit de vallées plus ou moins en arc de cercle, ayant leur origine au Nigeria et y retournant après un parcours

d'abord orienté vers le nord, puis vers l'ouest et enfin vers le sud.

D'ouest en est, on rencontre :

- le dallol Bosso entre Niamey et Dosso. La zone la plus intéressante s'étend depuis Bonkougou au nord, jusqu'en aval de Birni-Ngaouré au sud (120 x 10 km) ;

- le dallol Maouri entre Dosso et la frontière avec le Nigeria. Sur 200 km, à partir de son confluent avec le fleuve Niger (en comptant du sud au nord) et sur une largeur moyenne de 8 km ;

- la basse vallée de la Tarka, de part et d'autre de Madaoua, depuis Korohané jusqu'à la frontière avec le Nigeria, sur une longueur de 120 km et une largeur de 5 à 10 km ;

- le goulbi de Maradi, de part et d'autre de la localité du même nom (120 km sur 2 à 3 km de large) ;

- l'amont du goulbi N'kaba situé entre Maradi et Zinder. Le bief intéressant, axé sud-nord depuis la frontière avec le Nigeria, s'étend sur 60 km jusqu'à la localité de Konombakatchi sur une largeur de 2 à 5 km.

D'autres zones d'alluvions exploitables, anciennes ou contemporaines, peuvent se rencontrer localement, notamment dans le Liptako.

Le fleuve Niger coule sur un substrat rocheux et ne présente pas de berges alluviales étendues.

Le projet PNUD/DTCD du ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement a dressé une carte d'exploitabilité de la nappe la moins profonde.

Les zones où l'accessibilité de la nappe est indiquée comme très facile, c'est-à-dire où la profondeur des ouvrages ne dépasserait pas 30 mètres pour une profondeur de niveau de l'eau de 20 mètres, conviennent aux captages par des forages manuels.

Ces zones se délimitent d'est en ouest comme décrit ci-après :

Annexe 2

- ♦ au nord de Niamey et jusqu'à la frontière avec le Mali, deux îlots, l'un s'étendant jusqu'à Ouallam (30 kilomètres de largeur), l'autre immédiatement au sud de la frontière (85 X 45 km), axé sur la localité de Tiloa ;

- ♦ entre Niamey et la partie de la frontière avec le Nigeria orientée sud-nord (limitée au sud par le fleuve Niger) :

- le dallol Dosso et ses abords depuis le fleuve au sud jusqu'au niveau de Baleyara au nord ;

- la partie aval des dallols Foga et Maouri, zone ayant la forme d'un triangle effilé vers le nord, dont la limite sud est le fleuve, et la limite est la frontière orientée nord-sud avec le Nigeria, qui se termine en pointe au niveau de Dioundiou ;

- une petite zone allongée sur une quarantaine de kilomètres au sud de la localité de Dondoutchi, qui correspond au bief amont du dallol Maouri.

Dans les zones décrites ci-dessus, l'aquifère est constitué par le Continental Terminal (argiles sableuses, sables, latérites) ou par des alluvions sableuses quaternaires. Les moindres profondeurs de la surface de la nappe se situent dans les bas-fonds et vallées sèches ou temporaires, qui découpent cette zone de plateaux.

- ♦ Plus à l'est, mais toujours dans la partie sud du pays, en longeant la frontière avec le Nigeria, on trouve :

- une zone de forme grossièrement rectangulaire de 40 kilomètres de largeur sur une centaine de kilomètres de longueur. Le petit côté s'appuie au sud sur la frontière, avec la localité de Malbaza au milieu, et s'étend au nord jusqu'au niveau de Keita. L'aquifère correspondrait dans l'ouest de cette zone au Continental Terminal et dans l'est au Crétacé supérieur marin ;

- entre Zinder au nord et la frontière au sud s'étend la zone des Koramas, sur plus de 200 kilomètres de longueur, pour une largeur d'une cinquantaine de kilomètres. Correspondant à des dépôts alluviaux du Quaternaire ancien, la nappe des Koramas est contenue dans un aquifère à granulométrie parfois très fine, ce qui nécessite une adaptation méticuleuse du captage

aux conditions du terrain (en particulier, un massif de gravier est nécessaire) ;

- enfin une très vaste zone s'étend au-delà des Koramas. De forme approximativement rectangulaire, avec un côté sud appuyé à la frontière avec le Nigeria (sur 350 kilomètres) et un côté est limité par la frontière avec le Tchad sur une distance de 300 à 400 kilomètres. Cette zone correspond à une partie de la nappe du lac Tchad. Formé de dépôts fluvio-lacustres plioquaternaires, l'aquifère est sablo-argileux. Des niveaux à granulométrie très fine existent là aussi. La facilité d'accès est interrompue par un vaste îlot à surface piézométrique déprimée en forme de poire, qui est composé au nord des localités de Maine Soroa et Diffa et se termine à plus de 200 kilomètres au nord (au-delà de la localité de Nguigmi). Au sud, les abords de la vallée de Komadougou sont considérés comme partout favorables aux captages peu profonds.

■ Nigeria

Les Etats du Nord Sokoto, Katsina, Kano, Bauchi (zone d'Azaré) sont le siège d'une intense activité d'exploitation des ressources en eaux souterraines contenues à faible profondeur dans des formations alluviales sableuses au moyen de forages à faibles coûts.

Ces dépôts alluvionnaires peuvent correspondre aux parties amont ou aval des goulbis signalés et exploités au Niger. Ils peuvent aussi en être totalement indépendants.

Le captage des eaux souterraines, dont la surface se situe de 2 à 6 mètres de profondeur, est réalisé au moyen de forages manuels (tarière, battage d'une soupape à sable) ou de forages partiellement mécanisés (forage au jet dit lançage, ou washbore en terminologie anglaise).

Les vallées favorables sont les suivantes (d'ouest en est) :

- la vallée de la rivière Sokoto ou Rima (écoulement temporaire ou discontinu) aboutit en

Annexe 2

aval au fleuve Niger. En amont, ses branches font suite respectivement à la vallée de la Tarka et au goulbi Nbaka au Niger ;

– dans le secteur de Katsina, ce sont les parties amont des goulbis de Maradi et du goulbi de Nbaka qui sont exploitées ;

– entre la frontière avec le Niger et les localités de Azaré et Potiskum, il existe toute une série de vallées orientées ouest-est. Ces vallées aboutissent à la vallée de Komadougou qui se jette dans le bassin du Tchad. Elles sont le lieu de captages d'eau pour l'irrigation privée, grâce à une multitude de petits forages à faible coût. Ceux-ci se situent en général en zone alluviale. Cette zone correspond aussi à l'aquifère généralisé du lac Tchad (formations argilo-sableuses plioquaternaires). Les vallées jouent sans doute le rôle de drains et permettent d'atteindre la surface des eaux souterraines à faible profondeur.

■ Tchad

Le territoire du Tchad recèle sur une très vaste zone un aquifère généralisé qui correspond aux dépôts fluviolacustres du lac Tchad plioquaternaire.

La nappe, souvent à faible profondeur (10 à 35 mètres), est contenue dans des formations argilo-sableuses souvent hétérogènes. La présence de niveaux de sables fins ou très fins peut rendre les captages délicats. Leur équipement devra être adapté aux conditions de terrain pour être satisfaisant et devra comporter notamment un massif de gravier autour des crépines.

Cette zone centrée sur le lac, en arc de cercle autour de celui-ci, s'étend au sud jusqu'au niveau de Bongor, à l'est jusqu'à Moussouro. Au nord et au nord-est du lac, la nappe se situe à des profondeurs de l'ordre de 20 mètres sur 100 à 150 kilomètres.

Dans le sud-est du pays, la nappe est en relation directe avec les cours d'eau Logone, Chari, Salamat et leurs multiples branches. A proximité

immédiate de ces cours d'eau, les eaux souterraines sont accessibles à faible profondeur, dans des formations alluvionnaires, mais la surface des eaux souterraines s'approfondit très rapidement dans les interfluves (présence de dépressions fermées dans les formations du Continental Terminal).

Au nord-est de la zone ci-dessus, des formations éoliennes recouvrent l'ensemble du Kanem. Là aussi existe une nappe généralisée qui peut être facilement atteinte dans les dépressions interdunaires (niveau statique de 3 à 5 mètres de profondeur dans les ouaddis du Kanem). Cependant, la présence d'eau saumâtre n'est pas exclue.

■ Cameroun

Dans l'extrême nord, on retrouve, en bordure du lac Tchad, les mêmes conditions que dans les pays voisins (Nigeria et Tchad). Une nappe généralisée se situe à faible profondeur (accessible par forages à main) dans les formations fluviolacustres du plioquaternaire.

Ces formations se poursuivent dans la plaine inondable du Logone, au nord de Yagoua, avec des zones sablo-argileuses propices, mais aussi un intense alluvionnement (la nappe a une profondeur de 10 à 20 mètres, elle s'étend sur une largeur de 20 à 30 kilomètres).

Dans ces zones inondables, des nappes superficielles correspondent à des cordons sableux en rapport avec d'anciens lits de cours d'eau quaternaires (Tiayos). Ces nappes facilement accessibles et productives surmontent une série alluvionnaire parfois stérile (en fait il y a superposition de deux nappes séparées par un niveau semi-imperméable).

Dans le secteur de Yagoua plus au sud, la profondeur de la surface de la nappe est assez souvent inférieure à une dizaine de mètres à proximité du Logone. Elle s'approfondit vers l'ouest (20 à 30 mètres) dans les formations du

Annexe 2

Continental Terminal, avec quelques dépressions piézométriques, où la nappe est inaccessible, et des biseaux secs. En bordure des reliefs du socle granito-gneissique (secteur Sud et Nord de

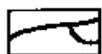
Maroua), les eaux souterraines devraient pouvoir se rencontrer à faible profondeur, dans des couloirs alluviaux et des formations détritiques de piémont.

Cartes au 1/5 000 000^e des formations géologiques pouvant contenir des nappes exploitables par forages à faibles coûts

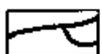
Légende des cartes des pages 89 à 91



Plaine alluviale des grands cours d'eau, à écoulement permanent : sables, limons, argiles avec nappe généralisée.



Alluvions le long de cours d'eau ou de section de cours d'eau à écoulement permanent : sables, graviers avec nappes permanentes, d'importance variable suivant le développement des alluvions.



Alluvions de bas-fonds ou vallées fossiles ou vallées à écoulement de courte durée : limons, sables, passées argileuses avec nappes permanentes, continues dans les zones non argileuses.



Sables et dunes du quaternaire récent et actuel :
– soit formations côtières avec nappe généralisée accessible près du rivage et dans les dépressions interdunaires ;
– soit formations continentales avec nappe, en principe généralisée, accessible à partir des bas-fonds interdunaires.



Sables quaternaires d'origine non précisée, de granulométrie fine à très fine (nappe des Koromas, planche p. 85)



Dépôts fluviolacustres plioquaternaires : sables, argiles sableuses, argiles, avec nappe généralisée.



Formations continentales néogène ou néogène et quaternaire inférieur (Continental Terminal). Sables plus ou moins argileux, grès peu consolidés, argiles plus ou moins sableuses. Croûtes ferrallitiques indurées avec nappe généralisée.



Altérites latéritiques du socle cristallin avec nappe plus ou moins généralisée :



– exploitabilité variable ou aléatoire ;



– zone où la nappe est en principe partout exploitable.



Faciès sableux avec lentilles d'eau douce dans un ensemble aquifère salé.



Cours d'eau ou section de cours d'eau sans alluvions exploitables (alluvions salées ou argileuses ou absentes).



Villes, localités de repérage.

Planche 1 : Mauritanie Sénégal

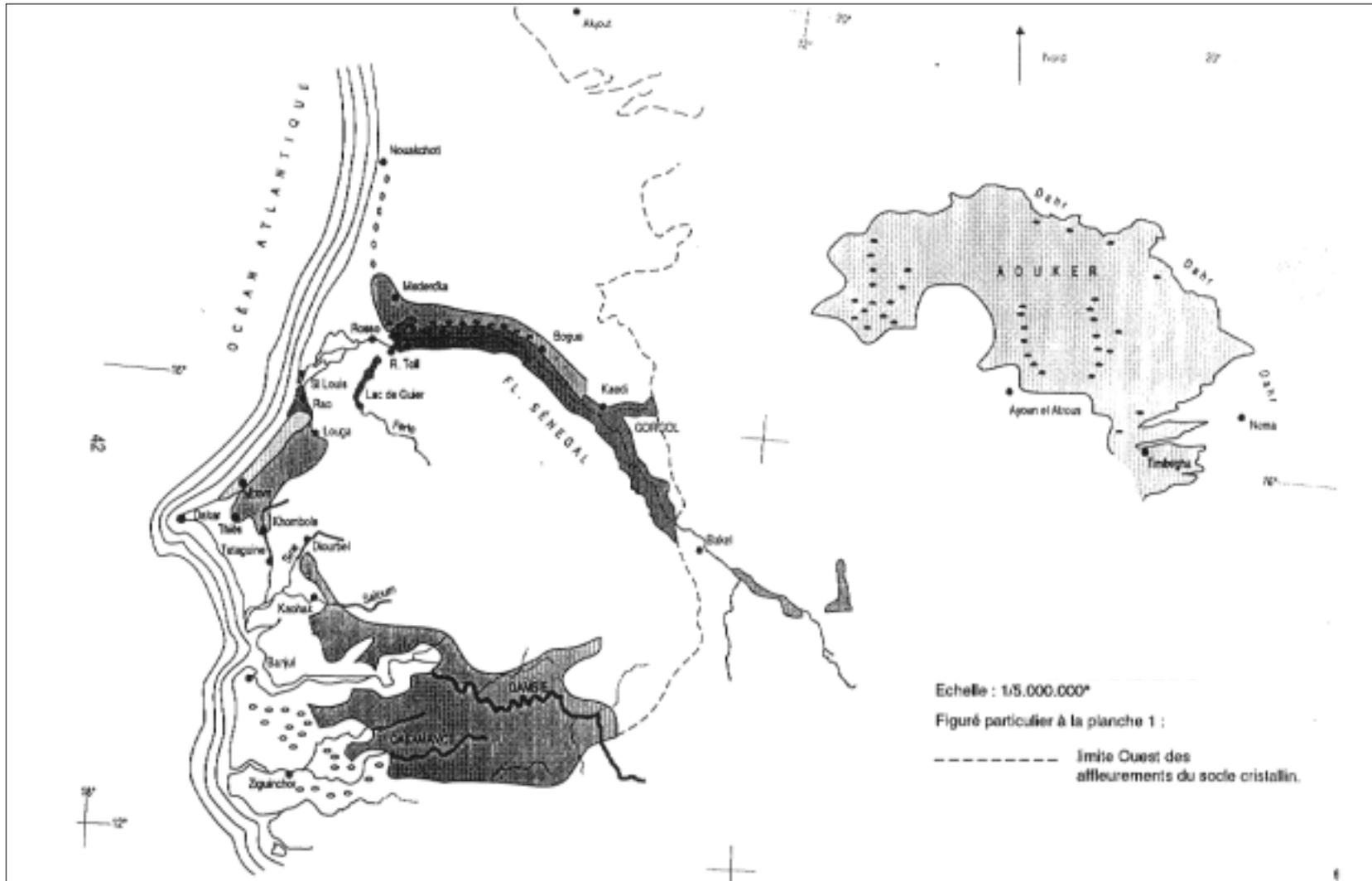
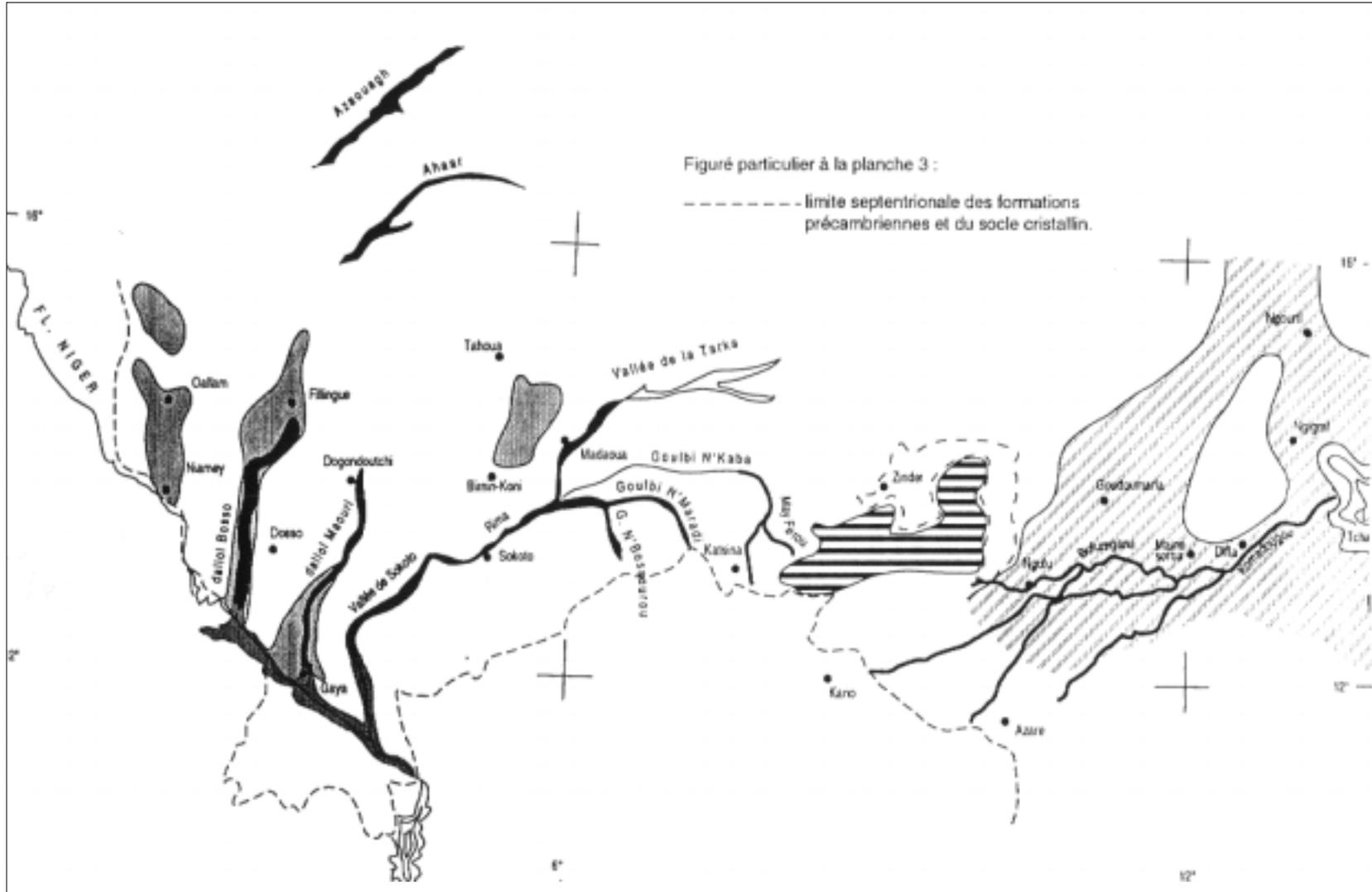


Planche 3 : milieu géologique au Niger et au Nigeria



Possibilités de diversifier l'utilisation du matériel, des ateliers et des équipes de forages à faibles coûts

La reconnaissance géologique

Le même matériel que celui qui est utilisé pour les forages d'exploitation ou, suivant le cas, un matériel simplifié, allégé ou de moindre capacité (travaillant par exemple en diamètre plus réduit), peut être utilisé pour la reconnaissance hydrogéologique.

Cette reconnaissance est souvent souhaitable, et même indispensable, dans un certain nombre de cas, pour l'implantation judicieuse des puits et forages définitifs.

Elle porte sur les caractéristiques du ou des aquifère(s) que l'on se propose de capter (nature des terrains, granulométrie), la délimitation de leur extension, leur épaisseur, la profondeur des eaux souterraines, la qualité de l'eau, la minéralisation dans les zones à risque d'eau salée.

Autres utilisations sans relations avec l'exploitation des eaux souterraines

Etudes des sols :

– pour définir leurs caractéristiques dans le cadre de programmes agricoles ;

– pour définir leurs caractéristiques dans le cadre de travaux de construction (bâtiments, ouvrages de génie civil, barrages, etc.).

Etudes des sols des bas fonds

Dans le cadre de l'aménagement des bas-fonds et de la création de mares artificielles ou de l'augmentation de leur capacité de retenue. Dans ce dernier cas, il est en effet indispensable de connaître l'extension et l'épaisseur de la couche argileuse qui en colmate le fond.

Recherche de matériaux

Pour la petite industrie, par exemple l'argile pour les briqueteries, les poteries, etc.

Indices miniers

Recherche ou étude des indices miniers, en particulier prospection des alluvions susceptibles d'être minéralisés (recherche de minéraux lourds tels que l'or, la cassitérite, l'ilménite, etc.).

Bibliographie

Documents sur les techniques de forages

Forage manuel de puits tuyau en PVC pour le maraîchage. Jonathan Naugle, septembre 1991. LWR (Lutheran World Relief), BP 11624 Niamey, Niger.

Forages manuels à faible profondeur. 7^e programme de microréalisations FED. Khombole, département de Thiès, Sénégal, 1992. Rapport de l'AFVP, SEN 84 063 ou SDO SEN 995.

Hand Drilled Wells. Bob Blankwaard, 1984. Publié par Rwegarurila Water Resources Institute, PO Box 35039, Dar es-Salaam, Tanzanie. "A Manual on Siting, Design, Construction and Maintenance".

Wells Construction. Hand Dug and Hand Drilled. Richard E. Brush, 1980. Publié par Peace Corps, Information Collection and Exchange, 806 Connecticut Avenue, N.W. Washington D.C. 20525.

Self Help Wells. R.G. Koegel, 1977. Publié par la FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie.

Documents généraux complémentaires

Eaux et terres en fuite. J.L. Chleq et H. Dupriez, 1984. Publié par l'Harmattan, 7 rue de l'Ecole Polytechnique 75005 Paris, France, ainsi que par ENDA, BP 3370 Dakar, Sénégal.

Les eaux souterraines de l'Afrique Occidentale. J. Archambault, 1960.

Entrepreneurs puisatiers du Sahel. T. Debris et P. Collignon, 1993. Publié par l'AFVP (Association française des volontaires du progrès).

Cartes

Cartes de planification des ressources en eaux souterraines des Etats membres du CIEH de l'Afrique soudano-sahélienne, CIEH/BRGM, 1976, échelle : 1/5 000 000^e.

Carte géologique internationale de l'Afrique au 1/5 000 000^e, feuilles 1 et 2, 1986, Unesco.

Fabricants de matériels de forage : quelques adresses

En France

Sté Bonne Espérance

11, rue Griès 67240 Bischwiller
Tél : 88 09 82 00. Fax : 88 53 90 19.

Domine

15, rue Emile Zola 86530 Naintre
Tél : 49 93 76 00. Fax : 49 90 03 33.

Silex International

BP 141 - 95022 Cergy Pontoise cedex
Tél : (1) 30 75 21 22. Fax : (1) 30 75 29 20.

La Matériel de sondage

24, place Charles Fillion 75017 Paris
Tél : (1) 46 27 36 35. Fax : (1) 46 27 49 08.

Stenuick France

34, rue Chatelliers 45028 Orléans cedex
Tél : 38 86 50 46.

Drill France

4, rue Minon 33700 Merignac
Tél : 56 34 39 06. Fax : 56 55 99 96.

Aguila Mécanique

Malleprat 33650 Martillac
Tél : 56 72 64 94. Fax : 56 72 64 17.

Johnson Filtration systems

ZI 86530 Availles-en-Chatellerault
Tél : 49 02 16 00. Fax : 49 02 16 16.

Tubafor

425, rue Martinoire 59150 Wattrelos
Tél : 20 26 24 32. Fax : 20 27 27 92.

Charente Plastique

Hérisson 17380 Tonnay Boutonne
Tél : 46 59 70 36. Fax : 46 59 70 31.

En Afrique

◆ Niger

Ardetec

Tubage métal
N'Dounga, Niamey

Proformar (Pnud-Bit)

Matériel de perforation, tarières, tiges, etc.) pour
forages de type LWR
BP 11 207 et 11 388 Niamey
Tél : (227) 723005.

LWR (Lutheran World Relief)

Matériel pour forage maraîcher, puisette en
tuyau PVC
BP 11 624, Niamey

◆ Burkina Faso

Atesta

(ex-CEAS : Centre écologique Albert Schweitzer)
Matériel de perforation de type LWR pour maraî-
chage, Proximité route de Bobo, Ouagadougou
Ouagadougou (Burkina Faso)
Tél : (226) 55 02 22 (base de Sequénéga).

◆ Sénégal

Sismar

Filetage et modification de tubage de récupéra-
tion, Pout
Tél : 51 1292 / 51 1396.

Organismes ressources

En France

Jean Marchal

46, rue de la République
83340 Flassans-sur-Issole
Tél : 04 94 59 62 07.

Etienne Lefort

14, allée Morava, villa Esquina
33970 LEGE Cap Ferret
Tél : 05 56 60 67 07.

Institut de géodynamique

Avenue des Facultés 33405 Talence cedex
Tél : 05 56 84 80 77. Fax : 05 56 84 82 21.

ECTI (M. Aberlen)

7, rue de Madrid 75008 Paris
Tél : 01 53 42 37 10. Fax : 01 42 93 95 21.

AFVP (Association française des volontaires du progrès)

SDO, BP 207 Monthléry cedex
Tél : 69 01 10 95.

En Afrique

LWR (Lutheran World Relief)

Diffuse une brochure sur le forage manuel
de puits tuyau en PVC pour le maraîchage
(rédaction Jonathan Naugle)
BP 11 624 Niamey (Niger).

Génie rural à Madaoua et projet basse vallée de la Tarka, programme de petite irrigation

BP 42 Madaoua (Niger)
Tél : 61 0053.

Proformar (Paolo Giglio)

Formation des artisans
BP 11 207 Niamey (Niger).

Atesta

(ex-CEAS : Centre écologique A. Schweitzer)
Technique de forage dans les altérites du socle
cristallin, proximité route de Bobo,
Ouagadougou (Burkina Faso)
Tél : (226) 55 02 22 (base de Sequénéga).

Gary

Base à Titao, province du Yatenga
BP 274 Ouahigouya (Burkina Faso)
Tél : (226) 55 20 36.

AFVP Sénégal (programme FED-UE)

Coordination nationale de microprojets
à Dakar, tél : 22 96 15
Marc Vanderlinden, à Thiès, tél : 51 32 77.

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA)

Le Centre technique de coopération agricole et rurale a été fondé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats membres de l'Union européenne et les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique).

Le CTA a pour mission de développer et de fournir des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural, et de renforcer les capacités de ces pays à produire, acquérir, échanger et exploiter l'information dans ce domaine. Les programmes du CTA sont articulés sur trois axes principaux : le renforcement des capacités des pays ACP en information, l'encouragement des échanges entre les partenaires du Centre, et la fourniture d'informations sur demande.

Adresse postale :

CTA, Postbus 380

6700 AJ Wageningen (Pays-Bas)