



Exploitation des eaux souterraines

Concepts de base pour l'élargissement des Programmes d'hydraulique du CRS

Vincent W. Uhl, Jaclyn A. Baron, William W. Davis,
Dennis B. Warner et Christopher C. Seremet

Juillet 2009

QUALITÉ DU PROGRAMME | EAU ET ASSAINISSEMENT

 CATHOLIC RELIEF SERVICES

Exploitation des eaux souterraines

Concepts de base pour l'élargissement des Programmes
d'hydraulique du CRS

Vincent W. Uhl, Jaclyn A. Baron, William W. Davis,
Dennis B. Warner et Christopher C. Seremet

Juillet 2009



Depuis 1943, le Secours Catholique des États-Unis (CRS) a le privilège de servir les populations pauvres et défavorisées à l'étranger. Sans considération de race, de religion ou de nationalité, le CRS assure une aide d'urgence après les catastrophes naturelles et celles provoquées par l'homme. Par le biais de projets de développement dans les domaines de l'éducation, la paix, la justice, l'agriculture, la microfinance, la santé, le VIH/SIDA, le CRS œuvre à préserver la dignité humaine et à promouvoir de meilleures conditions de vie. Le CRS travaille aussi partout aux États-Unis en vue d'améliorer les connaissances et les actions des Catholiques et d'autres personnes qui s'intéressent aux questions de paix et de justice dans le monde. Nos programmes et nos ressources sont un reflet des appels lancés par les Évêques des États-Unis à vivre dans la solidarité comme une seule famille par delà les frontières, les océans, et les différences linguistiques, culturelles et économiques.

Catholic Relief Services (Secours Catholique)

228 West Lexington Street

Baltimore, MD 21201-3413 USA

Auteurs:

Vincent W. Uhl - Hydrogéologue principal; Uhl, Baron, Rana & Associates, Inc.

Jaclyn A. Baron - Ingénieur principal; Uhl, Baron, Rana & Associates, Inc.

William W. Davis - Consultant

Dennis B. Warner – Conseiller technique principal; Secours Catholique

Christopher C. Seremet – Conseiller technique; Secours Catholique

Conception graphique : Ephra Graham.

Photo de couverture : Andrew McConnell pour CRS.

© Copyright 2009 Catholic Relief Services— Conférence des Évêques des États-Unis.

Publié en 2009. Télécharger cette publication et le matériel annexe sur le site :

www.crsprogramquality.org.

TABLE DES MATIÈRES

Introductionv

Première partie Principes fondamentaux des eaux souterraines.....	1
1.1 Eaux souterraines : concepts de base	1
1.2 Les eaux souterraines comme ressource renouvelable	1
1.3 Avantages des eaux souterraines	2
1.4 Usages des eaux souterraines	4
1.5 Qualité des eaux souterraines	5
Deuxième partie : Puits et forages	10
2.1 Choix de l'emplacement des puits	15
2.2 Construction et protection des puits	19
2.3 Pompes et sources d'énergie	30
Troisième partie : Planification des eaux souterraines	49
3.1 Planification de l'exploitation des eaux souterraines	49
Annexes	55
Annexe A Glossaire de termes techniques.....	56
Annexe B Bibliographie et références proposées.....	59
Annexe C Principes fondamentaux des eaux souterraines	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Contaminants courants des eaux souterraines	13
Tableau 2. Niveau de service et quantité d'eau recueillie	16
Tableau 3. Tableau simplifié des besoins élémentaires en eau pour la survie	17
Tableau 4. Sommaire de la pertinence des technologies de construction de puits	27
Tableau 5. Sélection des méthodes de forage pour différents types de sols	28
Tableau 6. Comparaison des pompes	41
Tableau 7. Comparaison des sources d'énergie	47
Tableau 8. Coûts du pompage	48
Tableau A.1. Écarts normaux de porosité, débit spécifique, et conductivité hydraulique dans les types de formation géologique	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Pompe India Mark III.	31
Figure 2: Schéma d'hydropompe Vergnet	38
Figure 2b: Schéma d'hydropompe Vergnet	39
Figure A.1: Cycle hydrologique	63
Figure A.2: Eau souterraine	65
Figure A.3: Aquifères non confinés et confinés et effets de pression	69

Liste des tableaux et figures

INTRODUCTION

En raison de l'importance grandissante de l'eau dans les domaines de la santé, de l'agriculture et de l'environnement, l'exploitation des sources d'eau souterraines joue un rôle croissant dans le succès des programmes intégrés de développement rural. L'expérience du CRS dans ce domaine et ses capacités à entreprendre l'exploitation des eaux souterraines sont souvent limitées par le manque de personnel technique. Des programmes d'exploitation des eaux souterraines ont été mis en œuvre avec succès dans certains pays; cependant, la méconnaissance des avantages potentiels de ces programmes par les cadres du CRS n'a pas favorisé le transfert de ces savoirs techniques vers d'autres régions. Là où des programmes d'exploitation des eaux souterraines ont été mis en œuvre avec succès, le transfert des connaissances techniques et des meilleures pratiques vers d'autres pays est parfois limité par une compréhension insuffisante des avantages potentiels des eaux souterraines parmi les cadres du CRS aux niveaux régional et national.

L'objectif de ce document technique est d'informer le personnel du CRS du potentiel pour l'exploitation des eaux souterraines dans les programmes de pays. Ce document n'a pas la prétention de donner des directives de design sur les programmes d'eau et d'assainissement, mais plutôt se propose de donner un aperçu général sur certains éléments essentiels au développement de ces programmes.

Ce papier explique les concepts de base du forage des eaux souterraines et des puits et montre la manière de les utiliser pour renforcer et élargir les programmes d'exploitation d'eau du CRS. Il s'adresse aux responsables des Programmes du CRS, aux représentants des pays et aux conseillers régionaux, chargés des programmes et projets d'hydraulique.

En vue d'améliorer la connaissance et la compréhension de l'exploitation des eaux souterraines, ce document technique répond aux objectifs suivants :

- Mettre en relief les usages des eaux souterraines dans les projets de développement
- Démontrer comment les eaux souterraines peuvent améliorer la santé publique, augmenter la production alimentaire, et soutenir les moyens de subsistance
- Illustrer les principes de la présence des eaux souterraines

- Exposer les technologies de base des projets d'eaux souterraines

Ce document technique se présente de la manière suivante:

Première partie : Éléments fondamentaux des eaux souterraines

- 1.1 Met en relief les principes fondamentaux de l'hydrologie des eaux souterraines
- 1.2 Expose la fragilité de l'eau souterraine en tant que ressource renouvelable
- 1.3 Identifie les avantages d'utiliser les eaux souterraines au lieu des eaux de surface
- 1.4 Énumère les nombreux usages des eaux souterraines
- 1.5 Décrit la qualité des eaux souterraines et leurs spécificités.

Deuxième partie : Puits et forages

- 2.1 Expose l'implantation des puits creusés et forages
- 2.2 Décrit la construction de puits
- 2.3 Expose les diverses pompes, sources d'énergie et moteurs

Troisième partie : Planification des eaux souterraines

- 3.1 Présente des arguments essentiels pour la planification des eaux souterraines

Annexes

PARTIE I: PRINCIPES FONDAMENTAUX DES EAUX SOUTERRAINES

1.1 Eau souterraine: éléments de Base

L'eau souterraine douce prend une myriade de formes géologiques. Celles-ci vont des vastes systèmes aquifères régionaux tels l'aquifère nubien (Afrique du Nord) et l'Ogallala (ouest du Texas, Oklahoma, Kansas et Nebraska) qui s'étendent sur des millions de kilomètres carrés, aux bassins fluviaux localisés, et petites lentilles d'eau douce qui apparaissent entre la surface et l'eau de mer sous des îles de l'Océan Pacifique. L'eau souterraine est une source majeure d'alimentation pour de nombreux villages, bourgades et villes desservant des particuliers, des utilisateurs, commerciaux, institutionnels, industriels et agricoles. L'irrigation des cultures à travers le monde utilise plus d'eau souterraine (70% ou plus) que toutes les autres applications réunies.

Les eaux souterraines se trouvent dans des formations géologiques de substratum non consolidées et consolidées. Dans les formations non consolidées composées de milieux poreux (gravier, sable, limon et argile), l'eau souterraine est stockée et se répand dans les espaces poreux entre les particules. Dans les formations à substratum, l'eau est stockée et s'écoule dans les joints, les fissures et les fractures de rochers, ce qui constitue la porosité secondaire. En règle générale, le déplacement de l'eau souterraine dans sa matrice géologique se fait lentement, à raison de quelques pouces ou pieds par jour. La rumeur faisant état de « rivières souterraines » n'est ni plus ni moins qu'un mythe dans la plupart des environnements géologiques. Toutefois, les formations calcaires karstiques peuvent présenter d'importants systèmes de cavités de dissolution qui comprennent des cavernes et des tunnels remplis d'eau.

Les aquifères à nappe libre sont des systèmes non confinés. Dans ces aquifères, la partie supérieure est constituée par la nappe où l'eau est à la pression atmosphérique. Les puits installés dans des aquifères non confinés présentent des niveaux d'eau souvent appelés nappe phréatique, ou bien haut de la zone de saturation. La nappe phréatique monte en réaction à une précipitation (événements de recharge) et retombe/baisse durant les périodes sèches. Selon la formation de l'aquifère et son emplacement

Les projets
d'exploitation des
eaux souterraines
tirent parti de
l'eau au fur et à
mesure qu'elle
se déplace dans
l'aquifère

topographique, la nappe phréatique peut fluctuer par saison de quelques pouces à des dizaines de pieds ou davantage dans des conditions naturelles.

Les aquifères se rencontrent aussi dans des conditions semi-confinées et confinées. Dans les systèmes confinés (artésiens), l'aquifère perméable est coincés entre deux couches relativement imperméables (argile ou substratum) que l'on appelle unités de confinement supérieure et inférieure. La pression de l'eau dans l'aquifère est supérieure à la pression atmosphérique et une surface analogue à celle de la nappe phréatique peut être visualisée au-dessus de l'aquifère proprement dit représentant la charge hydraulique, appelée surface piézométrique. Les puits installés dans un aquifère confiné ou artésien présentent des niveaux d'eau plus élevés que l'altitude réelle de l'aquifère et égaux à la surface piézométrique. Dans certains cas, un puits artésien apparaît lorsque la hauteur piézométrique à l'intérieur d'un aquifère artésien est telle que la surface piézométrique est plus élevée qu'au niveau du sol.

Les projets d'exploitation des eaux souterraines utilisent l'eau au fur et à mesure qu'elle se déplace dans l'aquifère. L'eau exploitée par l'homme à un endroit de l'aquifère peut être remplacée par la pluie qui tombe dans une autre région. Un aquifère « se recharge » au fur et à mesure que l'eau souterraine se renouvelle, ce qui sert de conduit naturel d'une région à une autre. Ce phénomène protège des sécheresses. Certains aquifères sont si vastes que la quantité prélevée n'a que peu d'effet sur l'eau restante. La plupart des aquifères ne sont pas si vastes toutefois, et ils peuvent se tarir par un excès de pompage et autres formes d'extraction de l'eau. Le tarissement dépend de l'équilibre entre la quantité d'eau prélevée et la quantité d'eau remplacée. La surexploitation des aquifères est parfois nommée « minage de l'eau ».

1.2 L'eau souterraine comme ressource renouvelable

L'exploitation de l'eau souterraine dans les projets du CRS permet normalement de satisfaire les besoins en eau à usage domestique, les moyens de subsistance et les cas d'urgence des petites communautés rurales. Il est donc essentiel que de tels projets apportent de l'eau souterraine en quantité et en qualité pour répondre aux besoins identifiés. Dans sa forme la plus simple et la plus immédiate, cela veut dire que l'installation de puits pour un projet doit produire la quantité et la qualité d'eau (avec ou sans traitement) de manière durable.

Pour les projets à plus grande échelle, la question essentielle de la durabilité de l'aquifère lui-même se pose à toutes les parties intéressées à cette source d'eau. Plus récemment, le rôle de l'eau souterraine dans le maintien de l'environnement et la préservation des flux des cours d'eau et zones humides en saison sèche en tant qu'habitats des utilisateurs écologiques a pris une plus grande importance.

Pour assurer la sécurité et la durabilité d'un projet d'exploitation des eaux souterraines, le critère de base est de ne pas prélever plus d'eau que la recharge de l'aquifère. La comparaison se fait généralement sur une base annuelle et tient compte de la quantité d'eau rechargée durant les années de précipitations normales. Les années de sécheresse, l'approvisionnement en eau repose parfois dans une certaine mesure sur la quantité d'eau stockée qui diminuera au fil du temps, jusqu'à ce que l'aquifère se reconstitue lors des années de précipitations normales ou supérieures à la normale. Si, sur une longue période, le volume d'eau pompée est plus élevé que la quantité rechargée, alors le niveau de l'eau dans l'aquifère baissera et les puits finiront par se tarir. Cette situation malsaine d'épuisement des aquifères, que l'on traite à juste titre de « minage de l'eau souterraine », constitue un problème croissant dans de nombreuses régions du monde. L'utilisation croissante de l'eau souterraine et l'augmentation de la demande qu'elle entraîne pour un approvisionnement en eau souterraine limité ont créé des problèmes plus complexes de partage et de répartition de systèmes d'eau souterraine durement mis à l'épreuve. Les approches de gestion intégrée des ressources en eau (IWRM) ou de gestion intégrée des bassins fluviaux (IRBM) consistent à regarder les ressources en eau souterraines et de surface des bassins hydrologiques et fluviaux comme un tout pour trouver un équilibre entre les limites de la ressource renouvelable et les besoins des utilisateurs qui se la partagent.

À l'instar de toute ressource naturelle, l'eau souterraine doit être exploitée avec prudence et gérée avec soin, en tenant compte de sa vulnérabilité et en reconnaissant ses limites. Toutefois, correctement utilisée dans des applications valides, les responsables nationaux et régionaux du CRS devraient reconnaître l'eau souterraine comme une très importante ressource, susceptible de générer de nombreuses opportunités de développement local et régional.

Pour assurer la sécurité et la durabilité d'un projet d'exploitation des eaux souterraines, le critère de base est de ne pas prélever plus d'eau que la recharge de l'aquifère.

1.3 Avantages de l'eau souterraine

L'eau souterraine présente souvent des avantages de qualité, d'accessibilité et de fiabilité par rapport à l'eau de surface.

L'eau souterraine ne renferme généralement pas de polluants microbiologiques. Au fur et à mesure que l'eau de surface s'infiltré dans les aquifères, le sol et les roches filtrent des organismes vivants, qui peuvent être une cause importante de maladies. L'eau peut être stockée pendant une durée indéterminée dans les aquifères tout en restant de bonne qualité. La qualité de l'eau de surface peut varier selon la saison et nécessiter différents processus de désinfection pour s'adapter aux variations de l'état de l'eau. L'eau de surface nécessite une surveillance plus étroite et une désinfection plus intensive que l'eau souterraine.

En raison de sa situation protégée, l'eau souterraine est moins susceptible d'être contaminée et de transmettre des maladies que l'eau de surface. Même dans les régions où l'eau de surface est abondante tous les ans, l'exploitation des sources d'eau souterraine peut s'avérer un meilleur choix pour assurer l'alimentation en eau potable.

Les aquifères sont des systèmes naturels de stockage de l'eau et, s'ils sont assez vastes, ils peuvent fournir de l'eau pendant les saisons sèches et les périodes de sécheresse, lorsque les sources d'eau sont peu fiables ou inexistantes. Toutefois, l'importance des aquifères, les quantités d'eau qu'ils peuvent recéler et la rapidité avec laquelle ils se rechargent varient. Si une trop grande quantité d'eau est prélevée trop rapidement, l'aquifère pourrait se tarir. Les essais de pompage des puits individuels sont nécessaires pour déterminer le rendement durable des puits à long terme.

Les aquifères situés proches des collectivités locales sont les sources d'eau les plus convenables. Les populations n'ont que de courtes distances à parcourir jusqu'aux puits situés dans les villes et les villages, sans avoir à marcher pour atteindre des sources d'eau de surface éloignées. Lorsque l'eau est facilement disponible, on l'utilise davantage. L'augmentation de l'usage de l'eau pour boire, se laver, faire la lessive et nettoyer la maison améliore l'hygiène et la santé. Les zones situées en dehors des villages peuvent représenter un danger pour les femmes et les enfants; ces derniers peuvent se trouver en présence de malfaiteurs en allant chercher de l'eau à des sources éloignées. Exploiter des sources d'eau souterraine à l'intérieur des villages permettrait d'éviter de tels dangers.

Dans de nombreux cas, les systèmes d'adduction d'eau souterraine coûtent moins cher à installer et à faire fonctionner que les systèmes d'eau de

En raison de sa situation protégée, l'eau souterraine est moins susceptible d'être contaminée et de transmettre des maladies que l'eau de surface.

surface, car ceux-ci nécessitent un traitement intensif. L'installation de puits et de pompes prend généralement quelques jours à quelques semaines, et inclut la formation d'agents locaux pour faire fonctionner, maintenir et réparer le système. Si par exemple le système d'adduction d'eau permet l'irrigation et favorise des rendements meilleurs de cultures, une installation graduelle peut être effectuée et les agriculteurs tireront parti à la longue du système original au fur et à mesure que leurs revenus augmentent. Ainsi, un petit projet de démarrage peut être élargi avec les bénéfices qu'il génère.

1.4 Usages de l'eau souterraine

L'utilisation de l'eau souterraine présente une large gamme d'applications, y compris l'alimentation des villages, villes et zones urbaines en eau potable ; l'alimentation des établissements institutionnels, des exploitations agricoles pour de multiples usages ; l'utilisation industrielle à petite échelle et l'adduction d'eau d'urgence pour les réfugiés. Dans le monde, de nombreuses bourgades, villes villages et collectivités locales éloignées, dépendent des eaux souterraines qui constituent leur principale source d'adduction d'eau.

L'eau souterraine est souvent la seule source disponible pour les localités éloignées des sources d'eau de surface. Le rendement d'un puits de quelques gallons à la minute (moins de 0,2 litres par seconde (lps) suffit souvent pour une petite application d'une pompe à main dans un village. Pour les petites villes et les grands centres, les rendements de puits individuels de l'ordre de dizaines et de centaines de gallons par minute (1 à 10l par seconde) sont souhaitables.

Le cadre stratégique du secteur de l'eau du CRS spécifie quatre catégories d'utilisation de l'eau.

- **L'eau pour améliorer la santé.** Favoriser la santé constitue un objectif primordial des projets d'aménagement des eaux, et animer il devrait contribuer à faire avancer tous les projets d'alimentation en eau. Il est bien reconnu que l'utilisation domestique de l'eau contribue à améliorer la santé des ménages et des communautés.
- **L'eau utilisée de manière productive pour renforcer les moyens de subsistance.** L'utilisation productive de l'eau dans l'agriculture, les petites industries, et les travaux de construction locaux, contribue à renforcer les moyens de subsistance des bénéficiaires des programmes.
- **L'eau et la protection de l'environnement pour soutenir les ressources naturelles.** Les programmes de développement

Au plan mondial, l'eau souterraine est la principale adduction d'eau pour de nombreuses grandes villes, cités, villages et collectivités isolées.

devraient contribuer à l'usage durable des ressources aquatiques dans le bassin hydrologique.

- **L'eau pendant les urgences et les catastrophes pour protéger les vies et les moyens de subsistance.** Les programmes doivent contribuer à la stabilisation et à la restauration de la santé et des moyens de subsistance des communautés fragilisées par les catastrophes naturelles ou causées par l'homme.

Exemples illustrant les catégories d'utilisation de l'eau citées plus haut :

Alimentation des villages en eau potable

L'eau souterraine peut être la plus importante source d'eau pour les collectivités. Dans beaucoup d'endroits, l'eau souterraine est la seule alternative si l'eau de surface n'est pas disponible et même si elle l'est, l'eau souterraine est souvent la meilleure option.

Parmi les avantages de l'eau souterraine :

- a. L'eau souterraine peut souvent être exploitée très près ou à l'intérieur d'un village ou d'une ville.
- b. La qualité de l'eau souterraine est souvent meilleure que celle de l'eau de surface et son traitement est généralement plus simple et moins coûteux.
- c. Les coûts d'installation du système sont généralement moins élevés pour les puits d'eau souterraine.
- d. Les délais d'installation sont nettement plus courts pour les puits d'eau souterraine.
- e. Les conditions de fonctionnement et d'entretien sont plus simples et moins coûteuses pour les systèmes de puits d'eau souterraine par rapport aux sources dérivées des eaux de surface.



Dennis Warner pour CRS

Pompe manuelle utilisée pour l'adduction d'eau souterraine dans un village de Madagascar.

Alimentation en eau des institutions, écoles hôpitaux, universités et pour la lutte contre l'incendie

Des institutions telles que les hôpitaux et les écoles, dotées de puits sur place sont indépendantes et n'ont pas besoin de compter sur des fournisseurs d'eau, sur l'eau de surface ou d'autres sources éventuelles peu fiables. Un puits qui peut fournir une alimentation en eau permanente contribue à assurer la continuité des opérations institutionnelles. En l'absence d'une source d'eau dans le voisinage, les écoles utilisent souvent les élèves pour transporter de l'eau, ce qui peut prendre beaucoup de temps et d'énergie. Si un puits environnant peut alimenter une école en eau, cela réduirait considérablement la charge que représente le transport de l'eau, le risque de contamination de l'eau serait moindre, et les élèves auraient plus de temps à consacrer à leurs études.

Les institutions utilisent leur eau à des fins variées ; ceci inclut l'eau pour la consommation, pour la cuisine, l'aménagement paysager et la petite irrigation maraîchère, les travaux ménagers, la petite industrie, et la lutte contre les incendies. Les employés des institutions peuvent utiliser l'eau du puits à des fins domestiques ou à titre d'avantages sociaux liés à leur emploi.

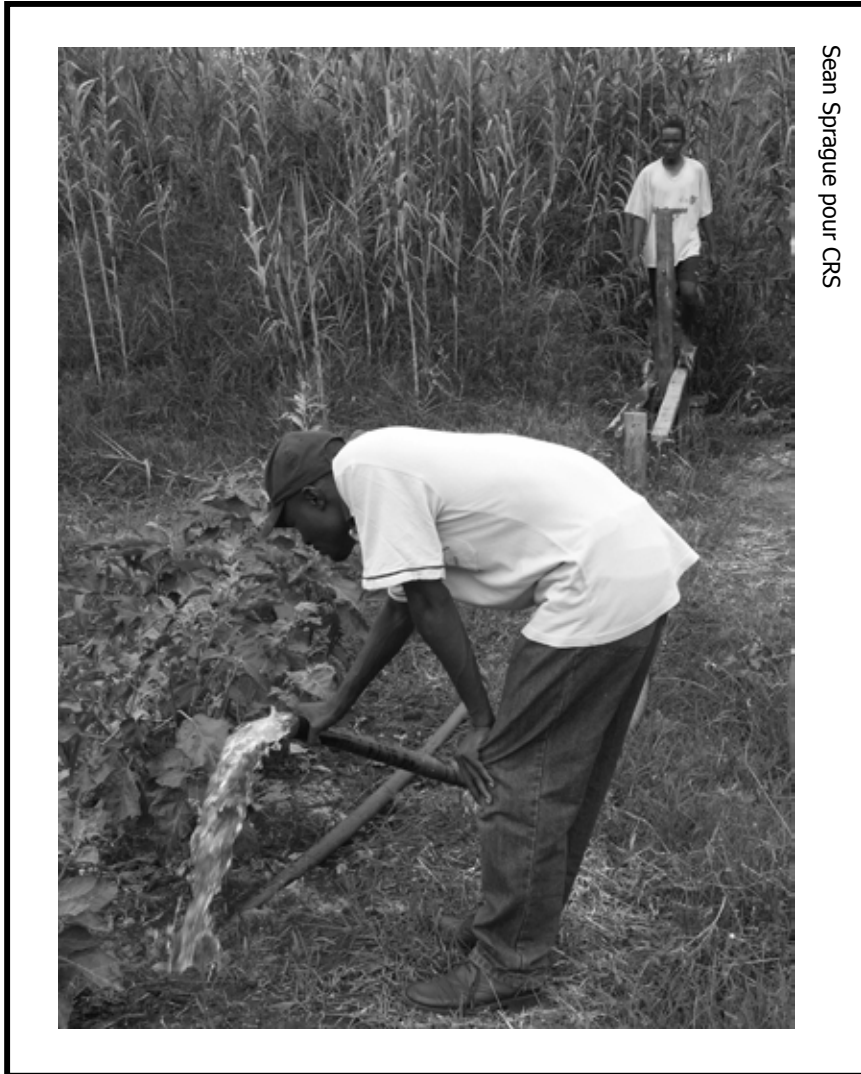


Peter Kaizer pour CRS

Pompe manuelle servant à alimenter une école en eau souterraine au Burkina Faso.

Adduction d'eau agricole pour l'irrigation / la culture

Les paysans pratiquent l'irrigation depuis plus de huit mille ans, et depuis l'avènement de la technologie de forage de puits, l'eau souterraine est devenue une importante source d'alimentation en eau pour l'irrigation. Les puits peuvent fournir de l'eau pour la petite irrigation pour les propriétaires de terrains privés de même que pour l'agriculture communautaire. L'irrigation peut aider aussi à allonger les saisons de culture, protéger contre la sécheresse, et améliorer les rendements des cultures.



Sean Sprague pour CRS

Pompe à pédales utilisée pour l'alimentation en eau souterraine d'un jardin en Zambie.

Usage industriel à petite échelle

Les industries villageoises, telles que la briqueterie, le textile, l'élevage laitier, et la transformation de produits alimentaires, requièrent toutes de l'eau. L'exploitation de l'eau souterraine peut fournir un approvisionnement en eau fiable aux entrepreneurs, ce qui contribue à assurer un rythme constant de production et générer des revenus.



Dennis Warner pour CRS

Pompe manuelle utilisée pour l'alimentation en eau dans les activités de briqueterie.

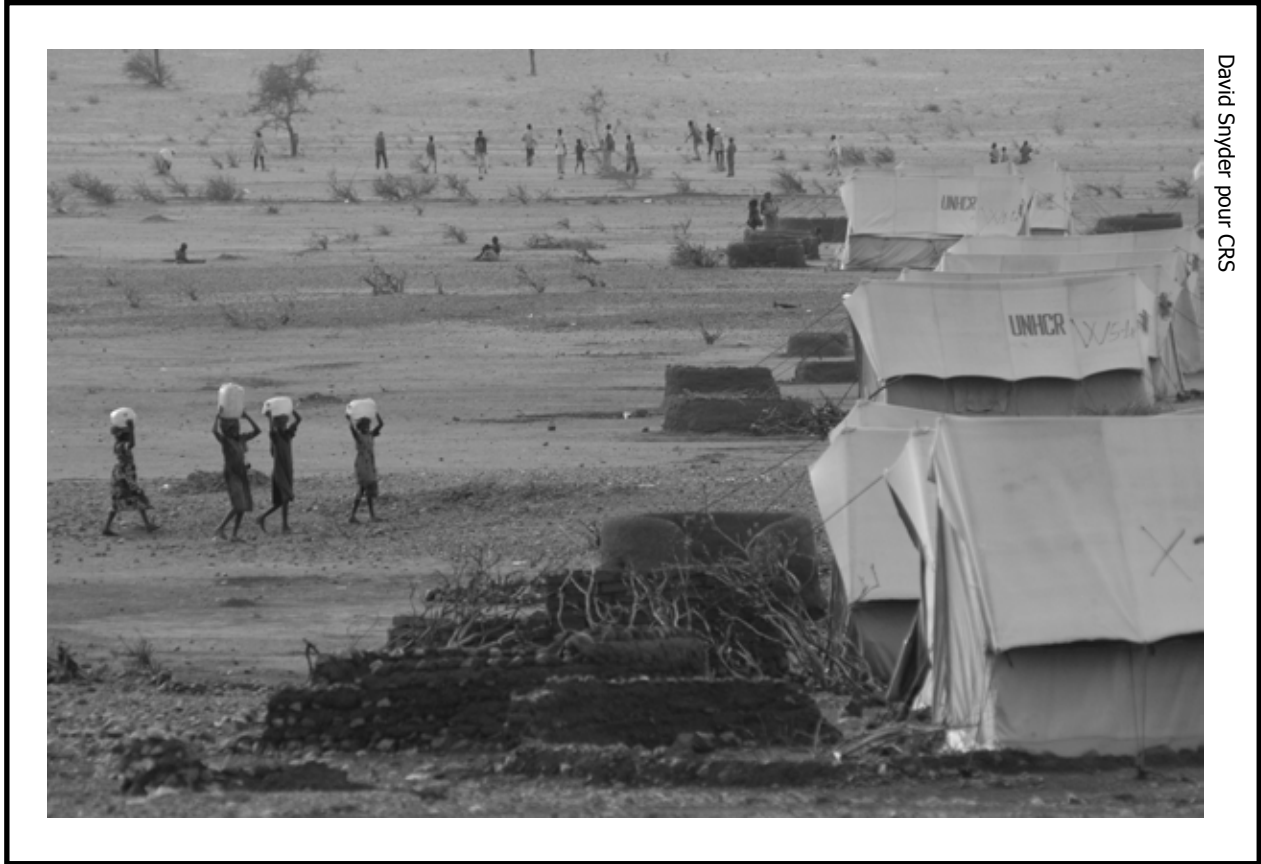
Adduction d'eau pour les réfugiés/personnes déplacées

Dans les situations d'urgence les ressources sont généralement rares et le temps pour mettre en œuvre des programmes de secours est limité. Il est courant de transporter l'eau par camion jusqu'aux camps éloignés au début d'une crise, mais cela prend du temps et coûte cher. Du fait que les systèmes d'eau souterraine peuvent être construits en peu de temps et fournir de l'eau potable sur place, ils constituent souvent une méthode préférable pour l'adduction d'eau.

1.5 Qualité de l'eau souterraine

On utilise des paramètres physiques, chimiques et microbiologiques pour mesurer la qualité de l'eau souterraine. Les paramètres physiques décrivent la couleur, la température et les quantités de matières solides en suspension dans l'eau. Les polluants chimiques peuvent provenir de dépôts naturels dans le sol ou de rejets industriels, et chaque source de polluant a des paramètres différents.

Les polluants microbiologiques proviennent pour la plupart des déchets humains et animaux, bien que quelques-uns se produisent naturellement.



David Snyder pour CRS

Les systèmes d'adduction d'eau souterraine fournissent de l'eau de bonne qualité dans un laps de temps relativement court pour ceux qui ont désespérément besoin d'eau.

Les bactéries dans l'eau de consommation humaine sont une importante cause de maladie et maintenir un système d'eau exempt de bactéries est un pas important dans la protection de la santé collective. Cette section donne une vue d'ensemble des questions relatives à la qualité de l'eau souterraine. Vous trouverez d'autres informations dans le Manuel de qualité de l'eau du CRS, qui fournit plus de détails sur l'origine scientifique des contaminants, les techniques de désinfection, les kits d'expérimentation, et la protection des sources d'eau.

Contaminants physiques et chimiques

Une vaste gamme de contaminants physiques et chimiques se trouve dans l'eau souterraine, et la plupart ne sont pas nocifs pour la santé humaine, même si quelques-uns présentent de sérieux dangers. Les contaminants physiques sont jugés d'après l'aspect, le goût, et l'odeur qu'ils donnent à l'eau. Pour l'eau de consommation, ces caractéristiques doivent être acceptables pour les consommateurs. De l'eau colorée ou trouble en raison de particules et de substances solides n'est pas toujours nuisible

Les problèmes liés au goût et à l'odeur peuvent être provoqués par les contaminants inorganiques et organiques, les sources ou les processus biologiques, la corrosion, ou le traitement de l'eau.

pour la santé mais pose parfois des problèmes d'acceptabilité pour les usagers. Les problèmes liés au goût et à l'odeur peuvent être provoqués par les contaminants inorganiques et organiques, les sources ou les processus biologiques, la corrosion, ou le traitement de l'eau.

En plus, le goût et l'odeur indiquent parfois une certaine forme de pollution. L'eau trouble présente aussi des problèmes pour la désinfection au chlore. Les bactéries se développent sur des particules suspendues, qui peuvent interférer avec la désinfection au chlore et diminuer son efficacité. L'aspect trouble peut être supprimé par différents procédés de filtrage.

Le total des solides dissouts (TDS) est la mesure d'ensemble des sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium, sodium, bicarbonates, chlorures, et sulfates) dissous dans l'eau souterraine. La concentration de TDS détermine si l'eau peut être considérée comme douce, saumâtre, ou saline. Un niveau de TDS de moins de 600 mg/litre, par exemple, est généralement acceptable pour la consommation humaine tandis que des niveaux dépassant 1000 mg/litre de TDS rendent l'eau trop saline pour être consommée normalement. Ils peuvent également provoquer des dépôts calcaires excessifs dans les tuyaux d'eau, les chauffe-eau, les chaudières, et les appareils électroménagers.

La concentration de TDS dépend du climat, de la roche hôte, et de la durée de la présence (contact) de l'eau souterraine dans la matrice géologique. Les concentrations de TDS sont généralement plus fortes dans les zones désertiques arides que dans les zones tropicales où les pluies sont abondantes. Dans les zones côtières, la salinité de l'eau souterraine peut augmenter avec la profondeur sur une distance verticale relativement courte et les puits doivent être installés avec soin à des profondeurs qui ne dépassent pas le niveau de la couche d'eau douce. L'intrusion / le jaillissement de l'eau saline sale, du fait du pompage excessif d'eau souterraine à partir d'un aquifère d'eau douce sous lequel se trouve de l'eau saline, est un problème très répandu dans de beaucoup de zones côtières.

Les produits chimiques dans l'eau souterraine proviennent généralement de dépôts minéraux souterrains, bien que le ruissellement industriel soit parfois aussi responsable dans les zones plus développées. Certains produits chimiques, particulièrement l'arsenic, le fluor et les nitrites, lorsqu'ils sont présents en fortes concentrations, peuvent être dangereux pour l'homme. Des concentrations d'arsenic qui dépassent les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les normes nationales ont été rencontrées dans beaucoup de régions du monde. L'arsenic peut provoquer le cancer, l'hyperkératose et des maladies vasculaires périphériques. Le fluorure est très courant dans les régions volcaniques

telles le fossé tectonique de l'Afrique de l'est et de l'Afrique australe et ailleurs. Les fluorures peuvent provoquer des tâches sur les dents et lorsque les concentrations sont fortes, ils peuvent provoquer des skélétozes. Les nitrates peuvent être provoqués par la lixiviation des engrais dans de l'eau souterraine peu profonde et des systèmes septiques qui sévacent vers l'eau souterraine peu profonde, en particulier en milieu urbain où les systèmes septiques sont très denses. Les nitrates peuvent occasionner la méthémoglobinémie ou « syndrome du bébé bleu » chez les nouveau-nés, chez qui l'hémoglobine dans le sang ne peut pas transporter des quantités adéquates d'oxygène dans tout le corps.

Les normes de qualité pour l'eau de consommation humaine sont déterminées par les gouvernements des pays même si des organisations individuelles peuvent établir leurs propres directives internes. L'OMS publie les limites recommandées pour les concentrations chimiques en fonction des problèmes de santé. Un échantillon des directives de l'OMS pour certains contaminants courants se trouve dans le Tableau 1.

Tableau 1			
Contaminants de l'eau souterraine			
Contaminant	Limite de l'acceptabilité par les êtres humains (goût/odeur)	Valeur selon les directives de l'OMS	Principaux effets sur l'acceptabilité ou la santé
Total des solides dissouts (TSD)	1000 mg/l	Néant	Mauvais goût/odeur
Fluorure	Néant	<1.5 mg/l	Fluorose dentaire et du squelette
Nitrates	Néant	<50 mg/l	Méthémoglobinémie (syndrome du bébé bleu)
Arsenic	Néant	<0.01 mg/l	Cancer de la peau, de la vessie et des poumons
Bactéries fécales (E.coli)	Néant	0 mg/l	Troubles gastro-intestinaux, infections intestinales

Source : d'après les Directives sur la qualité de l'eau potable, volume 1, 3e édition, OMS (2006)

Contaminants microbiologiques

Plusieurs types de bactéries, de virus, protozoaires, vers et autres organismes vivant dans l'eau sont reconnus être des sources de maladies chez l'être humain. Du fait que quelques-uns de ces organismes peuvent se multiplier dans le corps et rendre une personne malade, et qu'une source d'eau contaminée est susceptible d'infecter de nombreuses personnes, la qualité microbiologique de l'eau est une préoccupation majeure.

Les organismes qui provoquent la maladie chez l'homme sont appelés pathogènes. Du fait que la plupart des pathogènes trouvés dans l'eau

proviennent des excréments humains et animaux, il est important de les éloigner des sources d'alimentations en eau. On rencontre la bactérie E.coli chez les êtres humains et les animaux et on l'utilise comme indicateur de contamination fécale. L'eau contaminée par l'E.coli est probablement également contaminée par d'autres pathogènes plus nuisibles, par conséquent la présence d'E.coli est un indicateur de pathogènes. Les tests d'E.coli sur le terrain mesurent le nombre de bactéries par volume d'eau. Les directives de l'OMS en matière de qualité de l'eau recommandent que l'eau de boisson ne contienne pas d'E.coli ou autres coliformes fécaux.

Il faut noter que la contamination bactérienne des puits par les déchets humains et animaux a les effets les plus importants sur la santé humaine. Parmi les exemples il faut citer une gamme variée d'infections intestinales dont la dysenterie, le choléra, la typhoïde et l'hépatite.

Les puits d'eau potable doivent être construits avec un joint d'étanchéité de protection sanitaire en mortier liquide entre le trou de forage et le cuvelage du puits. Ce joint d'étanchéité empêche les contaminants de surface, en particulier les bactéries, de migrer (suinter) dans le puits entre le cuvelage et le trou de forage vers l'eau souterraine.

Il est également important que les puits d'eau potable soient suffisamment éloignés des systèmes d'évacuation des eaux usées de sous-surface (systèmes septiques) et autres utilisations du sol qui peuvent affecter la qualité de l'eau souterraine. Parmi les sources de pollution figurent les ateliers, le stockage de combustible et les installations de distribution, les dépôts d'ordures et décharges publiques, les produits agricoles et sites de stockage de produits chimiques, et les zones industrielles et usines.

Les principaux paramètres de la qualité de l'eau, tels la totalité des coliformes et coliformes fécaux, des nitrates, et la totalité des solides dissouts, doivent faire l'objet d'un suivi régulier. Un suivi trimestriel ou semestriel est recommandé pour les bactéries coliformes fécales, alors que pour la totalité des solides et nitrates dissouts, un suivi moins fréquent (c'est-à-dire sur une base annuelle ou biannuelle) est généralement suffisant. Si l'on trouve des bactéries fécales dans une source d'eau, des mesures de correction s'imposent. Elles pourraient consister à : a) à désinfecter le puits avec une solution chlorée et le re-tester ensuite, (b) réparer la tête de puits où l'eau pourrait suinter/s'infiltrer/dans le puits entre le cuvelage et le trou de forage, ou (c) traiter l'eau à la maison ou à la tête de puits.

PART II : PUIITS ET FORAGES

2.1 Choix de l'emplacement des puits

Plusieurs facteurs influencent le choix de l'emplacement des puits. La disponibilité des aquifères au sein d'une communauté ou à proximité, mais également la politique locale et les facteurs influençant la durabilité sont également importants. Le meilleur emplacement pour un puits est celui qui ne perturbe pas les normes sociales d'une collectivité, tout en étant facilement accessible et en produisant suffisamment d'eau sans danger pour les habitants.

Besoins de la collectivité

Les normes culturelles sont souvent difficiles à comprendre pour les étrangers ; par conséquent, les membres de la collectivité devraient être impliqués dans toutes les phases de la planification des puits afin d'assurer que la communauté acceptera la nouvelle installation. Les puits doivent être placés dans des lieux publics et aussi près que possible des usagers. Les puits construits sur des propriétés privées peuvent causer des problèmes d'accès et de droit de propriété entre les propriétaires fonciers et les usagers. Les puits construits trop loin des populations ou dans des endroits dangereux de la ville pourraient être dangereux pour les personnes qui vont chercher de l'eau. Étant donné que les femmes et les filles transportent la majeure partie de l'eau, le puits doit être dans un endroit qui leur est accessible et où elles se sentent en sécurité. Le meilleur moyen de le déterminer est de faire participer les femmes au choix de l'emplacement du puits.

Quantité d'eau Requisite

La santé publique des collectivités locales est considérablement affectée par l'accès aux sources d'eau et par l'utilisation de l'eau dans les ménages. L'OMS définit la quantité d'eau à laquelle une personne doit accéder comme étant de 20 litres d'eau par jour dans un rayon d'un kilomètre de son domicile. Elle reconnaît également qu'augmenter les quantités d'eau disponibles pourrait améliorer les pratiques d'hygiène et réduire les risques pour la santé publique au sein des collectivités. L'OMS ne fixe pas de quantité quotidienne minimum d'eau par personne, mais utilise une échelle mobile qui relie le niveau de service de l'eau pour le ménage au risque pour la santé publique, comme le démontre le tableau 2. Il est conseillé aux organismes de développement et aux collectivités de reconnaître ce lien et d'œuvrer à améliorer la santé publique en augmentant la quantité d'eau disponible.

Tableau 2				
Niveau de service et quantité d'eau collectée				
Niveau de service	Distance/temps	Volumes d'eau susceptible d'être collectés	Risque pour la santé publique dû à une mauvaise hygiène	Priorité et mesures d'intervention
Sans accès	Plus d'1 km/plus de 30 min. aller-retour	Très faible – 5 litres par personne par jour	Très élevé Pratique d'hygiène compromise. Consommation de base peut être compromise	Très élevé Fourniture des services de base Éducation à l'hygiène
Accès de base	Dans un rayon d'1 km/ moins de 30 min aller-retour	Moyen – 20 litres par personne par jour	Élevé Hygiène pourra être compromise Lessive peut être effectuée hors d la parcelle l'extérieur	Élevé Éducation à l'hygiène Fourniture de niveaux de services améliorés
Accès intermédiaire	Eau fournie sur place au moyen d'un robinet au moins (à 0,90 , de hauteur)	Moyen – 50 litres par personne par jour	Faible Hygiène ne devrait pas être compromise Lessive se fera probablement sur place	Faible Promotion de l'hygiène obtiendra de meilleurs résultats sanitaires Encourager un accès optimal
Accès optimal	provisionnement en eau au moyen de plusieurs robinets dans la maison	Moyen de 100 à 200 l par personne par jour	Très faible Hygiène ne devra pas être compromise Lessive se fera sur place	Très faible Promotion de l'hygiène obtiendra de meilleurs résultats sanitaires

Source: Howard & Bartram (2003) cites dans OMS (2006), Directives pour la Qualité de l'eau de boisson, Vol. 1, 3rd.

Dans les situations d'urgence, les directives du projet Sphère recommandent que chaque personne reçoive en moyenne 15 litres d'eau par jour (4 gallons par jour) à utiliser pour la boisson, la cuisson et l'hygiène personnelle. Toutefois, les directives de Sphère sont rédigées pour les situations humanitaires d'urgence, et doivent être traitées comme le volume minimum d'eau nécessaire pour répondre aux besoins critiques de santé et de survie. Comme noté plus haut, des quantités plus importantes d'eau sont nécessaires pour le développement. Les projets de développement du CRS qui comportent une composante eau potable fournissent généralement au moins 20 litres/personne/jour mais prévoient des quantités plus grandes si possible.

Tableau 3		
Tableau simplifié des besoins élémentaires de survie en eau		
Besoins en eau	Quantité d'eau	Facteurs importants
Besoins de survie (eau de boisson et nourriture)	2,5 à 3 litres par jour	Climat et physiologie individuelle
Pratiques d'hygiène de base	2 à 6 litres par jour	Normes socioculturelles
Besoins culinaires de base	3 à 6 litres par jour	Type de nourriture, normes socioculturelles
Total des besoins fondamentaux en eau	7,5 à 15 litres par jour	

Source : d'après le projet Sphère, Humanitarian Charter and Minimum Guidelines in Disaster Response. Genève, 2004.

Débits des puits

La quantité d'eau disponible dans un puits dépend des propriétés de l'aquifère et de la construction du puits. Les pompes sont décrites en détail à la Section 8.0 Il est important de noter que le taux de pompage maximum pour une pompe manuelle est de 3,5 mètres cubes d'eau à l'heure (925 gallons par heure).

Géologie

Rechercher l'eau souterraine requiert des compétences et de l'expérience. Un guide détaillé sur la façon de rechercher l'eau souterraine dépasse le champ de ce document; cependant, l'observation de plusieurs caractéristiques de base du paysage peut être utile. Les puits existants sont un bon indicateur de la présence d'eau souterraine. Elle se trouve généralement aussi près de l'eau de surface ou dans les basses terres comme les vallées. Certains types de végétation indiquent aussi parfois la présence d'eau souterraine. La connaissance des lieux et l'expertise scientifique peuvent servir toutes deux à déterminer les endroits les plus appropriés pour creuser ou forer.

Il existe des technologies diverses pour permettre de trouver l'eau souterraine :

- Les images par satellite
- La photographie aérienne
- Les enquêtes de terrain sur les puits et sources existants
- La géophysique du sol et du sous-sol
- Les calculs de la recharge de l'aquifère et de l'équilibre hydrique
- Les mesures de niveau de l'eau et préparation des cartes de flux des eaux souterraines
- L'installation de puits de sondage et d'observation

Trouver l'eau
souterraine requiert
compétences et
expérience.

- Les essais de pompage de l'aquifère
- Les tests de capacité spécifique de puits individuels

La décision d'utiliser une ou plusieurs technologies de recherche des eaux souterraines dépend des besoins de la collectivité, les coûts et les caractéristiques de chaque emplacement.

Modernisation des puits

Lorsqu'une collectivité utilise déjà des puits, une solution pour augmenter la quantité et la qualité de l'eau consiste simplement à moderniser les puits existants. Les améliorations peuvent comporter le surcreusement du puits, son chemisage, sa désinfection et le recouvrir d'un radier, d'un collier et d'un couvercle et d'installer une pompe.

Collecte de données

Il est important de collecter des données sur l'emplacement des puits, les types matériaux du sol extraits, la profondeur du puits, la profondeur jusqu'au niveau statique de l'eau dans le puits, et la capacité du puits. Ces données peuvent servir pour planifier de futurs projets d'eau souterraine et évaluer l'impact des projets actuels.

Pollution

Il est absolument nécessaire que les puits soient situés en hauteur par rapport aux sources de contamination des eaux souterraines telles les latrines, fosses septiques, dépôts d'ordures, stations de carburant et cuves de stockage de pétrole. Les puits doivent être à une distance d'au moins 30 mètres (100 pieds) des latrines et des fosses septiques, et aussi loin que possible du carburant et des lieux de stockage et de livraison de produits chimiques.

RÉFÉRENCES

Water for the World. "Selecting a Well Site." Technical Note No. RWS. 2.P.3. Retrieved June 20, 2005 from <http://lifewater.org/resources/rws2/rws2p3.pdf>

Pickford, J. (1994). "Technical Brief No. 39: Upgrading Traditional Wells." [Adapted from Rural water supplies and sanitation by Peter Morgan]. In Shaw, R.J. (Ed.), *Running water: more technical briefs on health, water and sanitation* (pp. 25–28). London: Intermediate Technology Publications.

MacDonald, A. M., Davies, J., & Ó Dochartaigh, B. É. (2002). *Simple methods for assessing groundwater sources in low permeability areas of Africa*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/168N. 71 p.

Sphere Project. 2004. *The Sphere Project: Humanitarian Charter and Minimum Guidelines in Disaster Response*. Geneva: Sphere Project.

Driscoll, F. G. *Groundwater and Wells Second Ed.* St. Paul, MN: Johnson Filtration Systems, Inc.

2.2 Construction et protection des puits

Les hommes connaissent depuis longtemps la valeur de l'exploitation des eaux souterraines – les puits creusés à la main datent de la préhistoire et sont fréquemment mentionnés dans la Bible. La technologie de forage des puits a évolué il y a plus de 1500 ans lorsque les Chinois ont mis au point des foreuses actionnées à la main. Des appareils de forage semblables à ceux utilisés par les habitants de la Chine antique sont utilisés de nos jours.

Puits creusés à la main

Les puits creusés à la main peuvent être construits avec l'expertise et les matériaux locaux tant dans les systèmes aquifères non consolidés (sable et gravier) que dans les systèmes aquifères du substratum rocheux. Ils constituent une option viable dans les régions où les nappes phréatiques sont relativement peu profondes. La construction demande davantage de main-d'œuvre et prend par conséquent plus longtemps que de forer le sol. Les puits à grand diamètre, que l'on appelle « puits creusés » sont généralement creusés à la main à l'aide de pelles et autres outils. Les ouvriers se tiennent au fond du puits et creusent tandis que d'autres ouvriers à la surface hissent la terre extraite hors du puits. Les puits creusés à la main ont généralement un diamètre d'un à trois mètres (3 à 10 pieds) et leur profondeur ne dépasse pas 30 mètres (100 pieds), bien que certains atteignent parfois 80 mètres (260 pieds) de profondeur.



Chris Seremet pour CRS

Homme creusant un puits dans un sol sablonneux en Namibie.

Les puits creusés à la main dans des sols mous doivent être cuvelés afin d'empêcher les murs de s'effondrer. Le matériau de chemisage peut être renforcé par des bagues en béton, des pierres ou des briques. Aucun cuvelage n'est nécessaire dans les sols stables ou le substratum rocheux. Il est difficile ou même impossible de creuser dans les endroits rocheux. Il est également difficile de creuser profondément dans un aquifère à la main parce qu'une fois l'aquifère atteint, le puits commence à se remplir d'eau. Les puits creusés à la main atteignent en général seulement la partie supérieure de l'aquifère. Les fluctuations de la nappe phréatique pendant la saison sèche entraînent habituellement le tarissement de ces puits. Pour remédier à cette situation, les puits peuvent être creusés plus profondément pendant la saison sèche, ou l'eau entrante peut être pompée continuellement durant la période de construction.

On doit prendre soin de vider le puits si l'on utilise des motopompes. Les gaz d'échappement du moteur ne doivent pas pénétrer dans le puits et faire baisser le niveau d'oxygène lorsque les ouvriers augmentent la profondeur du puits. Des lésions graves ou même la mort peuvent se produire si ces précautions ne sont pas respectées.

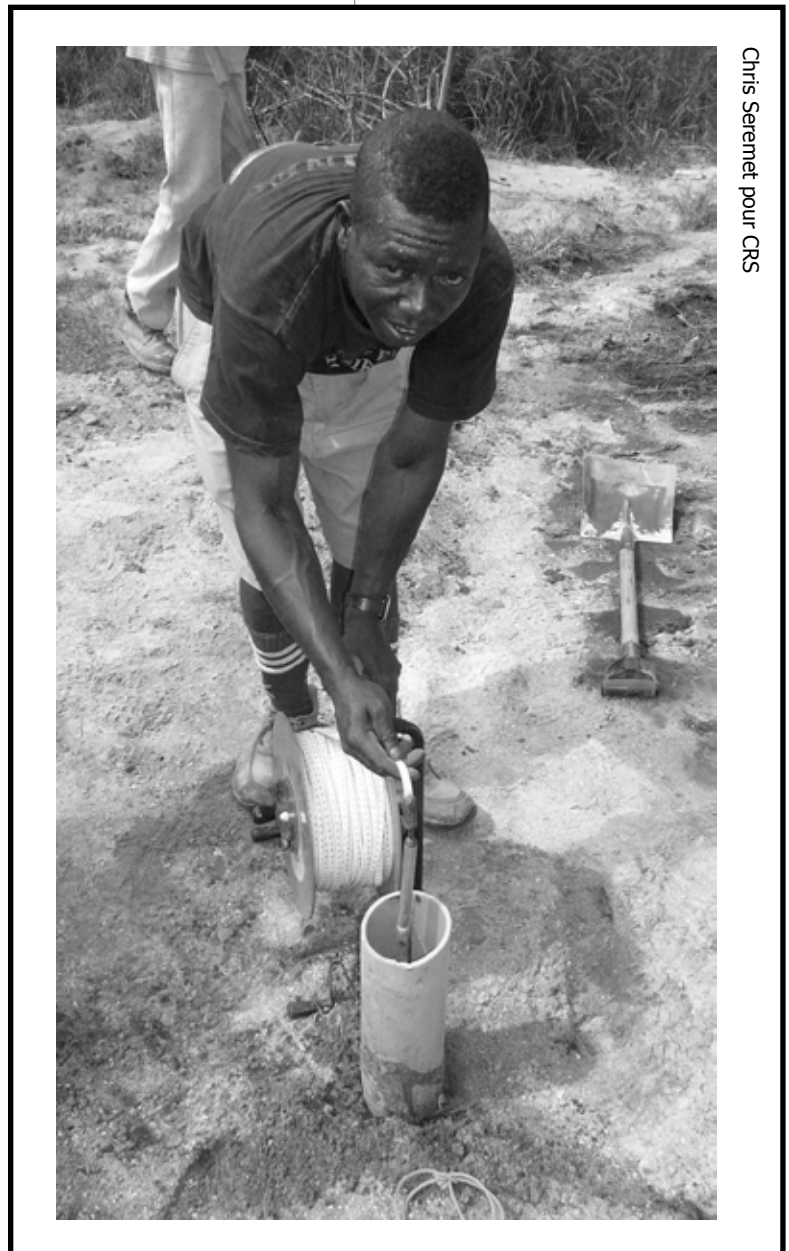
Puits forés

Les puits forés à la sondeuse, que l'on appelle aussi puits de forage, peuvent être creusés dans des systèmes de sable et de gravier non consolidés et des systèmes d'aquifères de substratum rocheux. On trouvera plus d'informations sur les aquifères à l'annexe C. Les facteurs à prendre en compte pour un projet de construction de puits foré sont le choix d'un emplacement correct, la construction d'un puits sanitaire, et la protection de la tête de puits lors de l'achèvement.

Les puits de forages, ou puits tubulaires mesurent en général de 150 à 300 millimètres (6 à 12 pouces) de diamètre et sont réalisés soit avec des tarières à main ou des appareils de forage motorisés. Les forages peuvent être effectués plus rapidement et plus profondément que les puits creusés à la main, ce qui leur permet d'atteindre les aquifères profonds. Pour les installations de pompes manuelles, la profondeur pratique maximale jusqu'au niveau d'eau statique est de 150 mètres (500 pieds) car le pompage à la main est très difficile à cette profondeur. Cependant, la profondeur au fond du puits de forage peut être bien supérieure. Les puits de forages sont cuvelés (tube PVC ou tuyau en acier) pour prévenir l'effondrement, et aussi pour empêcher que l'eau de surface n'entre dans le puits. Un filtre de puits est installé au niveau des matériaux aquifères pour permettre à l'eau souterraine d'entrer dans le puits de forage.

Protection des puits

La pollution de surface peut facilement pénétrer dans l'eau souterraine par les puits et des précautions doivent être prises pour éviter que cela se produise. Tous les puits utilisés pour fournir de l'eau pour la consommation devront être couverts et équipés d'une pompe. Les puits ouverts serviront seulement à l'arrosage des jardins et aux usages animaux et industriels. Un couvercle sur le puits le protège des saletés, des eaux de drainage ou autres formes de pollution et sert de base pour l'installation d'une pompe.



Chris Seremet pour CRS

Mesure de la profondeur de la nappe souterraine dans un puits foré à petit diamètre au Soudan.

Il est également important que le cuvelage du puits soit bien étanche (cimenté) pour prévenir l'entrée de la contamination de surface dans l'espace annulaire entre le forage du puits et le cuvelage. Cette précaution est souvent négligée dans le processus de construction de puits, du fait que l'espace annulaire du cuvelage peut constituer un passage important et permettre aux bactéries nuisibles d'entrer dans le puits.



Dennis Warner pour CRS

Puits foré au Soudan, installé avec une pompe manuelle, un radier en béton et un déversoir en béton.

Un grand nombre de puits creusés à la main sont vulnérables à la contamination parce qu'ils sont construits sans couvercle ni pompe. Les utilisateurs font généralement descendre des seaux et autres récipients à l'aide d'une corde dans les puits ouverts pour puiser de l'eau. Cette méthode accroît considérablement les risques de contamination du puits parce que les seaux et les cordes entrent généralement en contact avec le sol pendant la manutention et le stockage. Les trous de forages sont généralement équipés d'un système de pompage qui peut être actionné par diverses méthodes – à la main, au diesel, à l'essence, l'électricité, le vent ou le soleil. Ces mêmes types de systèmes de pompage peuvent être installés dans un puits creusé à la main bien conçu et bien construit.



Chris Seremet pour CRS

Système de corde et de seau utilisé pour enlever l'eau souterraine insalubre d'un puits creusé à la main non couvert au Sénégal.

Les mesures de protection des puits de forages sont généralement les mêmes que celles des puits creusés à la main. Le puits doit être éloigné des sources de contamination de l'eau souterraine, la tête et la plate-forme de puits doivent être construites de manière à empêcher la contamination de surface d'entrer dans le puits et fournir une aire d'hygiène bien drainée pour permettre à la population locale de puiser l'eau.

Les puits doivent être désinfectés au chlore après la construction et de manière régulière par la suite.

La formation des populations locales est très importante pour prévenir la contamination du puits en assurant que le puits et le système de pompage sont entretenus correctement, que le radier est propre, et les eaux usées drainées convenablement.

Des informations supplémentaires pour la construction, l'exploitation et l'entretien des puits creusés à la main et forés figurent dans le DVD de la Bibliothèque de référence technique pour l'alimentation en eau et l'assainissement du CRS.

Les sources
représentent
l'affleurement de la
nappe souterraine, là
où l'eau souterraine se
présente à la surface.

RÉFÉRENCES

WaterAid. "Hand dug wells." Retrieved from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/297.asp

WHO. "Fact Sheet 2.2: Dug wells." Retrieved June 20, 2005 from http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_2.pdf

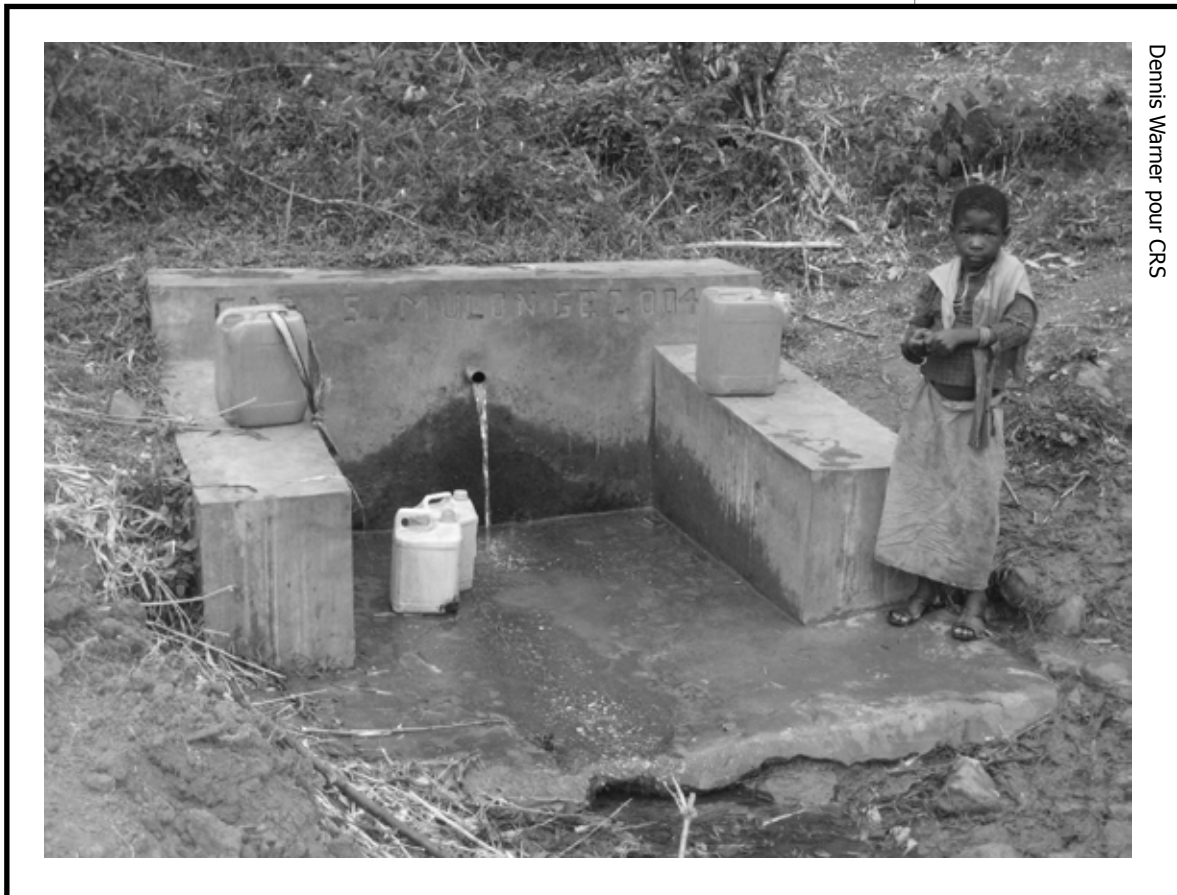
Brush, R. E. (1979). *Wells construction: Hand dug and hand drilled*. Washington, DC: Peace Corps, Information Collection and Exchange.

Sources

Les sources représentent l'affleurement de la nappe d'eau souterraine, là où l'eau souterraine se manifeste à la surface. Les sources sont généralement prépondérantes dans les collines et terrains montagneux, où la pluviométrie est relativement abondante. Toutefois, beaucoup de sources sont répertoriées dans des paysages arides, par exemple dans les oasis du désert. Dans les régions montagneuses, les sources peuvent souvent être aménagées en systèmes gravitaires, évitant ainsi d'avoir à disposer d'appareils de pompage. Les sources peuvent apparaître aussi lorsqu'une couche superposée de matériau consolidé (roche) provoque une pression suffisante qui force l'eau souterraine vers la surface où elle forme un puits artésien. Le débit de l'eau qui s'écoule d'une source dépend de la quantité d'eau dans l'aquifère et de la force de la pression exercée par le poids du matériau consolidé. Ce débit peut varier en fonction des saisons.

Les sources demandent seulement des aménagements mineurs pour produire de l'eau de bonne qualité. Du fait que l'eau coule librement à partir d'une source, les mécanismes de pompage ne sont généralement pas nécessaires. Les perspectives de durabilité sont généralement meilleures si on peut éviter les systèmes de pompage qui requièrent généralement une maintenance qualifiée.

La plus grande menace pour la qualité de l'eau de source est la contamination par les êtres humains et les animaux. Les contaminants, particulièrement les excréments, peuvent s'infiltrer dans la source et introduire des organismes vecteurs de maladies dans l'eau. Pour prévenir la contamination, les sources peuvent être protégées en érigeant autour de la source une sorte d'enclos auquel est fixé un tuyau d'écoulement. La zone entourant la source doit être clôturée pour empêcher qu'elle ne soit contaminée ou endommagée par les êtres humains ou les animaux. Un fossé de drainage pour la protéger du ruissellement des eaux de pluie doit être creusé autour de la source en dehors de la clôture. L'endroit où la collectivité puise l'eau doit comporter un radier propre et une évacuation appropriée des eaux usées.



Dennis Warner pour CRS

Source d'eau protégée dans l'est du Congo.

REFERENCES

Hillbruner, C. (2005). "Building a Ferrocement Spring Box." Baltimore: Catholic Relief Services.

Skinner, B. H., & Shaw, R. J. (1992). "Technical Brief No. 34: Protecting Springs—An Alternative to Spring Boxes." *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 11 (2), 15–18.

WaterAid. "Spring protection." Retrieved June 20, 2005 from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/300.asp

Techniques de forage de puits

Plusieurs techniques différentes peuvent être utilisées pour installer des puits de forage. La meilleure technique dans une situation particulière est déterminée par le type de sol.

Le perçage à percussion a été l'une des premières techniques de forage développée. Une mèche est fixée à un câble ou à un arbre, soulevés à l'aide d'un treuil qui retombe dans le trou. Ce processus est répété et la mèche se fraie lentement son chemin dans le sol. La mèche doit être retirée périodiquement pour pouvoir retirer du puits les débris de terre et de roches avec une écope (un seau). Ce processus s'appelle aussi forage au câble.



Andrew McConnell pour CRS

Le forage à la tarière ou forage tournant utilise une mèche qui tourne au fur et à mesure qu'elle s'enfonce dans le sol. La terre et les débris de roche sont ramenés vers la surface par la mèche et l'axe.

Le perçage à percussion rotatif utilise une tarière qui se déplace aussi de haut en bas dans un mouvement de ciselage. C'est là une technique puissante utilisée pour forer à travers les roches et autres matériaux durs.

On ajoute quelques fois de l'air, l'eau ou de la boue de forage à l'arbre pour refroidir et lubrifier la mèche, aider le trépan à pénétrer dans le sol, et transporter la terre à la surface.

On peut ajouter la boue de forage au moyen d'un arbre creux et la pomper hors du trou, ou l'envoyer dans le trou et la pomper à nouveau hors de l'arbre. Ce processus s'appelle lançage ou colmatage ou lavage avec de la boue.

Foreuse rotative utilisant de la boue de forage pour empêcher le puits de s'effondrer en Éthiopie.

De même que différents styles de forage conviennent à différents types de sols, différentes mèches peuvent être utilisées sur un même forage pour différents types de sols. Les opérateurs de forage expérimentés sauront quelle méthode de forage et quelle mèche utiliser dans différents sols et dans différentes roches.

Les techniques de forage appropriées pour les diverses conditions géologiques sont identifiées au tableau 4. Les intrants de ressources et les extrants de rendement des différentes technologies de construction de puits sont résumés au tableau 5.

Tableau 4					
Résumé du bien fondé des technologies de construction de puits					
	Excavation manuelle	Forage manuel	Plateforme de forage au câble	Foreuse rotative pneumatique	Foreuse rotative polyvalente
Coût (1000 dollars US)	1	1 à 5	20 à 100	100 à 150	200 à 500
Frais d'exploitation	Très bas	Faibles	Faibles	Moyens	Très élevés
Besoin en formation pour l'exploitation	Très faible	Faible	Faible-moyens	Moyen	Très élevés
Compétences pour les réparations	Très faibles	Faibles	Faibles-moyennes	Moyennes	Très élevées
Aide technique supplémentaire	Très faible	Faible	Faible-moyen	Moyen	Très élevé
Mètres creusés par jour	0,1 à 2	1 à 15	1 à 15	20 à 100	20 à 100
Puits à petit diamètre en terrains non consolidés	Impossible	Rapide	Rapide	Impossible	Très rapide
Puis à plus grand diamètre en terrains non consolidés	Lent	Lent	Rapide	Impossible	Très rapide
En terrains semi-consolidés	Lent	Impossible	Rapide	Impossible	Très rapide
Dans les formations consolidées	Très lent	Impossible	Lent	Impossible	Très rapide

Source : d'après Wurzel, P. (2001). Drilling Boreholes for Handpumps. Working Papers on Water Supply and Environmental Sanitation / Vol. 2. St. Gallen, Switzerland: SKAT.

Tableau 5 Choix des méthodes de forage pour différents types de sols							
Types de sol		Excavation manuelle	Forage manuel à la tarière	Forage à percussion	Lançage / colmatage à la boue	Forage rotatif à percussion	Forage rotatif avec rinçage
Gravier	Unconsolidated formations	OK	Non	OK?	Non	OK?	Non
Sable		OK	OK	OK?	OK	OK?	OK
Limon		OK	OK	OK?	OK	OK?	OK
Argile		OK	OK	OK-lent	OK	OK-lent	OK
Sable + roche		OK	Non	OK?	Non	OK?	No
Schiste	Soft to medium consolidated formations	Non	Non	OK	Non	OK-lent	OK
Grès		Non	Non	OK	Non	OK	OK
Calcaire	Medium to hard consolidated formations	Non	Non	OK-lent	Non	OK	OK-lent
Igné		Non	Non	OK-lent	Non	OK	No
Métamorphique		Non	Non	OK- v. slow	Non	OK	No
Roche avec fractures		Non	Non	No	Non	OK	OK
Au dessus de la nappe		OK	OK	OK	?	OK	OK
Sous la nappe		Non	?	OK	OK	OK	OK
NOTE : OK-OK pour forer ; OK ?- effondrement du forage possible ; - ? problèmes éventuels ; NON – impossible de forer							

Source: d'après Elson, R.J., & Shaw, R.J. (1995). Technical Brief No. 43: Simple Drilling Methods. *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 13 (3), 15-18.8.

REFERENCES

WaterAid. "Tubewells and boreholes." Available: <http://www.wateraid.org>. Directly available: http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/298.asp

Elson, R. J., & Shaw, R.J. (1995). "Technical Brief No. 43: Simple Drilling Methods." *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 13 (3), 15-18.

Wurzel, P. (2001). *Drilling Boreholes for Handpumps*. Working Papers on Water Supply and Environmental Sanitation / Vol. 2. St. Gallen, Switzerland: SKAT.

Sources d'énergie pour les forages

Les plateformes de forage de puits peuvent être actionnées par la force humaine ou par des machines. Les puits profonds, surtout ceux qui dépassent 100 mètres (330 pieds), sont toujours creusés à l'aide de plateformes de forage mécanique. Le forage manuel utilise parfois l'énergie humaine ou animale et demande généralement plus de temps que le forage mécanique. Les puits creusés à la machine, exigent toutefois du matériel de forage et des sources d'énergies coûteuses (diesel ou essence) et ils ne sont pas toujours la meilleure option dans les villages où les nappes phréatiques sont relativement peu profondes et la main d'œuvre abondante. Le coût des plateformes mécaniques peut aller de 100.000 dollars US à plus de 1.000.000 dollars US, selon la capacité du matériel. Le matériel manuel ou à énergie animale coûte beaucoup moins cher et peut souvent être fabriqué sur place.

L'un des grands avantages que représente l'utilisation de la main-d'œuvre locale pour forer un puits tient à la nécessité de faire participer la collectivité de manière significative à toutes les phases du projet et à prendre davantage en charge les installations qui en résultent. Une fois établi, cette prise en charge sert de base à l'entretien à long terme et à la durabilité du puits.

Exploitation du forage

Une fois le forage effectué et l'eau trouvée, plusieurs mesures doivent être prises pour la mise au point du puits. Il s'agit entre autres de déterminer si le volume d'eau souterraine est suffisant pour les besoins de la collectivité et que des mesures adéquates ont été prises pour éviter l'effondrement du forage et améliorer le débit d'eau de l'aquifère.

DÉTERMINATION DE LA PROFONDEUR CORRECTE. Une fois l'eau trouvée, le débit doit être mesuré, et s'il est insuffisant, le puits doit être approfondi jusqu'à ce que le débit souhaité soit obtenu. Le puits devra alors être foré jusqu'à 10 mètres supplémentaires (33 pieds) pour tenir compte des variations saisonnières dans la nappe phréatique. Le temps passé en forage coûte cher et forer des puits inutilement profonds peut être un gâchis.

MESURE DU TAUX D'ÉCOULEMENT DE L'EAU. Il est important que l'eau de l'aquifère s'écoule dans un forage à un débit suffisant pour alimenter la collectivité en eau. On effectue un test de pompage pour mesurer le taux d'écoulement de l'eau. La vitesse de l'eau est déterminée en

L'un des grands avantages que représente l'utilisation de la main-d'œuvre locale pour forer un puits tient à la nécessité de faire participer la collectivité de manière significative à toutes les phases du projet.

pompant l'eau très vite jusqu'à ce que la nappe d'eau souterraine s'arrête de diminuer et demeure stable. La vitesse est calculée en divisant le volume d'eau pompé par le temps de pompage.

EXPLOITATION DU FORAGE. L'eau doit être pompée du forage en quantités excessives pendant 2 à 24 heures. Cette procédure génère un flux rapide à travers l'aquifère et dans le forage qui enlève le sol et les sédiments de la zone située immédiatement autour de l'entrée de la pompe. Parfois on ajoute du gravier au fond du trou pour faciliter l'écoulement de l'eau et son filtrage. Un tuyau ou un tube, que l'on appelle cuvelage, mesurant généralement 8 à 12 pouces de diamètre, est inséré dans le forage pour l'empêcher de s'effondrer. Le fond du tuyau comprend un écran, perforé de trous ou de fentes, pour laisser l'eau entrer dans le puits.

SOURCES

WaterAid. "Hand dug wells." Retrieved from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/297.asp

Wurzel, P. (2001). *Drilling Boreholes for Handpumps*. Working Papers on Water Supply and Environmental Sanitation / Vol. 2. St. Gallen, Switzerland: SKAT.

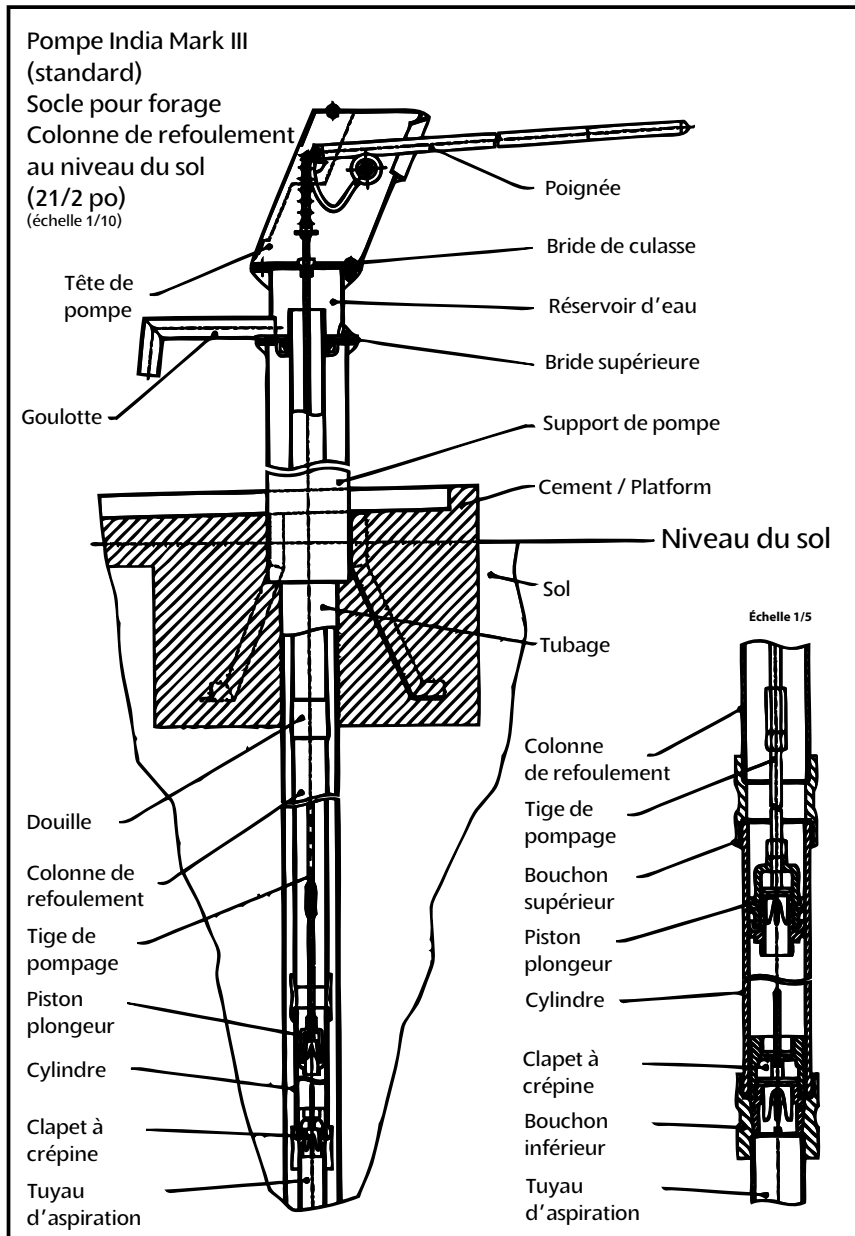
Elson, R. J., & Shaw, R. J. (1995). "Technical Brief No. 43: Simple Drilling Methods." *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 13 (3), 15-18.

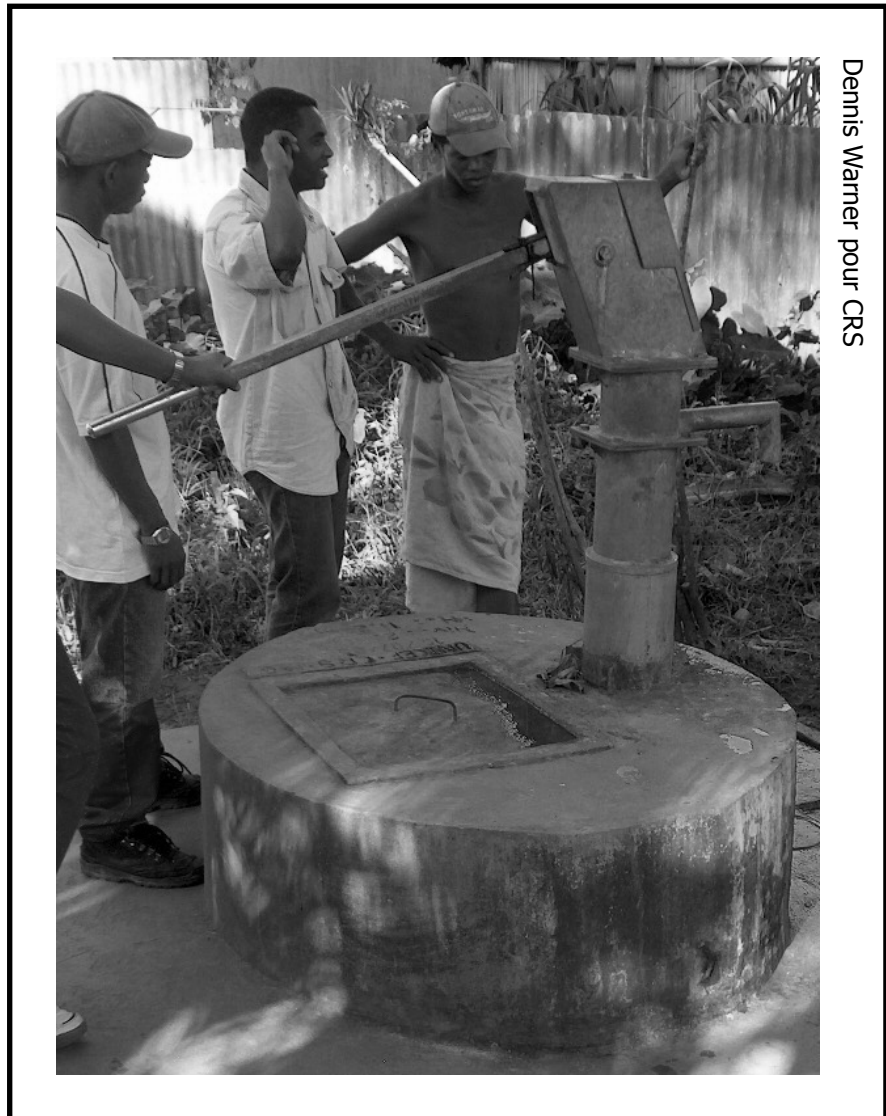
2.3 Pompes et systèmes d'énergie

Autrefois, on attachait à une corde un récipient, tel qu'une peau d'animal ou un seau, et on le remontait à la main ou avec un treuil pour extraire de l'eau d'un puits. Du fait qu'il exige un puits non couvert, le système du seau et de la corde rend le puits vulnérable à la contamination. Cette méthode est également inefficace et prend beaucoup de temps, surtout avec les puits profonds. Les pompes, qui sont des dispositifs mécaniques pour tirer de l'eau, peuvent fournir de plus grandes quantités d'eau que les systèmes de seau traditionnels et permettent d'isoler les puits de la contamination extérieure et l'alimentation électrique. La pompe est ce qui soulève physiquement l'eau, tandis que l'alimentation électrique fournit l'énergie nécessaire pour faire fonctionner la pompe. Les pompes puisent l'eau soit par aspiration dans un tuyau qui tire l'eau du puits en la remontant, soit en exerçant une force sur le tuyau au fond du puits. En raison des limites de la pression atmosphérique, les pompes aspirantes peuvent fonctionner à des profondeurs maximales de 6 à 8 mètres seulement (20-25 pieds). Au-delà de cette de profondeur, on doit utiliser des pompes de levage.

Un schéma de pompe à levage avec un cylindre et un piston actionné à la main, appelée Pompe manuelle India Mark III, est présenté à la figure 1.

Figure 1: Pompe India Mark III





Pompe manuelle India Mark III, utilisée dans un village à Madagascar.

L'énergie destinée à créer une aspiration ou faire remonter physiquement l'eau peut être fournie manuellement par les hommes ou les animaux, ou elle peut être convertie à partir de l'électricité, l'énergie solaire, la gravité (chute d'eau), l'air, ou la chaleur de la combustion d'hydrocarbures. Les pompes à main sont les plus courantes et peuvent fonctionner sur des puits dont la profondeur peut atteindre 50 mètres (165 pieds). Les pompes électriques ou à moteurs diesel sont les plus couramment utilisées pour les puits profonds.

Plusieurs types de pompes et de générateurs utilisés généralement dans les projets d'hydraulique du CRS sont évoqués plus loin.

Concept de la pompe VL0M

Il existe de nombreux fabricants et modèles de pompes et de nombreux systèmes générateurs d'énergie pour les faire fonctionner et, souvent, dans une situation donnée, plusieurs systèmes différents conviennent également.

Pour qu'ils soient durables, il est toutefois important de choisir un système et de l'utiliser exclusivement dans la même zone géographique. La normalisation des pompes garantit que les pièces de rechange seront disponibles et faciles à trouver dans la région. Elle garantit aussi que davantage de personnes de la région seront familiarisées avec le système et seront capables de le réparer. Cet arrangement rassemble les ressources entre les villages pour résoudre les problèmes. Lorsque différents systèmes de pompage sont installés dans différents villages, les réparateurs et les pièces ont peu de valeur en dehors de ces villages.

Le principal problème des pompes manuelles est celui de leur durabilité. Si les villageois ne savent pas comment réparer une pompe, ils doivent compter en permanence sur l'organisme qui l'a installée ou l'institution d'état pour la réparer quand il le faut. Dans ce cas, il arrive qu'ils abandonnent le puits et reviennent à des sources d'eau plus anciennes et moins salubres.

Avant les années 1980, les pompes manuelles étaient généralement légères, de mauvaise qualité et importées de pays en développement. Du fait qu'elles ont été conçues pour être utilisées par une seule famille, elles tombaient souvent en panne, et ne peuvent faire face à une lourde demande collective dans les pays en développement. Dans une telle situation, les villageois avaient du mal à trouver des pièces de rechange et des réparateurs pour remettre la pompe en état.

Dans les années 1980, les Nations Unies (ONU) ont mis des moyens considérables en vue de l'exploitation des eaux souterraines. Le Programme de développement des Nations Unies (PNUD) et la Banque mondiale ont déterminé que de gros systèmes de pompages compliqués ne pouvaient pas être entretenus avec des ressources limitées au niveau du village, si bien qu'ils ont favorisé la conception d'un nouveau système de pompe, la pompe VL0M (Village Level Operation Maintenance), dont la maintenance peut s'effectuer au niveau du village.

Les critères de conception des pompes VL0M (Arlosoroff 1987) sont les suivants :

- elles doivent être facilement entretenues par un technicien du village avec peu d'outils ;

...choisir un système
[de pompage] et
l'utiliser exclusivement
dans la même zone
géographique.

- elles doivent être fabriquées dans le pays où elles sont utilisées ;
- les pièces de rechange doivent être facilement disponibles ;
- elles doivent être durables ;
- leur fabrication et leur entretien doivent être peu coûteux.

La pompe India Mark III est un type de pompe manuelle VLOM très apprécié. En comptant la tuyauterie et les pièces de rechange essentielles, cette pompe coûte entre 450 et 500 dollars US.

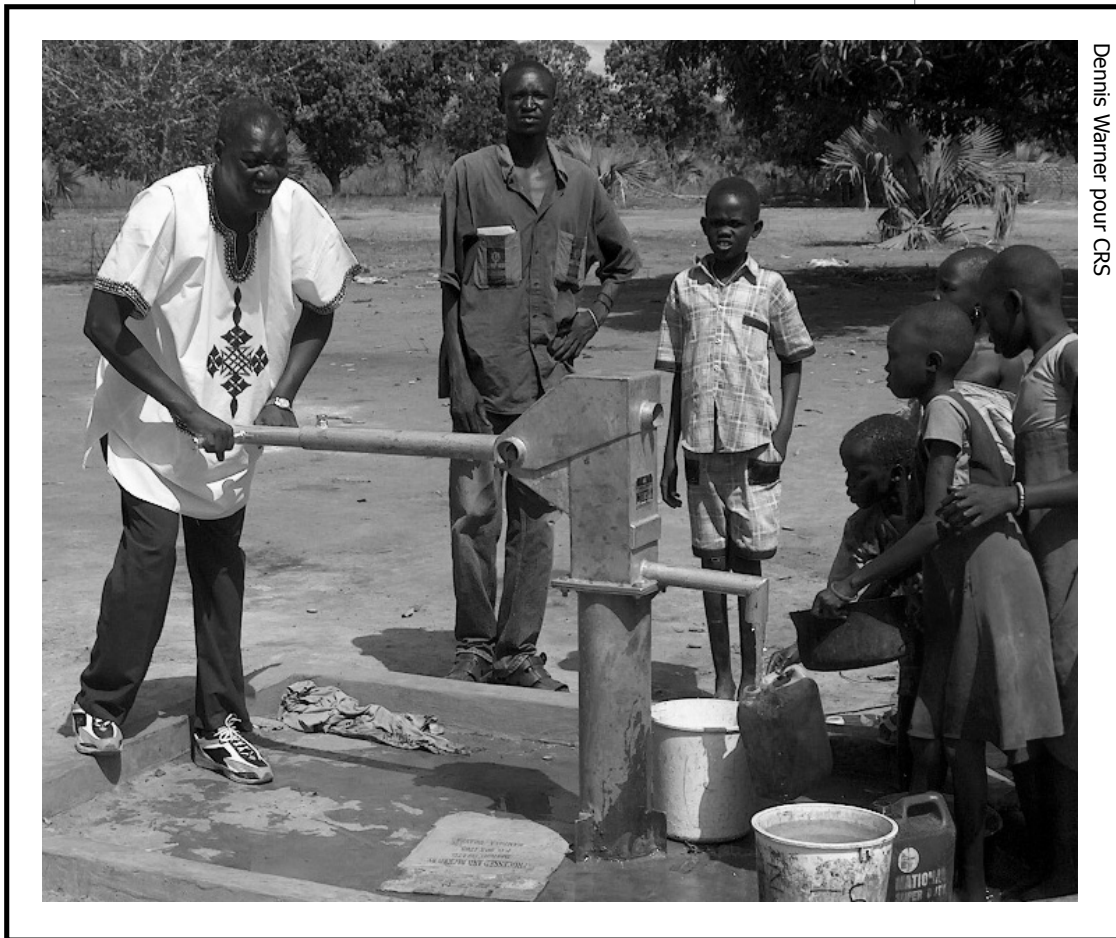
Types de pompes

Il existe deux catégories de pompes : les pompes volumétriques et les pompes à débit variable ou pompes cinétiques. Les pompes volumétriques produisent un volume d'eau fixe à chaque pompage ou tour. Les pompes à débit variable produisent d'autant moins d'eau que la tête de pompe, ou la distance entre la surface de l'eau dans le puits et la hauteur verticale vers le point de déversement, augmente. Les projet d'hydraulique du CRS intègrent habituellement des *pompes volumétriques*. Ce type de pompe est décrit ci-dessous de manière plus détaillée.

Le deux types de pompe volumétriques les plus courants sont les *pompes alternatives* et les *pompes rotatives*.

Les pompes alternatives comportent des pistons, des piston plongeurs, des diaphragmes ou des soufflets pour puiser l'eau de l'intérieur du puits vers la surface.

De nombreuses pompes motorisées et actionnées à la main fonctionnent avec un système de piston et cylindre. Le cylindre est stationnaire, suspendu en haut du puits et il comprend un clapet de retenue à crépine près du fond. Le piston comporte un clapet de retenue au fond et il monte et descend à l'intérieur du cylindre. Ce clapet est ouvert quand le piston descend, ce qui laisse passer l'eau qui remonte vers la zone située au-dessus du piston. Quand le piston est remonté, le clapet se ferme et le piston puise l'eau. Au moment où le piston est remonté, le clapet à crépine au fond du cylindre s'ouvre et l'eau coule dans le cylindre en dessous du piston. Cette eau coule par le clapet du piston quand ce dernier est de nouveau poussé vers le bas et ainsi de suite. Ce type de pompe alternative s'utilise dans les aquifères pour lesquels l'eau souterraine se trouve à une profondeur de plus de 7 mètres (23 pieds). Les pompes *India Mark III*, *Afridev*, et *Volanta* représentent trois styles de pompes manuelles alternatives utilisant un piston pour puiser l'eau.



Dennis Warner pour CRS

Pompe à main Afridev utilisée au Soudan.

La *pompe aspirante* constitue autre type de pompe alternative. Le cylindre et le piston des pompes aspirantes sont situés à la tête de pompe, au dessus du niveau du sol. L'avantage de ces pompes est qu'elles sont faciles à réparer du fait que les parties mobiles se trouvent au dessus du sol. Leur inconvénient majeur est que si le cylindre a besoin d'être amorcé ou rempli d'eau, le puits peut être contaminé. Ces types de pompes sont habituellement utilisés pour puiser de l'eau dans un puits à grand diamètre, pour le jardinage ou les besoins en eau du bétail.



Dennis Warner pour CRS

Pompe manuelle Volanta installée au Niger.

La force d'aspiration des pompes aspirantes peut seulement puiser l'eau à une profondeur d'environ 7 mètres, en raison des limites de la pression atmosphérique. L'atmosphère exerce une pression sur la surface de l'eau du puits et à la partie supérieure d'un aquifère. Quand on insère un tuyau dans l'eau et que l'on aspire par le haut de ce tuyau, l'atmosphère appuie sur la surface de l'eau, et entre la pression atmosphérique qui pousse et l'aspiration qui tire, l'eau monte dans le tuyau. Quand on atteint environ 7 mètres, la poussée atmosphérique ne suffit plus à faire remonter l'eau. Le niveau de l'eau dans le tuyau ne peut donc pas monter de plus de 7 mètres.

Pour les puits de plus de 7 mètres de profondeur, le piston et le cylindre doivent se trouver au fond du puits. Ces pompes font remonter l'eau dans le cuvelage à partir du fond plutôt que de l'aspirer d'en haut, ce qui fait que l'atmosphère et l'aspiration ne sont plus une entrave.

La *pompe à diaphragme* constitue un autre type de pompe alternative. La pompe Vergnet est un modèle couramment utilisé. Ces pompes fonctionnent en alternant la dilatation et la rétraction d'une boudruche



Pompe aspirante fabriquée localement au Niger.

en caoutchouc située à l'intérieur d'un gros cylindre au fond du puits. La dilation et la rétractation de la boudruche sont contrôlées par la pression hydraulique exercée par le pied ou la main de l'utilisateur. Les figures 2 et 2b montrent un schéma de la *pompe Vergnet à pied*.

Figure 2 : schéma de la pompe Vergnet

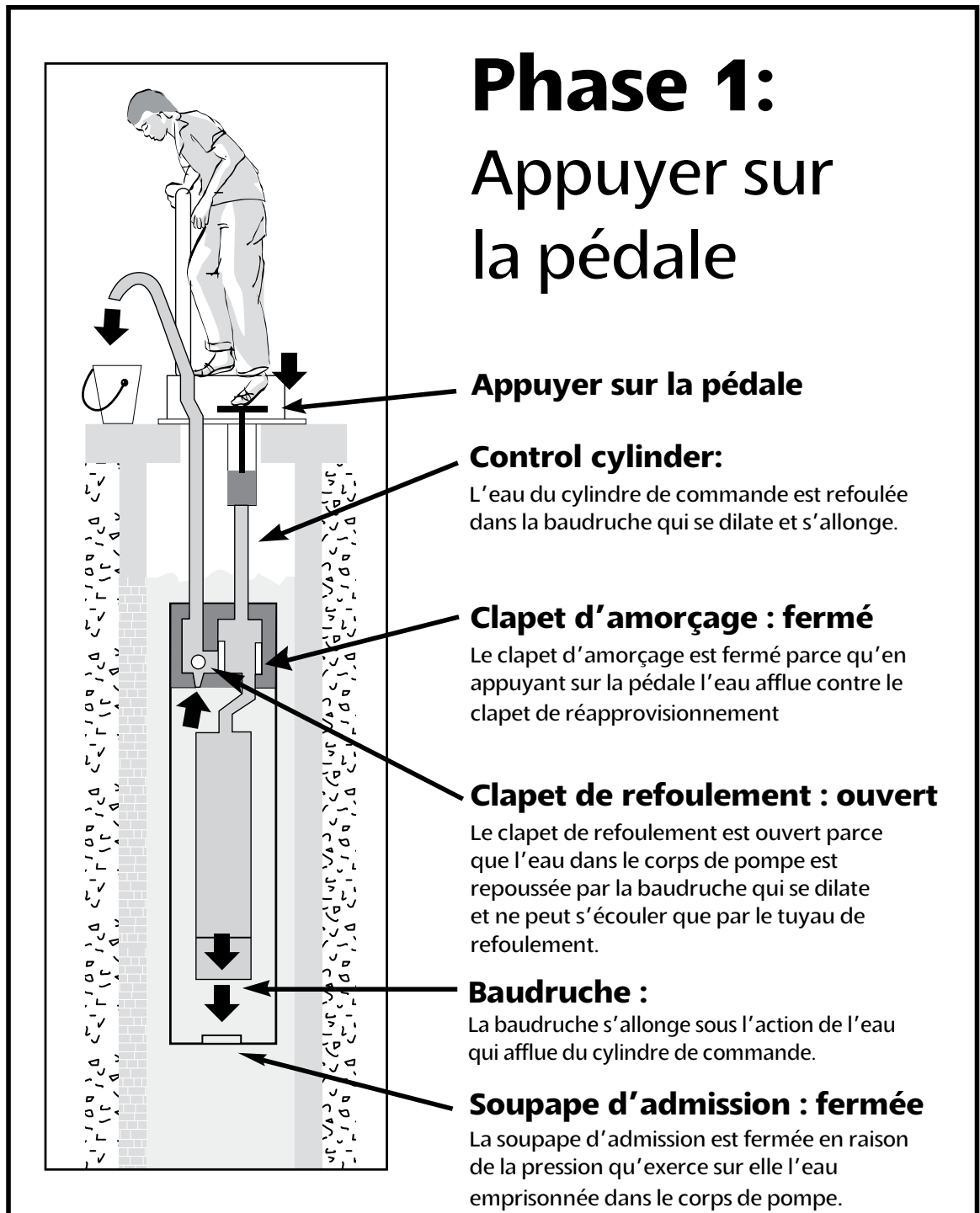
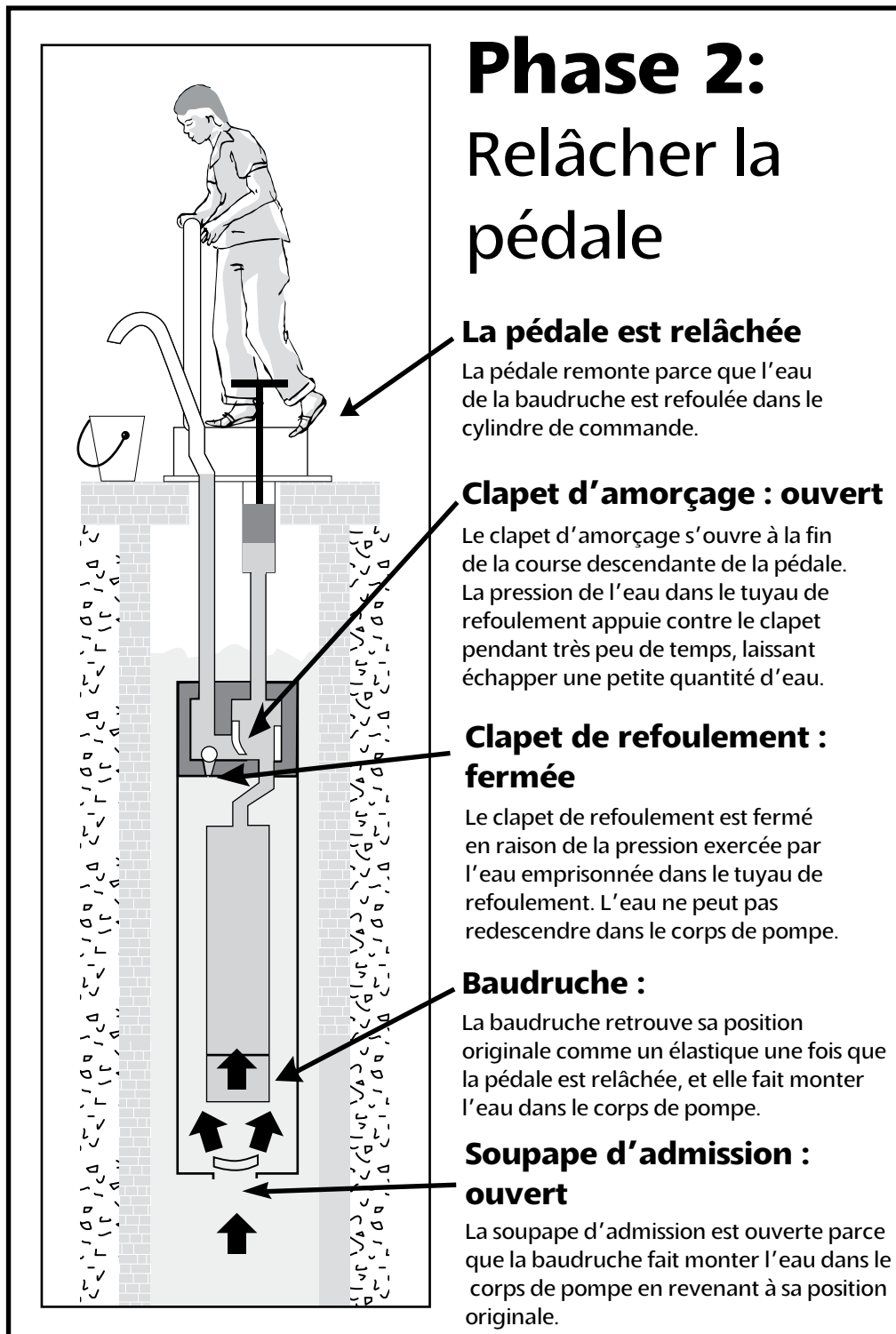


Figure 2b : schéma de la pompe Vergnet



Les *pompes rotatives* utilisent des roues à aubes / à ailettes, des vis, des lobes ou cavités en mouvement pour puiser l'eau. En tournant, le dispositif propulse l'eau en hauteur dans la cuvelage et vers la surface. Les puits d'une profondeur de plus de 100 m (300 pieds) sont généralement actionnés par des pompes rotatives motorisées.

Les *pompes hélicoïdales* sont des pompes de type rotatif et fonctionnent comme des vis allongées. Au fur et à mesure que la vis tourne, l'eau est emprisonnée entre la vis et le cuvelage et elle est remontée vers la surface. La monopompe est un type de pompe hélicoïdale rotative.

Types de systèmes d'énergie

POMPES À MAIN

Les pompes à main sont bon marché, leur installation et leur fonctionnement sont faciles, et elles peuvent théoriquement être entretenues à peu de frais par des techniciens locaux. Il existe deux types de base de pompes manuelles : *les pompes de reprise* et *les pompes aspirantes*. Les *pompes de reprise* sont idéales pour les ménages et les villages où l'eau se situe à des profondeurs considérables, en général de 7 à 40 mètres. Les *pompes aspirantes* conviennent aux puits où l'eau souterraine est proche de la surface, en général à moins de 7 m de profondeur. Différentes pompes à main sont conçues pour puiser l'eau à différentes profondeurs et il est donc important de choisir le type de pompe qui correspond à la profondeur du puits. Une liste des types de pompes courantes et de leurs caractéristiques techniques est présentée au tableau 8, page 48.

Les pompes à action directe comportent une poignée directement fixée sur le piston : aucun effet de levier n'est nécessaire et la tâche de l'opérateur consiste à saisir le piston et à l'actionner de haut en bas. Comme elles n'utilisent pas de levier, ces pompes conviennent très bien aux puits peu profonds pour lesquels un petit effort suffit à puiser l'eau sur de courtes distances. Ces pompes sont de conception très simple et ne coûtent pas cher.

Dans les pompes intermédiaires et alternatives à haute pression, les leviers ou autres mécanismes fournissent à l'utilisateur une aide pour faire fonctionner la pompe à la main. Le levier est la poignée de la pompe. Étant donné l'effort considérable exigé pour puiser l'eau à de grandes profondeurs, le levier allège la tâche de celui qui actionne la pompe. Les pompes India Mark III et Afridev utilisent des poignées leviers. On peut utiliser des volants montés verticalement ou horizontalement sur la pompe au lieu de leviers. L'utilisateur de la pompe fait tourner le volant et

TABLEAU 6

COMPARAISON DE POMPES

Type de pompe	Corde et seuil	Aspirante	À débit constant	Hélicoïdal	À turbine / centrifuge	À diaphragme	Centrifuge submersible (électrique submersible)	À bélier
Source(s) d'énergie	Manuelle, animalz	Manuelle	Manuelle, éolienne, animale	Moteur, générateur, câbles électriques, solaire	Moteur avec arbre	Manuelle, générateur, câbles électriques, solaire	Générateur, câbles électriques, solaire	(Eau)
Écart de capacités	7	15	15 à 30	100	120 à 360	15 à 60	40 à 240+	15
Personnes visées par source	150-200	150	300 (jusqu'à 2.000 pour les éoliennes)	1.000-5.000	500-5.000	300-2.000	1.000 à 5.000 (moins pour le solaire)	---
Profondeur max. du puits (m)	20-80	7	50 (jusqu'à 100 pour les éoliennes)	300	300	30-70	300 (moins pour le solaire)	Non utilisé avec les puits
Diamètre de puits requis (cm)	Grand, 100+	16	16	16	16	16	16	Non utilisé avec les puits
Coût total relatif	Faible à moyen	Moyen	Moyen (élevé pour éoliennes)	Élevé	Élevé	Élevé pour pompe et carburant	Moyen pour pompe élevé pour carburant	Faible à moyen
Fonctionnement et entretien	Très simple	Simple, mécanisme au-dessus du sol	Simple, entretien occasionnel requis, pas un problème pour pompes VLOM	Entretien par personnel qualifié requis pour source d'énergie et pompe	Entretien par personnel qualifié requis pour source d'énergie et pompe	BEntretien par personnel qualifié requis pour source d'énergie et pompe, économise peu l'énergie	Entretien par personnel qualifié requis pour source d'énergie et pompe	Simple
Avantages	Conception très simple ; faible coût d'entretien	Fabrication locale possible, facile à installer, peu d'investissement, aucun frais de carburant	Fabrication locale possible, facile à installer, peu d'investissement, aucun frais de carburant	Capacité de pompage élevée	Capacité de pompage élevée	Capacité de pompage élevée	Capacité de pompage élevée	Conception simple, aucun frais d'énergie
Inconvénients	Risque de contamination élevé, peut se tarir	Profondeur du puits limitée à 7 m ; faible débit ; amorçage peut contaminer le puits	Apports énergétiques, inefficace ; faibles débits	Frais énergétiques ; difficile à retirer du puits pour entretien ; pièces peut-être indisponibles	Frais énergétiques ; difficile à réparer en cas de panne de roulements ; pièces peut-être indisponibles	Frais énergétiques ; pièces peut-être indisponibles	Difficile à réparer ; frais énergétiques élevés	Demande un flux d'eau constant ; ne peut pas être utilisé dans un puits

D'après

- WaterAid. "Handpumps." Retrieved June 20, 2005 from the World Wide Web <http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/299.asp>
- Lifestwater International. Water for the World. "Selecting Pumps." Technical Note No. RWS. 4.P.5. Retrieved June 20, 2005 from the World Wide Web <<http://lifestwater.org/resources/rws4/rws4p5.pdf>>
- IRC. Small Community Water Supplies. IRC, Netherlands, 2002
- Baumann, Erich (2000). Series of Manuals on Drinking Water Supply Volume 7: Water Lifting. SKAT: Switzerland
- Vick, Brian, Clark, Ray (2007). "Comparison of solar powered water pumping systems which use diaphragm pumps." USADA/ARS Publication. Retrieved August 13, 2008 from the World Wide Web <http://arsserv0.tamu.edu/research/publications/Publications.htm?seq_no.115=210734>
- Purdue Research Foundation (2001). "Types of Pumps." Retrieved August 13, 2008 from the World Wide Web <<http://www.purdue.edu/envirosoft/private/src/types2.htm>>
- Bitterroot Solar, Inc. (2008). "Pumping systems." Retrieved August 13, 2008 from the World Wide Web <<http://www.bitterrootsolar.com/pumping/tsp.htm>>

cette action est mécaniquement convertie en un mouvement ascendant et descendant qui actionne la pompe. La pompe Volanta utilise un volant pour faire fonctionner la pompe.

Il est possible d'attacher des animaux à une roue horizontale et ils peuvent actionner la pompe en avançant tout en décrivant un cercle autour d'elle.

POMPES ACTIONNÉES AU PIED

La pompe à pied la plus courante se présente sous la forme de la *pompe à pédales*, qui est également un type de pompe aspirante, et elle fonctionne en mettant le pied alternativement sur un levier, puis sur l'autre. La *pompe à diaphragme Vergnet* fonctionne grâce à une seule pédale actionnée au pied pour générer une pression dans le puits, forçant l'eau vers la surface (fig. 2-2b).



Sean Sprague pour CRS

Pompe à pédales utilisée par un petit garçon en Inde.



Chris Seremet pour CRS

Pompe à pied Vergnet actionnée par une femme au Mali.

ÉNERGIE ÉOLIENNE

Les éoliennes sont utilisées partout dans le monde depuis des siècles. Si le vent constitue une ressource fiable, ces types de systèmes de pompage sont peut-être bien adaptés à l'adduction d'eau. Le système de pompage fixé à une éolienne ressemble à une pompe manuelle. L'eau peut être puisée à 100 mètres en quantités supérieures à celles des pompes manuelles traditionnelles. Le vent n'étant pas toujours constant, l'eau est habituellement pompée vers un réservoir où elle est stockée jusqu'à ce qu'elle soit utilisée.

ÉNERGIE ANIMALE

Les pompes à motricité animale fonctionnent sur les mêmes principes que les pompes à main, si ce n'est que ce sont des animaux qui actionnent les pompes. Les dispositifs de pompages les plus courants utilisent des animaux qui font tourner une grande roue attachée à la pompe, ce qui entraîne le mécanisme de la pompe. Depuis des temps très anciens, les animaux ont été utilisés pour actionner des systèmes de seaux pour puiser l'eau. Cependant, ces systèmes exposent les puits à la contamination et ne sont pas recommandés. Les animaux peuvent produire davantage que les êtres humains et peuvent donc pomper davantage d'eau en une journée de travail. Mais ils demandent des soins et de la nourriture et ils peuvent être nécessaires à d'autres activités, telles le labourage, à certaines époques de l'année.

ÉNERGIE PAR MOTEUR DIESEL

Les moteurs diesel peuvent servir à actionner les pompes, généralement les pompes rotatives ou hélicoïdales, submergées au fond des puits. Ces pompes sont entraînées par une courroie ou un arbre relié à un moteur en surface. La courroie ou l'arbre du moteur servent à faire tourner le rotor ou la vis de la pompe.



Chris Seremet pour CRS

A screw pump operated by drive belts turned by a diesel engine in Tanzania.

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

L'énergie électrique peut servir à faire fonctionner les moteurs qui actionnent les pompes. Ces pompes qui se trouvent habituellement au fond des puits, sont appelées pompes submersibles. Le moteur se trouve à l'intérieur d'un revêtement étanche et il actionne le rotor d'une pompe à turbine.

L'électricité peut être fournie par le réseau électriques et ses lignes à haute tension, le cas échéant, aussi bien que par des générateurs au diesel ou à essence, ou des panneaux solaires. Les pompes électriques submersibles de faible capacité fournissent généralement 10 litres par minute (<3 gallons par minutes) et coûtent quelques centaines de dollars, alors que des pompes de plus grande capacité peuvent puiser 100 litres d'eau (30 gallons) ou davantage par minute, et coûtent plusieurs milliers de dollar.

Les générateurs au diesel ou à l'essence coûtent des centaines ou des milliers de dollars selon la quantité d'énergie qu'ils produisent. L'inconvénient majeur de ces systèmes tient à leur coût d'exploitation. La disponibilité et le prix de l'essence sont fluctuants, et toute collectivité qui dépend de pompes actionnées par des générateurs doit disposer des ressources financières actuelles et futures nécessaire à leur exploitation. En cas de besoin, les réparations peuvent coûter très cher.

Les panneaux solaires évitent de payer le prix du carburant, mais ils coûtent cher à l'achat et leur entretien est compliqué. Ils coûtent entre 5.000 et 6.000 dollars US par cheval-vapeur d'énergie fournie. L'énergie solaire coûte cher parce que chaque cheval-vapeur demande des panneaux solaires supplémentaires. L'électricité peut être stockée dans des batteries pour faire en sorte que la pompe fonctionne la nuit et quand le temps est nuageux. Il peut être nécessaire de disposer de batteries et d'un réservoir si le débit d'eau du forage est faible. Pendant la journée, les panneaux solaires actionnent la pompe et chargent les batteries, tandis que les batteries actionnent la pompe la nuit. La pompe remplit les réservoirs la nuit, ce qui s'ajoute à l'eau pompée dans la journée quand l'utilisation de l'eau est élevée.

Les panneaux solaires peuvent être reliés à des pompes électriques et fournir de l'eau souterraine aux petites alimentations domestiques villageoises de seulement quelques litres par minute, ainsi qu'aux vastes projets d'irrigation sur plusieurs acres fournissant des centaines de litres par minute. Les applications solaires offrent un meilleur rapport qualité/prix dans les zones qui ne sont pas raccordées au réseau électrique et qui, sans cela, devraient compter sur du matériel de pompage fonctionnant

au diesel. Comme il a été dit plus haut, les systèmes de pompage solaires coûtent entre 5.000 et 6.000 dollars US par cheval-vapeur. Une pompe solaire d'un cheval-vapeur peut fournir 30 à 40 litres (10 gallons) par minute pendant la période de la journée où le soleil est haut. Sur une période ensoleillée d'environ 8 heures, ce serait l'équivalent d'environ 15.000 litres d'eau (4.00 gallons) par jour.

Les avantages et les inconvénients des différentes sources d'énergie pour alimenter les pompes sont indiqués dans le tableau 7. Les écarts de coûts associés aux divers systèmes de pompage sont illustrés dans le tableau 8.



Chris Seremet pour CRS

Panneaux solaires alimentant une pompe électrique submersible au Mali.

TABLEAU 7 COMPARAISON DES SOURCES D'ÉNERGIE		
Source	Avantages	Inconvénients
Humaine	<ul style="list-style-type: none"> • Ressource facilement disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de pompage limitée • Bien fondé du coût de la main d'œuvre
Animale	<ul style="list-style-type: none"> • Plus puissante que celle des humains • Salaires moins élevés • Fumier peut servir de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Animaux doivent être nourris • Peuvent être nécessaires pour d'autres activités
Éolienne	<ul style="list-style-type: none"> • Pas besoin d'acheter du carburant • Fonctionne sans opérateur • Peu d'entretien • Longue durée de vie • Peut être fabriquée sur place 	<ul style="list-style-type: none"> • Réservoir d'eau nécessaire pour les périodes peu venteuses • Coût élevé des investissements • Installation difficile
Générateur à diesel ou essence	<ul style="list-style-type: none"> • Rapide et facile à installer • Faible coût des investissements • Usage très répandu • Peut être transporté 	<ul style="list-style-type: none"> • L'approvisionnement en carburant peut être irrégulier et coûteux • Coût élevé des investissements • Brève durée de vie • Bruyant et pollue l'atmosphère
Lignes électriques publiques	<ul style="list-style-type: none"> • Utilise l'infrastructure existante • Entretien incombe à la société d'énergie • Connexion au réseau et achat d'électricité généralement moins chers que l'achat de générateurs et de carburant diesel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien incombe à la société d'énergie • Alimentation électrique peut ne pas être fiable • Variations de tension peuvent endommager le moteur de la pompe
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Fonctionne sans opérateur • Peu d'entretien • Installation facile • Longue durée de vie 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé des investissements • Batteries de secours et réserves d'eau nécessaires pour périodes nuageuses ou usage nocturne • Techniciens qualifiés nécessaires pour réparations • Donne moins de puissance qu'un générateur diesel

Références : ITDG. "Solar (Photovoltaic) Water Pumping." Retrieved June 21, 2005 from the World Wide Web <http://www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_pv_waterpumps.pdf>

TABLEAU 8 COÛT DU POMPAGE					
Type de pompe	Personnes visées par source	Coût d'investissement (USD)	Coût d'investissement par personne (USD)	Coût de maintenance annuel (USD)	Coût d'utilisation en USD par mètre cube d'eau pompé
Puits creusé à la main*	150–200	900–1,500	5–10	15	0.06
Puits creusé avec pompe à main	200	2,400–3,000	12–15	45	0.11
Forage exécuté manuellement avec pompe à main	300	3,600–4,500	12–15	45	
Forage exécuté mécaniquement avec pompe à main	300	1,000–1,500	20	50–120	0.14
Forage avec éolienne et pompe	500–2,000	35,000–85,000	18–170	1,600	0.10
Forage avec pompe électrique	1,000–5,000	40,000–85,000	8–85	4,000	0.11
Forage avec pompe diesel	500–5,000	40,000–85,000	8–170	5,000	0.22
Forage avec pompe solaire	500–2,000	35,000–85,000	18–170	1,600	0.10

* L'eau des puits ouverts a de fortes chances de contamination et n'est généralement pas potable. Les présentes données servent uniquement à comparer avec d'autres méthodes de captage et ne font pas la promotion des puits ouverts.

Remarque : les coûts sont exprimés en dollars US de 2001 ; les coûts du diesel et de l'électricité ont de grandes chances d'être plus élevés actuellement. Les prix en Afrique sont considérablement plus élevés qu'en Asie, avec des variations significatives entre les régions de chaque continent. Les chiffres cités ici doivent être utilisés à titre de comparaison et ne doivent pas être traités comme des coûts réels, pouvant être appliqués partout.

D'après :

- Wurzel, P. (2001). Drilling Boreholes for Handpumps. Working Papers on Water Supply and Environmental Sanitation / Vol. 2. St. Gallen, Switzerland: SKAT.
- WaterAid. "Handpumps." Retrieved June 20, 2005 from the World Wide Web: http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/299.asp
- Baumann, Erich (2000). Series of Manuals on Drinking Water Supply Volume 7: Water Lifting. SKAT: Switzerland.

TROISIÈME PARTIE : PLANIFICATION DE L'EAU SOUTERRAINE

3.1 Planification de l'exploitation de l'eau souterraine

Il est essentiel de réaliser une alimentation en eau saine et adaptée aux besoins pour réussir une action de développement. Toute action intégrale de développement rural doit comprendre des initiatives pour générer d'autres systèmes d'alimentation en eau ou améliorer l'infrastructure existante.



Debbie DeVoe pour CRS

Une source d'eau protégée améliore la santé publique et les moyens de subsistance des populations.

De nouvelles adductions d'eau au niveau du village peuvent satisfaire aux besoins élémentaires en eau pour la boisson et la cuisine, rendre l'alimentation plus saine avec les fruits et légumes des jardins à la maison et à l'école, et permettre le développement d'activités artisanales à petite échelle pour générer des moyens de subsistance améliorant grandement

la qualité de la vie. Dans certains cas, d'importantes améliorations peuvent être faites en testant d'abord l'alimentation en eau potable et en modifiant le système existant pour qu'elle reste propre et salubre. Comme il a été expliqué précédemment dans cet article, l'utilisation de l'eau souterraine pour l'alimentation en eau comporte des avantages qui en font souvent une excellente solution de rechange, ou un complément de l'eau de surface.

Quelques exemples de programmes d'eau souterraine qui peuvent jouer un grand rôle dans les projets de développement sont exposés plus bas.

Planification d'un projet d'eau souterraine

L'expérience montre que construire des puits demande de la planification et la participation des parties prenantes. Les programmes réussis d'exploitation des eaux souterraines à des fins tant domestiques qu'agricoles, comprennent généralement les éléments suivants :

1. Évaluation les effets socioculturels de l'installation et de l'emplacement des puits
2. Évaluation de la pérennité de l'utilisation des eaux souterraines dans une région;
3. Recherche des eaux souterraines effectuée par des techniques exploratoires géophysiques et de télédétection pour choisir le meilleur emplacement du puits et obtenir un débit maximum
4. Consultation des experts locaux sur l'emplacement du puits
5. Réunions avec les parties prenantes locales pour demander leur avis sur les meilleurs et les pires emplacements pour le puits
6. Mise en place d'un comité de l'eau
7. Sélection et formation des équipes chargées de l'entretien du puits
8. Choix du système de pompage approprié
9. Détermination d'un point de référence de l'incidence des maladies
10. Détermination de la disponibilité actuelle de l'eau
11. Installation et construction des puits
12. Contrôles vérifiant le débit et de qualité de l'eau du puits
13. Suivi et évaluation de la qualité de l'eau, de son utilisation, de taux

de maladies et de la satisfaction des parties prenantes rates, and stakeholder satisfaction

14. Mise en place des équipes chargées de l'entretien des puits
15. Formation au fonctionnement et à l'entretien du matériel
16. Mise en place d'un secteur privé pour fournir les pièces de rechange.

Réflexions sur le programme de forage

L'installation de forages exige l'utilisation de matériel de forage. L'utilisation de ce matériel dans un programme de forage peut être abordée de deux manières. La première implique l'acquisition de matériel neuf ou d'occasion si le projet doit être dirigé et exploité par l'organisme de développement ou un partenaire pour la mise en œuvre. La deuxième implique de sous-traiter les services d'un entrepreneur en forage local pour effectuer les travaux de forage et d'exploitation du puits. Ces deux approches sont exposées plus bas.

Achat de matériel de forage

Les facteurs suivants sont d'une importance cruciale en envisageant d'acheter du matériel de forage.

- La sélection de matériel de forage adapté aux conditions géologiques et aux milieux hydrogéologiques que l'on s'attend à trouver est primordiale.
- Les frais peuvent s'élever à 1.000.000 de dollars US, y compris les pièces de rechange et les mèches pour une seule foreuse qui peut fonctionner en substratum rocheux.
- Il doit être envisagé d'acheter du matériel de forage d'occasion. Une foreuse d'occasion en bon état peut être mise au point aux États-Unis, en Europe ou sur place et expédiée sur le site du projet avec d'abondantes provisions de pièces détachées à un coût bien moindre que celui d'une foreuse neuve
- L'entretien est crucial et il est nécessaire d'associer à l'équipe du projet un mécanicien bien formé et un responsable de forage.
- Les budgets du projets doivent inclure les frais d'investissement ainsi que les frais récurrents, y compris les fourniture de

Les initiatives axées sur l'exploitation, l'entretien et la réparation corrects des puits existants n'exigent pas de gros investissements et permettent d'assurer l'exploitation et la pérennité permanente des systèmes entiers.

construction du puits (cuvelage, ciment), les pièces de rechange pour le matériel et les frais administratifs et de main d'œuvre.

- Les frais de fonctionnement et de maintenance annuels et à long terme doivent être pris en compte dans le budget du projet.
- Il faut disposer d'une réserve de travail pour le matériel de forage pour que le projet soit économiquement faisable et que les bailleurs de fonds continuent de s'y intéresser.

Sous-traitance avec une société de forage locale

De même, quand il est envisagé de faire appel à des entrepreneurs locaux, il faut prendre les mesures suivantes :

- La disponibilité et la compétence des entrepreneurs locaux doivent être évaluées par un expert en matière de forage.
- Les références données pour des projets précédents doivent être contactées.
- Le devis de l'entrepreneur doit être évalué en se basant sur des travaux similaires réalisés pour d'autres clients.
- Le dossier du contrat pour le travail proposé doit comprendre un cahier des charges du forage détaillé, préparé par un expert.
- Les conditions requises par le contrat doivent comprendre un mécanisme d'assurance de la qualité des travaux. Par exemple, le client doit exiger un cautionnement et retenir une partie des paiements mensuels jusqu'à ce que le travail soit terminé.
- Le forage et la construction du puits doivent être surveillés et consignés de manière détaillée par un hydrogéologue qualifié.

Programmes de réparation et d'entretien des puits

Il arrive souvent qu'un ou plusieurs puits collectifs soient hors service pendant des mois ou des années à la file. Les initiatives axées sur l'exploitation, l'entretien et la réparation corrects des puits existants n'exigent pas de gros investissements et permettent d'assurer l'exploitation et la pérennité permanente des systèmes entiers. La pérennité des projets exige donc d'organiser un comité d'un comité de l'eau villageois, de personnel d'exploitation et une formation technique. Il est absolument

essentiel d'exercer un suivi permanent du fonctionnement et d'investir dans de bonnes procédures d'exploitation et de maintenance pour la réussite à long terme du projet.

Contrôles de la qualité de l'eau et programmes de santé publique.

La mauvaise qualité de l'eau est une cause importante de maladie dans les zones rurales des pays en développement. Des maladies débilitantes, la perte de productivité économique, une mauvaise qualité de vie et parfois des décès font partie des conséquences des maladies dues à l'eau. Les projets intégraux de développement rural doivent veiller à ce que les populations boivent une eau qui ne les rendra pas malades. C'est dans ce but que les programmes du CRS peuvent améliorer l'incidence sur la santé publique des sources d'eau souterraine des alimentations en eau existantes dans les villages. Voici quelques exemples de ces programmes :

- Programmes de suivi et de contrôles pour identifier les contaminants qui ont l'impact le plus direct sur la santé des collectivités. Les contrôles de qualité de l'eau doivent être effectués avant d'exploiter la source d'eau, et si celle-ci convient, à intervalles réguliers par la suite. Le suivi et les contrôles doivent à tout le moins être effectués tous les ans, même s'ils peuvent être plus fréquents au cas où la source desservirait des populations nombreuses.
- Programmes d'atténuation associés à des contrôles de qualité de l'eau, pour améliorer la qualité de la source d'eau souterraine. Ces programmes doivent améliorer les sources d'alimentation en eau existantes et comporter des mesures de protection de la tête de puits pour supprimer ou atténuer la contamination par l'homme des puits et des sources.
- Programme de formation à l'hygiène axés sur la protection des sources d'eau, le traitement et le stockage de l'eau sur place et sur d'autres problèmes liés à l'amélioration de la qualité de l'eau. Des programmes favorisant la sensibilisation à l'hygiène et l'amélioration des pratiques domestiques liées à l'eau sont essentiels pour bénéficier pleinement des avantages de l'exploitation des eaux souterraines pour la santé.

La protection de l'environnement joue un rôle important dans le maintien de la quantité et de la qualité de l'eau dans un aquifère.

Programmes de développement de l'irrigation à petite échelle

Les puits creusés à la main et les puits peu profonds peuvent tous les deux fournir de l'eau pour des petits projets d'irrigation. Les projets qui irriguent un ou plusieurs acres peuvent générer une croissance substantielle de la productivité agricole, ce qui aura des effets sur les revenus, les moyens de subsistance et la nutrition. En outre, les personnes qui souffrent du VIH et du sida, peuvent tirer un avantage particulier de la présence d'un puits au sein de la collectivité et jouxtant les jardins familiaux. Des programmes de puits creusés à la main pour arroser les jardins familiaux peuvent être mis en place au niveau des ménages et de la collectivité grâce à la main d'œuvre et aux matériaux locaux.

Programmes de protection des bassins hydrologiques

La protection de l'environnement joue un rôle important dans le maintien de la quantité et de la qualité de l'eau dans un aquifère. Les forêts ralentissent le ruissellement des eaux de pluie, ce qui permet à l'eau de s'infiltrer dans le sol et de recharger les aquifères. C'est ainsi que les programmes de sylviculture et de reforestation constituent non seulement des sources de revenus grâce à la vente de bois d'œuvre, mais ils favorisent également la conservation de l'eau.

Une récolte sélective des bois sert à la protection des aquifères quand il reste quelques arbres pour stabiliser le sol et retenir l'eau de pluie. Les coupes claires d'arbres exposent le sol aux effets directs de la pluie ce qui a pour conséquence l'érosion, des taux élevés d'écoulement des eaux de surface et une recharge très lente de l'aquifère. Les programmes axés sur la reforestation, la recharge des aquifères et les meilleures pratiques agricoles au sein d'un bassin hydrologique peuvent servir de complément aux programmes d'alimentation en eau.

A N N E X E S



- **ANNEXE A** Glossaire de termes techniques..... 56
- **ANNEXE B** Bibliographie et références suggérées..... 59
- **ANNEXE C** Géologie de l'eau souterraine 64

ANNEXE A

Glossaire des termes techniques

Aquifère

Formation géologique souterraine où l'eau peut être stockée.

Gravier filtre artificiel

Gravier et sable déposés au fond d'un puits pour améliorer l'écoulement de l'eau dans le puits.

Tarière

Une foreuse normalement actionnée à la main.

Bactéries

Micro-organismes monocellulaires.

Forage

Puits étroit creusé par un appareil de forage.

Forage au câble

Technique utilisée pour effectuer un forage dans laquelle un trépan à biseau est introduit dans le trou de forage pour pulvériser la roche.

Pompe centrifuge

Pompe utilisant un ventilateur rotatif ou rotor à l'intérieur du cuvelage, pour propulser l'eau dans un tuyau. On l'appelle aussi pompe à turbine.

Recharge d'un aquifère

Processus par lequel l'eau de surface ou de pluie s'infiltré dans le sol et reste stockée.

Coliforme

Forme de bactéries que l'on trouve couramment dans les eaux insalubres.

Exploitation d'un forage

Pomper rapidement de l'eau d'un puits pour en retirer la terre meuble et créer un remblai naturel de sable et de gravier au fond du puits.

Pompe à diaphragme

Pompe utilisant un soufflet en caoutchouc pour déplacer l'eau.

Désinfection

Processus visant à tuer les organismes vivants pour que l'eau puisse être consommée sans danger.

Coliformes fécaux

Ensemble de bactéries que l'on trouve couramment dans les excréments animaux et humains.

Lavage

Ajout d'air, d'eau, ou de boue dans un forage pour faciliter son creusement.

Eau souterraine

Eau qui se trouve en dessous de la surface du sol

Pompe hélicoïdale

Pompe utilisant un stator rotatif en caoutchouc à l'intérieur du cuvelage pour puiser l'eau.

Immunocompromis

Le fait d'avoir un système immunitaire affaibli.

Lançage

Ajout d'eau sous pression dans un forage pour faciliter son creusement.

Minage de l'eau

Utilisation excessive de aquifères, exploitation non durable des ressources en eau.

Pathogène

Tout organisme qui peut provoquer des maladies chez les humains

Test de pompage

Pomper rapidement toute l'eau d'un forage ou d'un puits dans une certaine période afin de déterminer le débit du puits.

Pompe à débit constant

Pompe dans laquelle un piston et un cylindre se trouvent au fond du puits.

Capacité de réservoir

Propriété d'un puits à stocker l'eau ; quantité d'eau pouvant être stockée dans un puits.

Percussion rotative

Technique de creusement d'un forage utilisant à la fois une action rotative et une action percussive inverse sur le trépan de forage.

Colmatage à la boue

Ajout de boue à un trou foré pour faciliter le forage.

Directives de Sphère

Recommandations pour la prestation de services de santé minimaux de base en réponse à une catastrophe.

Pompe électrique submersible

Pompe centrifuge électrique utilisée pour pomper l'eau d'un puits ou d'un autre plan d'eau.

Pompe aspirante

Pompe manuelle dont le piston se trouve dans la tête de la pompe, utilisant l'aspiration pour puiser de l'eau à moins de 7 mètres de profondeur.

Eau de surface

Eau qui se trouve au-dessus du sol Elle se trouve le plus souvent dans les cours d'eau, les lacs et les ruisseaux.

Puits tubé

Puits de petit diamètre creusé par un appareil de forage.

Turbidité

Eau trouble en raison de solides et sels suspendus et dissouts.

Pompe à turbine

Pompe utilisant un ventilateur rotatif à l'intérieur du cuvelage pour propulser l'eau dans un tuyau, appelée aussi pompe centrifuge.

Rendement d'un puits

Voir « Débit d'un puits »

Débit d'un puits

Débit maximum auquel l'eau peut être puisée d'un puits. C'est la vitesse à laquelle l'eau coule de l'aquifère dans le puits.

Action Contre La Faim. (2005). *Water, Sanitation and Hygiene for Populations at Risk*. Paris: Hermann Editeurs des Science et des Arts.

Aermotor, Inc. Home page. Retrieved July, 25, 2008 from <http://www.aermotorwindmill.com/Sales/Index.asp>

Arlosoroff, S. et al. (1987). *Community Water Supply: The Handpump Option*. World Bank.

Baumann, E. (2000). *Series of Manuals on Drinking Water Supply Volume 7: Water Lifting*. Switzerland: SKAT.

Bitterroot Solar, Inc. (2008). Pumping systems. Retrieved August 13, 2008 from <http://www.bitterrootsolar.com/pumping/tsp.htm>

Bollenbach, W.M. (1975). *Groundwater and Wells: A Reference Book for the Water-Well Industry*. St. Paul, MN.: Johnson Division, UOP, Inc.

Brush, R. E. (1979). *Wells construction: Hand dug and hand drilled*. Washington, DC: Peace Corps, Information Collection and Exchange.

Colin, J. (1999). *VLOM for Rural Water Supply: Lessons From Experience*. London: London School of Hygiene and Tropical Medicine, Loughborough University.

CRS. (2005). *Water Supply and Sanitation Technical Reference Library CD*. Baltimore, MD: Catholic Relief Services.

Driscoll, F. G. (1989). *Groundwater and Wells*. St. Paul, MN: Johnson Filtration Systems, Inc.

Elson, R.J., & Shaw, R.J. (1995). Technical Brief No. 43: *Simple Drilling Methods*. *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 13 (3), 15–18.

Fetter, C.W. (1988). *Applied Hydrogeology*. Columbus, OH: Merrill Publishing Company.

Foster, S., Tuinhof, A., Garduño, H., Kemper, K., Koundouri, P., and Nanni, M. (2006). "Groundwater management strategy for village and small town water supply," GW-MATE Core Group: World Bank. Retrieved August 13, 2008 from <http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/903930-1112347717990/21207901/GWMATEBN13.pdf>

Freeze, R. A. and Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.

ANNEX B

Bibliographie et références suggérées

Heath, R. C. (1983). *U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2220, Basic Groundwater Hydrology*. Denver, CO: USGS.

Hillbruner, C. (2005). *Building a Ferrocement Spring Box*. Baltimore, MD: Catholic Relief Services.

IRC. (2002). *Small Community Water Supplies*. Netherlands: IRC.

ITDG. "Hydraulic Ram Pumps." Retrieved June 21, 2005 from http://www.itdg.org/docs/technical_information_service/hydraulic_ram_pumps.pdf

ITDG. "Solar (Photovoltaic) Water Pumping." Retrieved June 21, 2005 from http://www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_pv_waterpumps.pdf

Jennings, G. D. (1996). "Protecting Water Supply Springs." North Carolina Cooperative Extension Service. Retrieved August 13, 2008 from <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/ag473-15>

Jordan, T. (1984). *A Handbook of Gravity-Flow Water Systems*. London: Intermediate Technology Publications.

Kruseman, G.P. & de Ridder, N.A. (1991). *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Publication 47*. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.

MacDonald, A.M., Davies, J., & Ó Dochartaigh, B. É. (2002). *Simple methods for assessing groundwater sources in low permeability areas of Africa*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/01/168N. 71 p.

Maine Geological Survey. (2005). "Groundwater, wells, and the summer of 1999." Retrieved August 13, 2008 from <http://maine.gov/doc/nrimc/mgs/explore/hazards/drought/oct99.htm>

Morgan, P. (1990). *Rural Water Supplies and Sanitation*. London: MacMillan.

Pickford, J. (1994). Technical Brief No. 39: Upgrading Traditional Wells. [Adapted from Rural water supplies and sanitation by Peter Morgan.] In Shaw, R.J. (Ed.), *Running water: more technical briefs on health, water and sanitation* (pp. 25–28). London: Intermediate Technology Publications.

Pickford, J. (1991). *The Worth of Water*. London: Intermediate Technology Publications.

Purdue Research Foundation. (2001). "Types of Pumps." Retrieved August 13, 2008 from <http://www.purdue.edu/envirosft/private/src/types2.htm>

Shaw, R. (Ed.) (1999). *Running Water*. London: Intermediate Technology Publications.

Skinner, B.H., & Shaw, R.J. (1992). Technical Brief No. 34: Protecting Springs—An Alternative to Spring Boxes. *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 11 (2), 15–18.

Skinner, B.H., & Shaw, R.J. (1994). Technical Brief No. 41: VLOM Pumps. *Waterlines: Journal of Appropriate Technologies for Water Supply and Sanitation*, 13 (1), 15–18.

Smet, J. & van Wijk, C. (Eds.) (2002). *Small Community Water Supplies*. The Netherlands: IRC Water and Sanitation Centre.

Sphere Project (2004). *The Sphere Project Humanitarian Charter and Minimum Guidelines in Disaster Response*. Geneva: Sphere Project.

Vick, B. & Clark, R. (2007). "Comparison of solar powered water pumping systems which use diaphragm pumps." USDA/ARS Publication. Retrieved August 13, 2008 from http://arsserv0.tamu.edu/research/publications/Publications.htm?seq_no_115=210734

Walton, W. (1970). *Groundwater Resource Evaluation*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.

WaterAid. "Hand dug wells." Retrieved August 13, 2008 from http://www.wateraid.org/international/what_we_do/how_we_work/sustainable_technologies/technology_notes/2059.asp

WaterAid. "Handpumps." Retrieved June 20, 2005 from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/299.asp

WaterAid. "Spring protection." Retrieved June 20, 2005 from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/300.asp

WaterAid. "Tubewells and boreholes." Retrieved from http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/298.asp

Water for the World. "Selecting a Well Site." Technical Note No. RWS. 2.P.3. Retrieved June 20, 2005 from <http://lifewater.org/resources/rws2/rws2p3.pdf>

Water for the World. "Selecting Pumps." Technical Note No. RWS. 4.P.5.
Retrieved June 20, 2005 from
<http://lifewater.org/resources/rws4/rws4p5.pdf>

Watt, S. B. & Wood, W. E. (1979). *Hand Dug Wells and Their Construction*.
London: Intermediate Technology Publications.

WHO. "Fact Sheet 2.2: Dug wells." Retrieved June 20, 2005 from http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_2.pdf

WHO. (2006). *Guidelines for Drinking-Water Quality, Third Edition, Volume 1, Recommendations and Addendum to Third Edition*. Geneva: WHO.

WHO Health and Water Facts. Accessed July 14, 2008 from http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/en/index.html

Wurzel, P. (2001). *Drilling Boreholes for Handpumps*. Working Papers on Water Supply and Environmental Sanitation / Vol. 2. St. Gallen. Switzerland: SKAT.

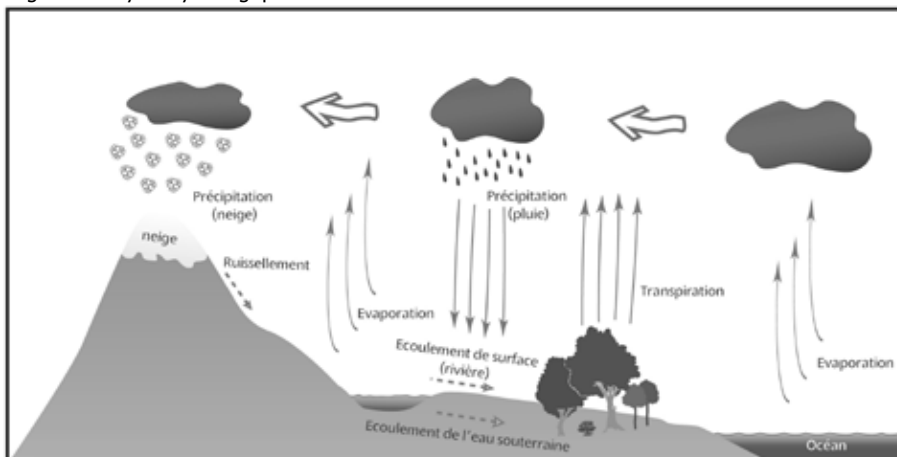
Sources d'eau souterraine

Les études sur la répartition des eaux dans le monde ont montré qu'environ les deux tiers de l'eau douce de la planète était stockée sous forme d'eau souterraine. À l'exception des calottes glaciaires et des glaciers, l'eau douce stockée en eau souterraine comprend presque toutes les ressources en eau douce utilisables. Des estimations ont établi que sur la totalité des ressources en eau douce, l'eau souterraine en représente 94 %, les lacs, réservoirs et rivières, 4 % et l'humidité du sol 2 %¹.

L'eau douce souterraine peut prendre des myriades de formes. Elles vont des immenses systèmes d'aquifères tels l'Aquifère nubien (en Afrique du Nord) et l'Aquifère Ogallala (à l'ouest du Texas, en Oklahoma, au Kansas, et au Nebraska) qui s'étendent sur des millions de kilomètres carrés, aux systèmes de bassins fluviaux localisés, et aux petites lentilles d'eau douce qui se trouvent entre la surface et l'eau de mer sous les îles du Pacifique. L'eau souterraine constitue la principale source d'eau de nombreux villages, petites et grandes villes, au service des utilisateurs domestiques, commerciaux, institutionnels et agricoles. L'irrigation des cultures dans le monde utilise davantage d'eau souterraine (70 % ou plus) que toutes les autres applications combinées.

Une vue d'ensemble des principaux éléments du cycle hydrologique, y compris l'évaporation des océans et des plans d'eau de surface, du ruissellement des eaux de surface et de l'évapotranspiration des plantes est illustrée dans la figure A.1.

Figure A.1 Cycle hydrologique



¹ Article 2220 U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 1983. Basic Groundwater Hydrology par Ralph C. Heath

ANNEXE C

Principes de base de l'eau souterraine

Une citation de Mc Guinness² rend bien l'essence de la différence entre l'eau souterraine et l'eau de surface, du fait même qu'elle réside dans des formations géologiques souterraines.

Elles [formations géologiques souterraines] reçoivent l'eau, la filtrent pour retirer les sédiments et les bactéries vecteurs de maladies, la stockent en quantités dépassant de loin ce qui pourrait être contenu dans tous les plans d'eau de surface naturels et artificiels réunis, égalisent sa température et qualité chimique, la transportent des zones de remplissage vers les zones d'utilisation et ralentissent son écoulement vers la surface pour compenser le flux des cours d'eau en saison sèche.

Le terme aquifère est utilisé de manière imprécise avec différentes connotations, mais la définition qui suit transmet le sens fondamental du mot du point de vue de sa fonction.

AQUIFERE: *Formation contenant de l'eau pouvant produire une eau de quantité et de qualité suffisantes pour atteindre l'objectif voulu.*

Les caractéristiques hydrogéologiques d'une formation d'eau souterraine, qui détermineront si elle peut être classée ou non comme aquifère, reposent sur les propriétés géologiques de la matrice solide et les propriétés hydrauliques de l'eau qu'elle contient. Quelque unique que soit chaque formation, le comportement de l'eau souterraine est régi par une série de principes scientifiques établis. L'eau souterraine est à la fois stockée et transmise au sein de l'aquifère. La loi de Darcy, la formule de base décrivant le mouvement de l'eau souterraine dans les conditions naturelles, a été trouvée par un ingénieur en hydraulique nommé Henri Darcy, en se basant sur les résultats d'essais en laboratoire majeurs qu'il a effectués en 1856³.

Les concepts et formules analytiques décrivant le comportement des eaux souterraines puisées dans différents types d'aquifères ont été principalement mis au point par un groupe de scientifiques entre les années 1930 et 1960. En établissant la manière dont réagissent les ressources en eau souterraine quand ces ressources sont pompées, leur œuvre a produit ce qui est considéré comme une méthode classique d'évaluation de la faisabilité de leur exploitation.

² Johnson Division, UOP, Inc. 1975. Ground Water and Wells, a Reference Book for the Water-Well Industry, p. 47.

³ Freeze, R. Allan and Cherry, John, 1979. Groundwater, Prentice Hall, p. 15 and Walton, William C., 1970. Groundwater Resource Evaluation. McGraw-Hill Book Company, p. 6.

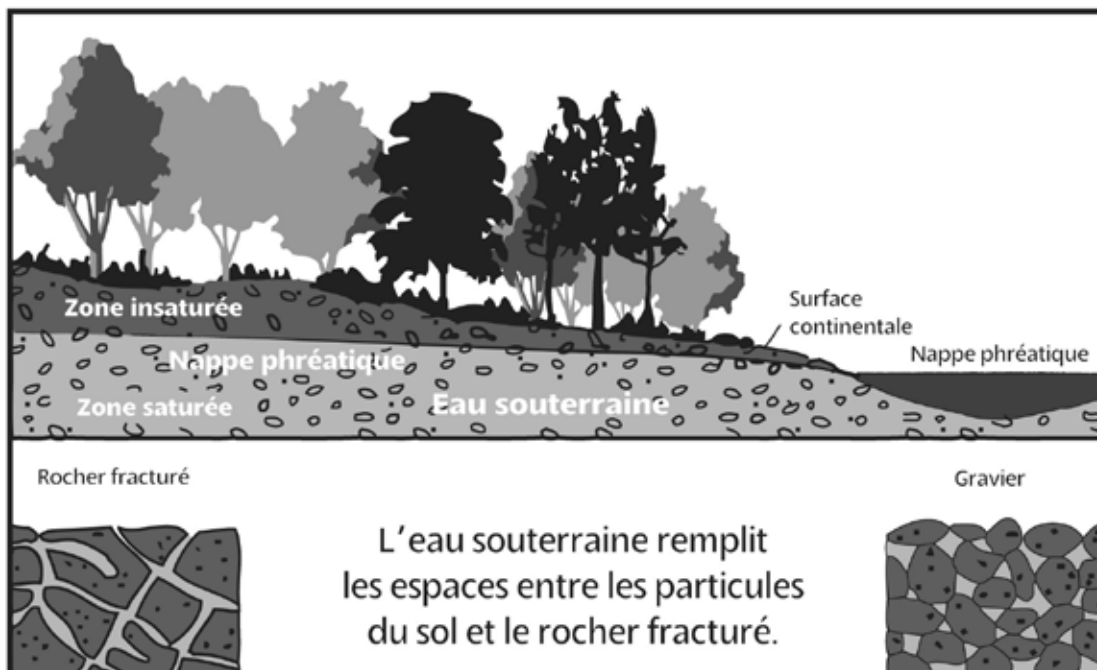
Termes relatifs au stockage des eaux souterraines

POROSITE: La porosité d'une formation contenant de l'eau est constituée par la partie de son volume composée d'ouvertures ou de pores, partie qui n'est pas prise par des matériaux solides [exprimés normalement en pourcentage de la masse des matériaux].

DÉBIT SPÉCIFIQUE: La quantité d'eau produite (débitée) par unité de volume de la formation, quand elle se vide sous l'effet de la gravité [exprimée en pourcentage].

L'eau souterraine se trouve dans des formations de substratum consolidées et non consolidées. Dans les formations non consolidées composées de milieux poreux (gravier, sable, limon, et argile), l'eau souterraine est stockée et circule dans les intervalles des pores entre les particules. La figure A.2 en donne une illustration graphique. Dans les formations de substratum, l'eau est stockée et circule dans les joints, fissures et cassures rocheuses, ce que l'on appelle porosité secondaire. En règle générale, l'eau souterraine circule très lentement à travers sa matrice géologique, souvent de l'ordre de quelques pouces ou pieds par jour. La rumeur faisant état de « rivières souterraines » n'est qu'un mythe dans la plupart des milieux géologiques. Cependant, les formations calcaires karstiques peuvent comporter des systèmes avec d'importantes cavités de dissolution, comportant des grottes et tunnel remplis d'eau.

Figure A.2 : Eau souterraine



Schema adapté par la Fondation des Eaux Souterraines, à partir d'un schéma de US Geographical Survey

TABLEAU A.1			
ÉCARTS TYPES ENTRE POROSITÉ, DÉBIT SPÉCIFIQUE ET CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE DANS LES TYPES DE FORMATIONS GÉOLOGIQUES			
Type de pompe	Porosité (%)	Débit spécifique (%)	Conductivité hydraulique (gpj/pied²)
Argile, limon	45–55	1–10	0.001–2
Sable	35–40	10–30	100–3,000
Gravier	30–40	15–30	1,000–15,000
Sable et gravier	20–35	15–25	200–5,000
Grès	10–20	5–15	0.1–50
Schiste	1–10	0.5–5	0.00001–0.1
Calcaire	1–10	0.5–5	

Source: Walton, William, C., 1970. Groundwater Resource Evaluation. McGraw-Hill Book Company. Pp. 33-36.

La totalité de l'eau se trouvant dans la porosité primaire et secondaire d'une formation géologique ne peut pas être extraite. Le débit spécifique ne constitue qu'une petite partie de la porosité totale et l'eau qui reste est retenue par l'action des forces moléculaires dans la formation. La différence entre la porosité totale et le rendement spécifique dans les formations géologiques courantes est illustrée dans le tableau A.1.

Termes relatifs à la circulation des eaux souterraines

GRADIENT HYDRAULIQUE [I]: *Pente de la nappe d'eau ou surface piézométrique en dessous de laquelle se produit la circulation de l'eau souterraine [souvent exprimée en pied par pied, ou mètre par mètre].*

CONDUCTIVÉ HYDRAULIQUE [K]: *La quantité d'eau qui s'écoulera dans la zone transversale d'une unité de matériau poreux tel un aquifère par unité de temps sous une unité de gradient hydraulique [souvent exprimé en gallons par jour par pied carré (gpj/f²), pied/jour ou m/jour].*

PERMÉABILITÉ [K]: *La conductivité hydraulique s'appelle aussi perméabilité, ce qui renvoie à la capacité d'un milieu poreux à transmettre l'eau.*

REMARQUE : les termes perméabilité et conductivité hydraulique sont souvent utilisés de manière interchangeable, en tant que mesure de la quantité d'eau pouvant être transmise à travers un aquifère. La transmissivité de l'aquifère qui tient compte de son épaisseur, mesure la quantité d'eau qui peut être produite, et par conséquent puisée, d'un puits muni d'une pompe.

COEFFICIENT DE STOCKAGE D'UN AQUIFÈRE [S]: *Le volume d'eau libéré du stockage, ou mis en stockage, par unité d'aire de surface de l'aquifère par unité de changement piézométrique [adimensionnel]. Le coefficient de stockage de l'aquifère est également connu sous le nom de débit spécifique d'un aquifère.*

TRANSMISSIVITÉ D'UN AQUIFÈRE [T]: *La quantité d'eau qui coule par une largeur d'unité de la section verticale d'un aquifère dont la hauteur correspond à l'épaisseur de l'aquifère par unité de temps sous une unité de gradient hydraulique. [En d'autres termes, la transmissivité de l'aquifère égale la conductivité hydraulique multipliée par l'épaisseur de l'aquifère et elle est souvent exprimée en gallons par jour par pied (gpj/f), p2/jour ou m2/jour.*

AQUITARD: *Une formation contenant de l'eau qui ne produit pas des quantités d'eau appréciables, mais par laquelle les fuites sont possibles.*

La quantité d'eau débitée dans un aquifère est définie par les propriétés ci-dessus dans un rapport connu sous le nom loi de Darcy, $Q = K I A$, dans laquelle le débit volumique (Q) en gallons par jour (gpj) est égal à la conductivité hydraulique (K) en gpj par pied carré (f²) multiplié par le gradient hydraulique (I) en pied par pied, par l'aire de la section transversale (A) en pieds carrés (f²).

Les formations non consolidées composées de particules finement granulées, comme l'argile et le limon, sont décrites comme relativement imperméables et présentent une conductivité hydraulique (perméabilité) très basse. Ces formations ne conviennent généralement pas en tant qu'aquifères et peuvent plutôt servir d'aquitards. Du fait que les formations non consolidées contiennent un pourcentage plus élevé de matériaux grossièrement granulés, comme le sable et le gravier, elles deviennent de plus en plus perméables et présentent une conductivité hydraulique supérieure. Considérant des épaisseurs d'aquifères équivalentes, les aquifères à grains plus gros plus perméables auront une transmissivité supérieure et les puits creusés dans ces formations auront des débits supérieurs, souvent de l'ordre de centaines ou milliers de gallons par minute (gpm).

Les unités de substratum peuvent avoir des contenances d'eau assez variables, avec des débits pouvant être deux ou trois fois plus importants pour le même type de roche, par exemple, le granite. L'ampleur du débit d'un puits dans un environnement donné dépend du degré et de

l'interconnexion des fractures du substratum ainsi que de la recharge saisonnière.

Types d'aquifères

Le profil géologique peut être constant ou composé de matériaux de perméabilité variable qui peuvent constituer une ou plusieurs unités d'aquifères, ou aucune. En cas d'alternance d'unités perméables et imperméables, on trouve des unités d'aquifères distinctes, séparées par des aquitards.

Les nappes phréatiques des aquifères sont des systèmes confinés. Dans ces aquifères, leur partie supérieure constitue la nappe phréatique où l'eau est à la pression de l'atmosphère. Les puits installés dans des aquifères non confinés présenteront des niveaux d'eau que l'on appelle souvent la nappe phréatique, connue aussi sous le nom de surface de la zone de saturation. La nappe s'élève en réaction aux précipitations (recharges) et tombe/chute pendant les périodes sèches. La nappe phréatique peut fluctuer selon les saisons de quelques pouces à des dizaines de pied ou davantage dans des conditions naturelles, en fonction de la formation de l'aquifère et de son emplacement topographique.

Les aquifères se trouvent également dans des conditions confinées et semi-confinées. Dans les systèmes confinés (artésiens), l'aquifère perméable est coincé entre deux couches relativement imperméables (argile ou substratum) appelées les unités de confinement. La pression de l'eau de l'aquifère est supérieure à la pression atmosphérique et il est possible de visualiser au-dessus de l'aquifère réel une surface analogue à celle de la nappe, qui représente la charge hydraulique, appelée surface piézométrique. Les puits installés dans un aquifère confiné ou artésien présentent des niveaux d'eau d'une hauteur supérieure à celle de l'altitude réelle de l'aquifère jusqu'à ce qu'ils deviennent équivalents à la surface piézométrique. Dans certains cas, un puits artésien jaillit du fait que la hauteur piézométrique au sein d'un aquifère artésien est telle que la surface piézométrique se trouve plus haut que la surface du sol. Des aquifères non confinés et confinés et l'effet de la pression sur la surface piézométrique sont représentés par un graphique dans la figure A.3.

Dans des conditions de confinement réel, l'aquifère est hydrologiquement isolé par les couches de confinement des unités inférieures et supérieures de l'aquifère. Les aquifères sont souvent semi-confinés seulement, ce que l'on appelle des artésiens semi-captifs. Un tel effet est important parce qu'au cours du pompage dans l'aquifère semi-confiné, l'eau en provenance

de l'unité moins profonde, aura des « fuites » qui serviront à recharger le système d'aquifères plus profond.

Termes relatifs au pompage des puits

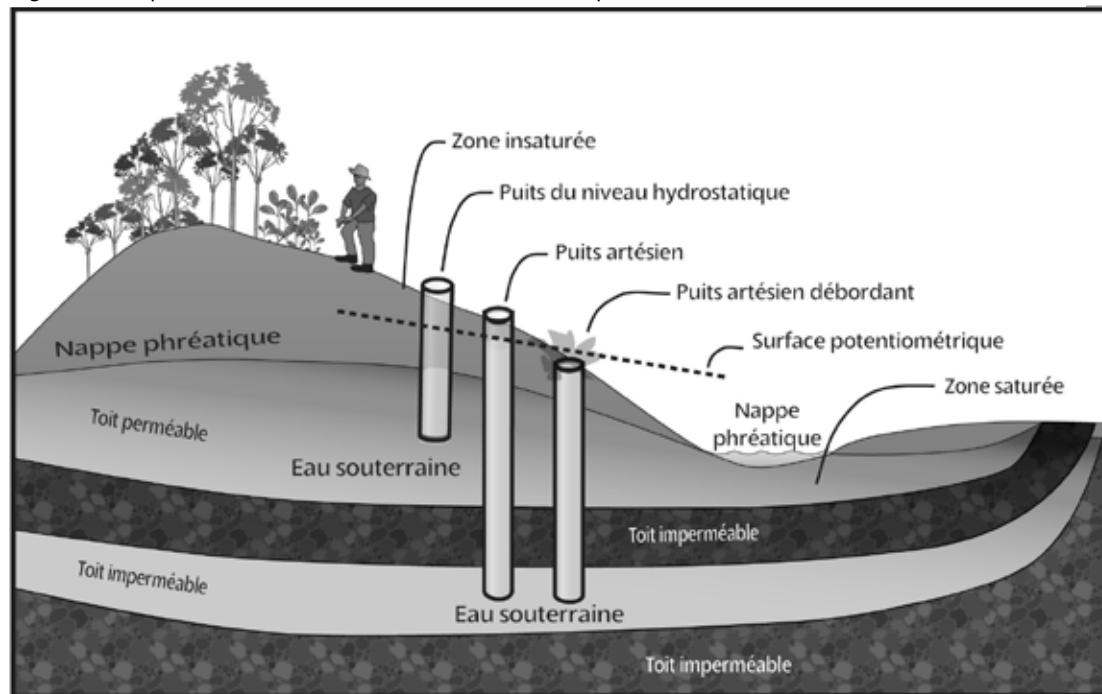
DÉBIT D'UN PUIS [Q]: Le volume d'eau par unité de temps puisée d'un puits, soit par pompage, soit par écoulement libre [exprimé souvent en gallons par minute (gpm), ou litres par seconde (lps)].

NIVEAU D'EAU STATIQUE: Niveau auquel l'eau se trouve dans un puits quand on ne puise pas d'eau. Il est généralement exprimé en tant que distance en pieds ou en mètres à partir de la surface de l'eau ou d'un point de mesure près de la surface du sol au niveau d'eau dans le puits.

SURFACE PIÉZOMÉTRIQUE: Niveau auquel l'eau s'élève dans un puits sous l'effet de la pression dans l'aquifère. Sans un aquifère confiné sous pression, la surface piézométrique se trouve au-dessus de la partie supérieure de l'aquifère.

RABATTEMENT [s]: Le degré d'abaissement du niveau de l'eau lors du pompage. Il s'agit de la différence en pieds ou en mètres entre le niveau d'eau statique et le niveau du pompage.

Figure A.3 : Aquifères confinés et non confinés et effets de la pression



CAPACITÉ SPÉCIFIQUE [Q/s]: Débit du puits par unité de rabattement, (habituellement exprimé en gallons par minute par pied de rabattement (gpm/f)). Par exemple, si la vitesse de pompage est de 160 gpm et que le rabattement est de 20 pieds, la capacité spécifique du puits est de 8 gpm par pied de rabattement au moment de la mesure.

RAYON D'INFLUENCE [R]: Distance entre le centre du puits et la limite du cône de dépression (du niveau d'eau) qui se forme autour d'un puits de pompage.

Les profondeurs des puits peuvent aller de quelques dizaines de pieds (puits peu profonds, creusé à la main) à plus de mille pieds ou 300 mètres. Dans les systèmes d'aquifères de substratum, les puits ont souvent des profondeurs dans les centaines de pieds, mais il n'est pas rare qu'elles atteignent mille pieds ou davantage. Les puits producteurs dans le substratum sont creusés à quelques milliers de pieds dans les régions arides, comme l'Aquifère nubien en Afrique du Nord et certaines zones en Australie.

Les puits producteurs profonds sont aussi courants dans les sédiments non consolidés de la plaine côtière Atlantique, à l'Est des États-Unis. Les profondeurs des puits sont souvent dictées par la profondeur et l'épaisseur des unités de l'aquifère sous-jacent visé et le niveau d'épaisseur d'aquifère saturé nécessaire à l'obtention du débit désiré pour le puits. La profondeur du puits, les niveaux d'eau statique et pompée, la capacité spécifique et les caractéristiques de l'aquifère constituent les facteurs contraignants pour déterminer le débit qu'un puits peut produire.

Les débits des puits sont soumis aux contraintes de l'hydraulique du système d'aquifère sous-jacent. Dans les aquifères non consolidés de sable et de gravier, le débit des puits peut aller de centaines de gallons par minute à des milliers (gpm), ou de dizaines de litres par seconde à des centaines (lps). Le débit des puits peut aussi varier considérablement au sein de certains types de systèmes d'aquifère de substratum. Par exemple, dans le granite, le débit des puits peut aller de moins de 0,1 gpm à plus de 500 gpm (moins de 0,01 lps à 30 lps), selon le degré et l'intensité de la fracturation, de l'interconnexion des fractures et la recharge saisonnière. Les systèmes aquifères calcaires peuvent présenter des débits aussi faible que 1gpm (0,06 lps) et aussi élevé que des milliers de gpm (des centaines de lps), suivant le degré de fracturation et les cavités de dissolution. Il est très important de déterminer avec soin l'emplacement des puits, notamment dans un système aquifère de substratum, du fait que les débits de puits peuvent être

largement augmentés en les plaçant de manière optimale, dans des zones de fracturation relativement intensive ou le long de formations structurales.

Le cône de dépression des grands centre de pompage peuvent interférer avec les utilisateurs du voisinage à l'intérieur de leur rayon d'influence. La présence d'irrigation à grande échelle ou de puits d'alimentation en eau urbaine peut avoir une incidence sur les niveaux d'eau des puits voisins allant de quelques pieds à plusieurs dizaines de pieds, selon l'ampleur du pompage et la distance.

L'eau souterraine comme source d'alimentation en eau : techniques d'étude

Les projets d'alimentation par l'eau souterraine peuvent commencer par la recherche d'eaux souterraines dans des zones totalement inconnues ou prendre la forme de l'ajout ou de la réhabilitation de puits dans des systèmes d'eau souterraine bien connus et utilisés depuis longtemps. Il existe de nombreuses techniques disponibles pour rechercher, étudier et exploiter avec soin une ressource en eau souterraine, parmi lesquelles :

- Évaluation des plateformes de détection à distance (imagerie par satellite)
- Analyse de photographies aériennes
- Études sur le terrain des puits et sources existants
- Géophysique de surface et de fond
- Calculs de recharge d'aquifère et d'équilibre hydrique
- Mesure de niveaux d'eau et préparation de cartes de flux d'eau souterraine
- Installation de puits d'observation et d'essais
- Essais de pompage d'aquifère
- Tests de capacité spécifique sur des puits individuels

SOURCES

Projet Sphère. 2004. *The Sphere Project: Humanitarian Charter and Minimum Guidelines in Disaster Response*. Geneva: Projet Sphère.

Driscoll, F. G. *Groundwater and Wells Second Ed.* St. Paul, MN: Johnson Filtration Systems, Inc.

EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES

Concepts de base pour l'élargissement des Programmes d'hydraulique du CRS



© Catholic Relief Services (Secours Catholique) • www.crs.org
pqpublications@crs.org • www.crsprogramquality.org