

**PETITS SYSTEMES  
D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE  
POUR PUITTS PROFONDS**

Deux études de bureau traitant des aspects des pompes à main pour puits profonds et des petits systèmes alternatifs d'approvisionnement eau potable mécanique

1ère Partie:       **Aspects techniques et de gestion**  
par Jos Besselink  
**INTERACTION DESIGN**

2ème Partie:       **Aspects financiers et socio-économiques**  
par Ferry van Wilgenburg  
**Économie d'Implantation Humaine**  
**INSTITUT ÉCONOMIQUE NÉERLANDAIS**

**INTERACTION DESIGN**  
L. van Gasterenstraat 204  
NL 7558 SZ Hengelo  
Pays-Bas

Tél: +31-(0)74-777304  
Fax: +31-(0)74-777631

**INSTITUT ÉCONOMIQUE NÉERLANDAIS**  
B.P. 4175  
NL 3006 AD Rotterdam  
Pays-Bas

Tél: +31-(0)10-4538800  
Fax: +31-(0)10-4523660

WN 11752

232.0 92 PE

Titre original: 'Small scale drinking water supply systems for deep wells'

Tous droits réservés © 1992

---

La recherche faite en vue de cette publication a été financée par le Ministère Néerlandais de la Coopération au Développement, qui garde les droits d'auteur. La citation est encouragée. De courts résumés peuvent être traduits et ou reproduits sans permission préalable, à condition que référence soit faite à cette publication. Pour la traduction et/ou la reproduction de toute la publication, il faut aviser à l'avance la Section Recherche et Technologie du Ministère de la Coopération au Développement (B.P. 20061, 2500 EB La Haye).

La responsabilité pour les contenus de cette publication et pour les opinions émises ne concerne que leurs auteurs; leur publication n'engage pas la responsabilité du Ministère Néerlandais de la Coopération au Développement.

---

**PETITS SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE  
POUR PUITTS PROFONDS**

Etude de bureau des aspects techniques et de la gestion des  
pompes à main pour puits profonds et des petits systèmes alternatifs  
d'approvisionnement en eau potable mécanique.

Jos Besselink  
InterAction Design

Juillet 1992

## TABLE DES MATIERES

	Page:
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1 But de l'étude	2
1.2 Importance de cette étude	2
<b>2 POMPES à MAIN POUR PUITTS PROFONDS: SITUATION ACTUELLE</b>	<b>4</b>
2.1 Introduction	4
2.1.1 Besoin en eau	4
2.1.2 Débit et puissance nécessaire	4
2.2 Principales configurations de pompes	8
2.2.1 Description des pompes connues actionnées à la main et au pied	8
2.2.2 Débit et limites: Courbes Q-H, rendement mécanique	9
2.2.3 Fabrication locale	11
2.2.4 Frais d'achat et d'installation	11
2.2.5 Entretien et frais	12
2.3 Conclusions et résumé	14
<b>3 PROBLEMES DES POMPES à MAIN EN PUITTS PROFONDS</b>	<b>16</b>
3.1 Introduction	16
3.2 Projets de mise en oeuvre	17
3.3 Le forage	18
3.4 Le principe mécanique et la construction de la pompe	19
3.5 Fabrication (locale)	21
3.6 Installation	24
3.7 Fonctionnement	25
3.8 Gestion du système de pompage	27
3.9 Entretien	29
3.10 Remplacement	32
3.11 Conclusions et résumé	33
<b>4 ALTERNATIVES POUR LES POMPES A MAIN: POTENTIELS ET LIMITATIONS</b>	<b>35</b>
4.1 Introduction	35
4.2 Systèmes à énergie solaire: systèmes photovoltaïques	40
4.3 Systèmes à énergie éolienne	45
4.4 Moteurs à combustion: diesel	50
4.5 Systèmes à traction animale	52
4.6 Hybrides	53
4.7 Gestion	55
4.8 Conclusions et résumé	59
<b>5 CONCLUSIONS FINALES</b>	<b>61</b>

## RÉFÉRENCES

### APPENDICE

I Termes de référence

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 BUT DE L'ÉTUDE

Le but de cette étude est de réaliser un inventaire des problèmes concernant les systèmes de pompage pour l'approvisionnement en eau potable de communautés rurales dans les pays en voie de développement. L'étude se concentre sur des villages ayant entre 300 et 2000 habitants, où on doit pomper l'eau à des niveaux phréatiques profonds (20 à 100 mètres de profondeur).

Les systèmes suivants seront comparés: pompes actionnées à la main ou au pied et systèmes de pompage ayant une force motrice fournie par un moteur diesel, de l'énergie solaire, éolienne ou animale. (Pour plus de détails, voir les termes de référence à l'appendice I.)

Le Ministère Néerlandais de la Coopération au Développement, section DST/SO (ancien DPO/OT), a patronné cette étude. Elle comprend une étude de bureau avec des données extraites d'une mission au Burkina Faso et au Niger. Le bureau InterAction Design (IAD) et l'Institut Économique Néerlandais (NEI) ont entrepris cette étude.

Les deux groupes rapportent en documents séparés:

- \* 1ère Partie: Les aspects techniques et de gestion (par IAD) et
- \* 2ème Partie: Les aspects financiers et socio-économiques (NEI).

Voici la 1ère Partie.

Hélas! L'étude n'a apporté que peu de nouvelles données (de terrain); le temps investi était trop court. D'ailleurs:

- \* Les projets et services travaillant sur de tels systèmes ont rarement une analyse prête sous la main. On a peu publié à ce sujet.
- \* La plupart des systèmes mentionnés sont dans une phase expérimentale et les résultats décevants ne sont pas présentés. De nombreux problèmes et coûts ne sont pas mentionnés. N'étant pas vus comme structurels, on les juge comme conséquence à des 'maladies infantiles' tels que des coûts de rénovation, des missions de soutien, etc.
- \* Des projets arrêtés depuis quelques années sont rarement étudiés. C'est pourquoi les résultats à long terme sont rarement connus (ils sont souvent décevants).

Pour ces raisons, les résultats de cette étude sont surtout d'une valeur qualitative.

N.B.: Désormais, des pompes actionnées à la main et/ou au pied seront appelées "pompes à main" dans ce rapport, à moins qu'une pompe actionnée au pied soit spécifiquement désignée.

### 1.2 IMPORTANCE DE CETTE ÉTUDE

Selon le "United Nations International Drinking Water Supply and Sanitation Decade", le nombre de personnes ayant accès à de l'eau potable a augmenté au cours de la dernière décennie de 1.349 à 2.083 millions, donc de trois quarts d'un milliard de personnes. Cependant, le nombre de personnes n'y ayant pas accès est resté pratiquement le même: presque 2 milliards! La cause principale est la croissance énorme de la population. La situation ne changera pas dans un proche avenir.

Nombre de personnes ayant accès à l'eau potable dans les pays en voie de développement(en millions):

	1980		1985		1990	
	servis	non servis	servis	non servis	servis	non servis
urbains	614	376	800	400	983	463
ruraux	735	1645	1000	1500	1100	1514
Total	1349	2021	1800	1900	2083	1977

La plupart de ces gens obtiennent leur eau à partir de puits ouverts et d'eau de surface, qui est polluée biologiquement et très souvent chimiquement. Cet approvisionnement en eau exige rarement des outils ou une organisation et très souvent la gestion est inexistante.

Particulièrement des systèmes de pompage, relativement simples à réaliser, ont été construits au cours des dernières années. Les approvisionnements restants sont situés dans des zones plus éloignées et d'accès difficile, avec une population clairsemée, avec des nappes phréatiques plus profondes et des débits limités. Dans les années à venir, nous serons confrontés à des problèmes concernant le remplacement des systèmes installés pendant la dernière décennie, qui sont devenus trop petits, vieillissés ou usés.

Le pouvoir d'achat dans les pays pauvres d'Afrique a baissé avec une moyenne de 30 % au cours de la dernière décennie. Ceci limite la perspective d'une dissémination autonome de ces systèmes, de la gestion villageoise et du remplacement aux frais des consommateurs.

La technologie des systèmes d'approvisionnement en eau a considérablement progressé au cours de la dernière décennie. Cependant, même les frais d'entretien dépassent souvent le pouvoir d'achat des utilisateurs. Les autorités locales aussi bien que les utilisateurs sous-estiment encore l'importance de l'entretien. Il est douteux que des systèmes plus complexes d'approvisionnement en eau soient jamais abordables pour les utilisateurs, surtout s'ils doivent payer les frais eux-mêmes, ce qui est la tendance, même si les frais d'installation du puits ou du forage ne sont pas à leur charge. C'est une raison de plus pour maintenir les frais (initiaux, périodiques et de fonctionnement) aussi bas que possible et de réaliser des systèmes vraiment durables à ce bas-prix.

Avec les (futurs) utilisateurs on doit choisir, soit d'acheter un nouveau système, soit d'agrandir ou de reconstruire le système existant. Les conséquences (futurs) doivent être correctement estimées. Ce rapport donne un résumé des systèmes de pompage actuels, offrant un meilleur choix. Les embarras techniques pour lesquels davantage de recherche est souhaitable, sont aussi décrits.

<sup>1</sup> Le tableau provient du Rapport d'Activité de WASH No. 13, qui a employé le matériel de Carlo Rietveld, "Water Supply and Sanitation in Fast-Growing Cities", l'article a été présenté à la session inaugurale du Collaborative Council, La Haye, Pays-Bas, Novembre 1988.

## 2 POMPES à MAIN POUR Puits PROFONDS: SITUATION ACTUELLE

### 2.1 INTRODUCTION

#### 2.1.1 BESOIN EN EAU

La plupart des systèmes modernes d'approvisionnement en eau potable pour les communautés rurales des pays en voie de développement, sont calculés sur une base de 15 à 20 litres/personne/jour. Ceci est considérablement inférieur à la consommation des communautés urbaines, où l'on atteint des consommations moyennes allant jusqu'à 50 litres/personne/jour. Parfois la consommation d'eau provenant du système est même plus faible: jusqu'à 5 l/p/j. Ceci est occasionné par:

- des habitudes culturelles: accoutumance à la survie dans des environs secs et
- la disponibilité de sources d'eau traditionnelles (profondeur du niveau d'eau et petite distance à parcourir) et
- les influences saisonnières (surtout quand au cours de la saison pluvieuse, des nappes d'eau deviennent accessibles dans ou près du village).

De nombreux villages ont du mal à utiliser des quantités d'eau plus grandes que celles auxquelles ils sont habitués. Employer de l'eau, par exemple en horticulture exige un grand ajustement culturel et souvent demande une sensibilisation et une formation<sup>2</sup>.

Lors de la planification d'un système il faut tenir compte de l'augmentation de la consommation occasionnée par la croissance de la population (souvent >3% par an, soit >34% en dix ans) et par la croissance du bétail (dans les communautés rurales, l'une de meilleures façons d'investir et d'économiser). Supposons que le puits ou le forage a une capacité suffisante pour alimenter les besoins croissants, la pompe restera le facteur crucial.

#### 2.1.2 DÉBIT ET PUISSANCE NÉCESSAIRE

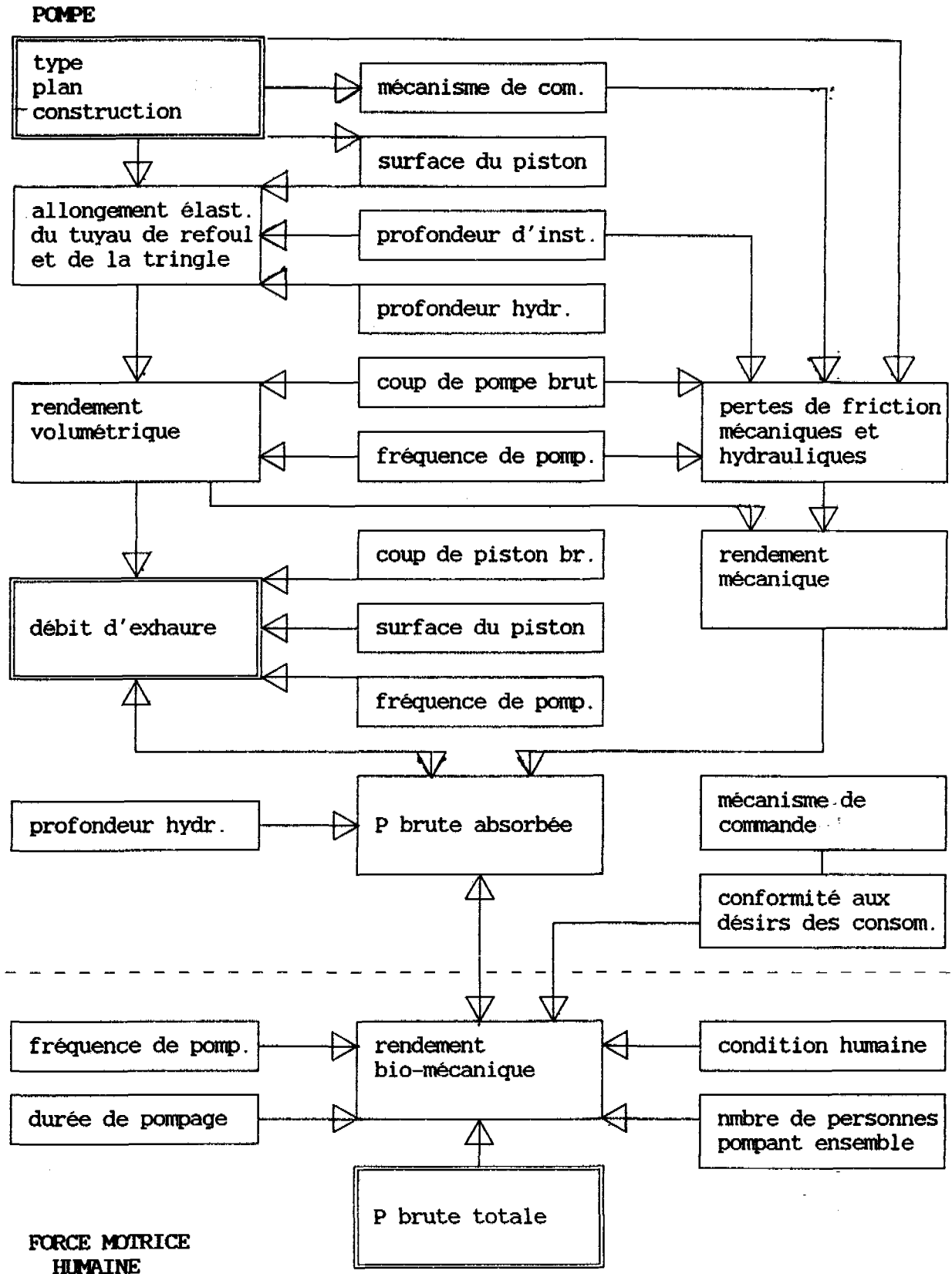
Le débit de la pompe dépend largement du type de pompe, de son adaptation à la profondeur présente, de la profondeur en elle-même et de la puissance de la "force motrice" (manuelle ou mécanique). Ses caractéristiques de construction mises à part, son adaptation pour une profondeur spécifique est surtout déterminée par sa facilité d'emploi et son rendement mécanique à une telle profondeur. Le diagramme 2.1 montre un résumé des relations différentes.

L'énergie produite par la "force motrice" humaine, donc la puissance brute produite par une ou plusieurs personnes, est influencée par la facilité d'emploi de la pompe. Ceci est défini par la nature, l'amplitude et la fréquence du mouvement et les forces requises sur le manche. Par exemple, une amplitude trop petite ou trop grande, ou bien une position de manche trop basse ou trop élevée, a un effet négatif sur le rendement bio-mécanique de la personne en train de pomper. D'autre part, une pompe facilement actionnée ne peut pas absorber beaucoup de puissance, ainsi son débit maximum sera limité.

---

<sup>2</sup> Les problèmes concernent entre autres les droits de propriété en rapport avec le terrain dans le voisinage direct de la source d'eau, aussi bien que de l'eau (l'appropriation d'une propriété commune), mais également le peu de familiarité avec la culture, sa consommation et commercialisation.

Diagramme 2.1 PRINCIPALES RELATIONS ENTRE  $P_{brute-total}$ , LE DÉBIT ET LE TYPE DE POMPE A PISTON





Des coups de bras plus larges et/ou un pompage plus rapide augmentent le débit. Mais une fréquence de pompage excédant un coup par seconde, combinée avec un large coup de pompe est physiquement presque impossible à réaliser, même quand la pompe est facile à actionner. Car le rendement bio-mécanique humain diminue considérablement et limite ainsi la puissance maximum.

Le rendement mécanique de la pompe dépend du type de pompe, de la profondeur hydraulique totale, du rendement volumétrique (surtout pour des pompes ayant un tuyau de refoulement élastique) et des pertes mécaniques et hydrauliques (dues à la friction). Le rendement mécanique de différentes pompes à main varie de moins 15% jusqu'à plus de 70%. En bref, la puissance nécessaire pour un certain débit (à des profondeurs identiques) peut différer de plus d'un facteur 4, selon le type de pompe (à piston)! Surtout à des grandes profondeurs, qui demandent beaucoup de puissance, il est important de choisir une pompe adéquate car le débit est déjà limité. Cette interrelation peut diverger fortement en fonction des différents systèmes de pompes. Pour plus de détails, voir section 2.2.

Les pertes dues à la friction sont définies par la construction de la pompe, le type de garniture du piston, etc. Elles augmentent plus ou moins proportionnellement avec la profondeur. Elles augmentent aussi avec la puissance, mais moins que proportionnellement. C'est pourquoi le rendement mécanique des pompes à piston (avec tuyau de refoulement rigide) augmente avec la puissance [1].

La déformation axiale de la tringle du piston et du tuyau de refoulement influencent directement le coup de piston effectif et donc ainsi le rendement volumétrique. Le coup de piston effectif est égal au coup de piston brut moins ces déformations axiales. La pompe à piston ayant un tuyau de refoulement en plastique (en PVC ou surtout en PE) est particulièrement gênée par ce phénomène. A de plus grandes profondeurs la déformation peut devenir égale au coup de piston brut et, par conséquent, la pompe ne donne plus d'eau (rendement volumétrique = 0) [2]!

Le rendement total de la combinaison utilisateur/-trice et de la pompe est: le rendement bio-mécanique multiplié par le rendement mécanique.

La puissance brute absorbée (effectivement propulsée dans la pompe) est calculée comme suit:

$$P_{\text{brute abs}} = P_{\text{net}} / \eta_{\text{mech}} = q \cdot \rho \cdot g \cdot H / \eta_{\text{mech}} \text{ [Watt]}$$

avec:  $P_{\text{net}}$  = puissance nette [W]  
 $\eta_{\text{mech}}$  = rendement mécanique [-]  
 $q$  = débit [m<sup>3</sup>/s]  
 $\rho$  = masse d'eau spécifique = 1000 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $g$  = accélération gravitationnelle = 9,81 [m/s<sup>2</sup>]  
 $H$  = profondeur totale (y compris friction hydraulique) [m]

- N.B.1. Puissance = débit \* profondeur \* rendement (\* constante), donc à une puissance donnée, le débit diminue quand la profondeur augmente.
2. L'énergie fournie à une pompe durant une journée est exprimée en kWh ou MJ. La comparaison avec le "débit journalier multiplié par la profondeur" (m<sup>3</sup> \* m = m<sup>4</sup>), donne une indication du rendement du système de pompage.

Pour les pompes sans piston des interrelations similaires existent entre la puissance brute, le rendement mécanique et la profondeur. Dans les pompes à diaphragme ainsi que dans les pompes à oscillation d'eau, la déformation du tuyau de refoulement semble avoir une influence comparable à celle des pompes à piston.

En pompant fortement un adulte peut produire environ 75 Watt ( $=P_{brute}$  abs) pendant 10 à 20 minutes. Si cela est techniquement possible, deux personnes peuvent produire ensemble près de 150 Watt pendant un intervalle similaire. La figure 2.1 montre ce que pourrait être le débit d'une pompe par heure, en pompant continuellement avec une puissance brute de 75 et 150 W.

En pratique, il apparaît qu'une pompe est utilisée effectivement pendant seulement la moitié du temps. Beaucoup de temps de pompage est perdu pendant le roulement des personnes qui actionnent la pompe, pour soulever les seaux remplis, pour le nettoyage et la remise en place du seau vide, pour le redémarrage de la pompe, etc. (N.B. Redémarrer la pompe à plusieurs reprises demande de l'énergie supplémentaire.) En d'autres termes: le débit n'est pas atteint en pratique, mais environ la moitié seulement.

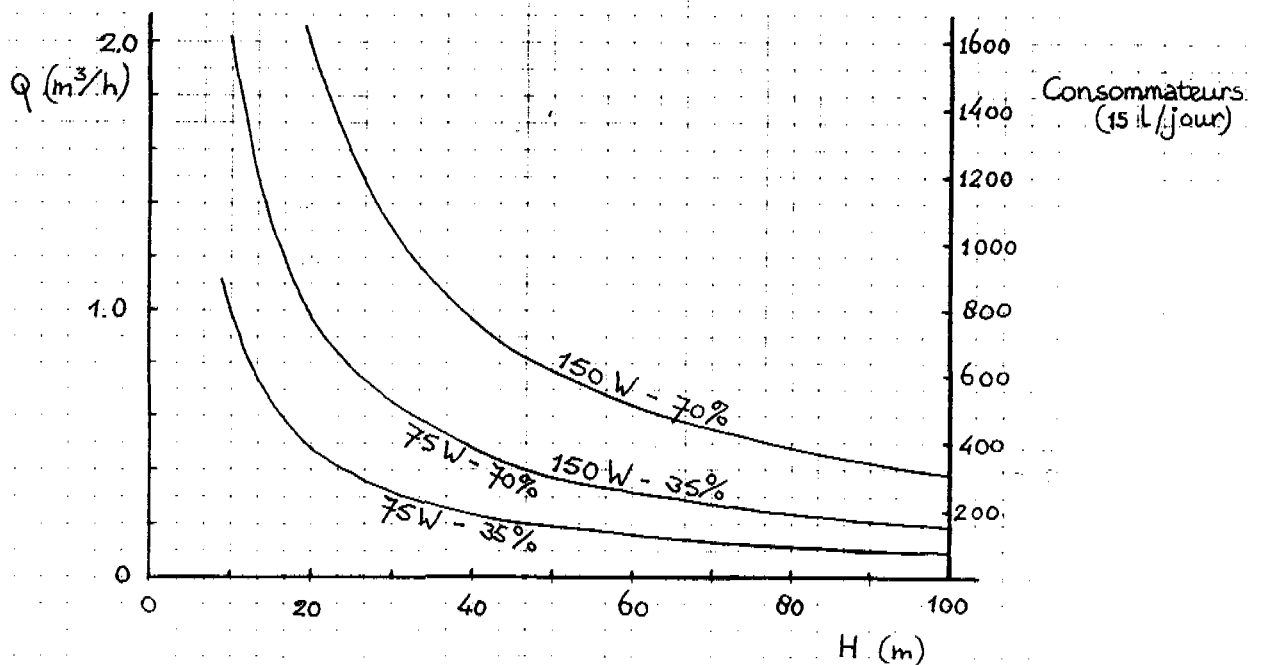


Figure 2.1 Le débit en fonction de la profondeur, de la puissance brute absorbée et du rendement mécanique.

$$P_1 = 75 \text{ W} \quad P_2 = 150 \text{ W} \quad \eta_{mech1} = 70\% \quad \eta_{mech2} = 35\%$$

Le long du second axe-y sont indiqués les nombres de consommateurs, qui peuvent être alimentés avec 15 litres/jour, supposant 12 heures/jour avec un temps effectif de pompage de 100%.

Que peut-on faire si une seule pompe ne peut pas satisfaire les besoins? Comment le débit peut-il être augmenté? Installer plus de pompes (et plus de forages)? Des pompes "suralimentées" ou un système mécanisé? Pour des détails supplémentaires, voir la section 4.6.

## 2.2 PRINCIPALES CONFIGURATIONS DE POMPES

### 2.2.1 DESCRIPTION DES POMPES CONNUES ACTIONNÉES à LA MAIN ET AU PIED

Au cours de la dernière décennie de nombreux systèmes de pompage différents ont été développés et perfectionnés, mais quelques modèles seulement sont réellement réussis. Les pompes les plus importantes, en rapport avec le nombre vendu, sont (datés de 1990):

- India MkII, plus d'un million, particulièrement en Inde;
- Vergnet, environ 30.000(?);
- Pumpenboese, environ 25.000; une copie améliorée d'India MkII avec le tuyau de refoulement, la tringle et le cylindre en inox;
- ABI ASM et -MN, ensemble environ 15.000;
- Kardia, environ 6.000;
- Inkar, environ 6.000; une copie améliorée d'India MkII avec un tuyau de refoulement en PVC au lieu d'acier galvanisé.

Des autres pompes "généralement connues" quelques milliers sont installées: Volanta, SWN, Mono, Pulsa (1.500) et Afridev.

Les pompes à action directe n'entrent pas dans cette liste. Les modèles actuels ne conviennent qu'à des profondeurs allant jusqu'à 20 mètres.

La sélection des pompes était basée sur une combinaison de fiabilité et des intérêts politico-financiers multi- et bilatéraux. En Inde, l'India MkII a dépassé tous ses concurrents, car cette pompe était l'une des premières de conception moderne et n'était pas coûteuse; à cause de la fabrication locale et la soumise à un contrôle de qualité strict. Entretemps, l'India MkII est devenue légèrement démodée. Le grand nombre de pompes installées entrave un développement supplémentaire: les dialectiques du progrès. En Afrique l'India MkII standard n'a pas réellement donné satisfaction, surtout en conséquence de l'usage intensif, de grandes profondeurs et souvent du contact à d'eau corrosive.

De nouveaux modèles n'ont guère de chance de pénétrer le marché, car les modèles de pompes actuelles atteignent des performances raisonnables voir même bonnes (la plupart des "maladies infantiles" sont résolues). Entre temps, l'attention de la recherche s'est déplacée vers la mise en oeuvre. De plus, de nombreux pays en voie de développement se sont standardisés sur quelques modèles (par pays ou par région).

Seules des pompes fiables, peu chères (en achat et entretien) et les nouvelles pompes entièrement fabriquées dans les pays en voie de développement pour des grandes et moyennes profondeurs peuvent avoir une chance de réussir. Motif: Pour qu'une pompe soit durable, il faut que son achat et son entretien puissent être assurés par les utilisateurs.

#### Principes de l'opération<sup>3</sup>:

India MkII: pompe à piston pour puits profond, levier actionné, tuyau de refoulement et tringle galvanisés;

Vergnet: pompe à diaphragme, actionné au pied, deux tuyaux flexibles PE entre le socle et le cylindre;

<sup>3</sup> Pour une description plus détaillée, voir [!].

ABI MN: pompe à piston pour puits profond, levier actionné, tuyau de refoulement et tringle galvanisés;

ABI ASM la superstructure d'ABI MN avec des composants souterrains Vergnet;

Kardia: pompe à piston pour puits profond, levier actionné, tuyau de refoulement vissé en PVC;

Pulsa: système de pompage d'eau par oscillation/inertie -(rebond par ressort)

-

SWN: pompe à piston pour puits profond, levier actionné, tuyau de refoulement vissé en PVC;

Volanta: pompe à piston pour puits profond, actionnée par un volant, tuyau de refoulement collé en PVC, cylindre extractible par le tuyau de refoulement;

Mono: pompe à rotor hélicoïdal (rotor hélicoïdal en acier dans un stator en élastomère), deux manivelles rotatives, un tuyau vissé en acier.

La Vergnet et la Pulsa peuvent être installées dans des forages courbés. A cause de leur tuyaux de refoulement flexibles ayant un petit diamètre, ces modèles se prêtent à l'installation de plusieurs pompes par forage. Les pompes à piston peuvent s'abîmer excessivement dans des forages courbés: le tuyau de refoulement s'abîme contre les parois de forage et la tringle s'abîme contre le tuyau de refoulement. Installer plus d'une pompe (à piston) dans un forage augmente le risque de dégâts (réciproque). L'installation de plus d'une pompe à piston par forage demande un forage de diamètre plus grand

### 2.2.2 DÉBIT ET LIMITES; COURBES Q-H, RENDEMENT MÉCANIQUE

La figure 2.2 indique les débits de quelques systèmes connus de pompes à une puissance brute de 100 Watt. Cette figure n'est pas très fiable, car les données proviennent de données de fabricants (leur données sont parfois basées sur une puissance brute allant jusqu'à 250 Watt) et de tests CRL. Ces tests étaient limités à une profondeur simulée de 45 mètres (le tuyau de refoulement n'était que de 8 mètres), où les effets dynamiques importants ne se produisent pas comme en pratique. Les valeurs dans la figure sont adaptées en fonction des déformations élastiques des tuyaux de refoulements en PVC.

La figure 2.2 montre un débit décroissant en profondeurs croissantes. Cette diminution de débit peut être occasionnée par (et/ou):

- \* L'augmentation des forces sur le manche/levier/pédale à de plus grandes profondeurs. C'est pourquoi la pompe est actionnée à une fréquence plus faible et/ou à coups de pompe plus courts;
- \* Une adaptation mécanique du coup de piston et de la longueur de l'excentrique comme employé par Volanta;
- \* L'adaptation du diamètre du piston à la profondeur: de 100 mm pour de petites profondeurs jusqu'à 40 mm pour des profondeurs de 50 m et plus;
- \* Des déformations élastiques accrues des tuyaux de refoulement plastique, l'hystérésis et une augmentation des pertes dues à la friction entraînant des pertes de rendement mécanique.

<sup>4</sup> Les valeurs données par des fabricants sont parfois beaucoup plus élevées et concernent les débits maximum réalisables (calculés et jamais mesurés!), parfois à une puissance brute de 250 W (calculs quelquefois basés sur un rendement mécanique de 100%) et donc des débits pour des intervalles très courts.

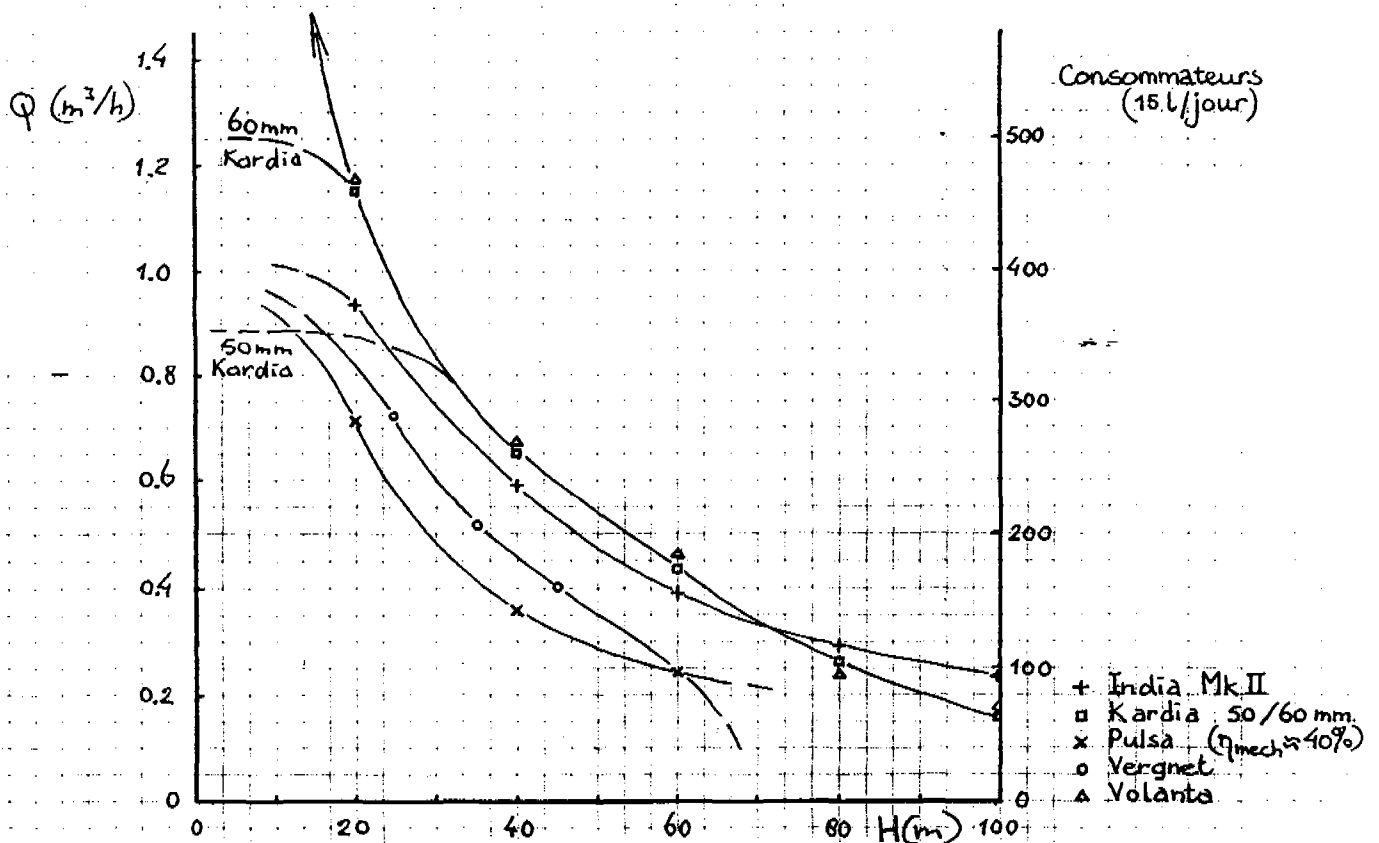


Figure 2.2 Débits estimés de plusieurs pompes actionnées à la main ou au pied à une puissance brute de 100 Watt (continuellement actionnées), en fonction de la profondeur de la nappe. (Ceci tient compte des déformations élastiques des tuyaux de refoulements en PVC.)

Le nombre de consommateurs qui peuvent être alimentés avec 15 litres/jour, en supposant 12 heures de pompage par jour et en tenant compte d'un temps de pompage effectif de 50% est indiqué le long du second axe-y.

N.B. L'adaptation du (contre-)poids du levier compense surtout le poids accru de la tringle à de plus grandes profondeurs.

En conséquence des déformations élastiques des tuyaux de refoulements en PVC, le débit à des profondeurs de 80 m ou plus, de, par exemple, une SWN muni d'un piston de 50 mm est presque nul. Par contre, un piston de 40 mm donnerait encore un rendement acceptable.

En plus des déformations du tuyau de refoulement de la Pulsa et de la Vergnet, l'hystérésis du matériau du tuyau de refoulement et l'absorption hydraulique sont également importantes. Ceci provoque une réduction plus que proportionnelle du débit. C'est pour cette raison que le nombre d'éléments élastiques dans le cylindre de la Pulsa est réduit pour les grandes profondeurs. La Vergnet n'est pas adapté 'mécaniquement' pour de plus grandes profondeurs. Pour les deux types de pompes, les utilisateurs doivent adapter eux-mêmes le mouvement de la pompe (coup et fréquence) en fonction de la puissance et de la fréquence (suivant la profondeur) "demandée" par la pompe, et en fonction de la force disponible (force fournie par une ou plusieurs personnes, enfant ou adulte).

Dans toute sa gamme, la Pulsa a un débit inférieur à celui des autres pompes mentionnées. En général, les utilisateurs mettent plus de force dans la Pulsa et dans la Vergnet pendant un temps court, à cause du débit décevant. Il est facile à deux personnes de pomper ensemble avec une Pulsa, contrairement à la

Vergnet, qui n'est pas équipée pour cela. De temps en temps, le système d'actionnement des deux pompes provoque des objections culturelles et pratiques. Les femmes enceintes surtout n'apprécient pas l'effort demandé.

La fréquence de pompage maximum physiquement réalisable avec les pompes à piston limite le débit de la pompe. Ceci est une conséquence spécifique des petites profondeurs et des pompes à pompage facile, quand l'envergure du coup de piston et/ou le diamètre du piston est/ne peut pas être agrandi (ou pas assez); voir la partie horizontale des lignes en figure 2.2.

Bien que la Kardia n'ait pas encore fait ses preuves à de plus grandes profondeurs, elle pourrait être une excellente concurrente de la Volanta en ce qui concerne le rendement mécanique. Les deux pompes sont pratiquement les seules pompes convenables dans des situations de grandes profondeurs et d'eau agressive (pH<6) où les tuyaux de refoulements galvanisés ont une durée de vie limitée. (L'inox n'a pas encore fait ses preuves dans de telles circonstances.)

Les pompes à rotor hélicoïdal ne sont utilisées qu'à une échelle limitée à cause de leur faible rendement mécanique. En outre, des tuyaux en plastique simple ne sont pas une solution appropriée pour ce type de pompe (en cas de corrosion) compte tenu de leur élasticité.

### 2.2.3 FABRICATION LOCALE

Une distinction claire entre la fabrication locale et l'assemblage des pompes à main est difficile à faire. Même avec la fabrication locale, il y a habituellement une relation directe entre "l'usine mère" et le fabricant local. L'usine mère fournit les matériaux, les pièces détachées, la connaissance spécifique de la production et des matériaux (gabarits de soudure, etc.) En fonction de la situation et les droits de licence, le fabricant local fabrique une quantité limitée ou importante des pièces; en particulier les pièces qui demandent un usinage intensif ou qui causent des dépenses de transport élevées à cause de leur dimensions. L'usine mère continue de fournir les pièces coûteuses, spécifiques à sa pompe et protégées par un brevet d'invention ou un droit d'auteur. Des exemples sont: les balles élastiques de la Pulsa et le diaphragme de la Vergnet.

Les droits et les devoirs concernant la conception de la pompe ainsi que les responsabilités qu'ils impliquent (par exemple la garantie) ne sont pas toujours clairement définis pour les deux parties.

L'India MKII est fabriqué dans plusieurs endroits dans le monde entier. Un document détaillé spécifie les matériaux, les pièces et la fabrication de la pompe. Pour l'Afridev un tel document existe également [12]. Il n'y a pas d'usine mère pour ces pompes, parce qu'elles ont été conçues par UNICEF-Inde et la Banque Mondiale-Kenya.

### 2.2.4 FRAIS D'ACHAT ET D'INSTALLATION

Les frais de construction d'un point d'eau peuvent être divisés de la manière suivante:

- \* les frais de préparation et de gestion;
- \* les frais de forage;

- \* la fabrication et l'installation de l'infrastructure de surface: la fondation de la pompe, le trottoir, le tuyau d'évacuation et le puissard, la clôture;
- \* l'achat, le transport et l'installation de la pompe;
- \* le contrôle et l'inspection;
- \* les droits d'importation, les assurances, les frais de livraison;
- \* les frais de garantie et la perte d'intérêts sur les paiements différés;
- \* les frais de la formation et de l'équipement des mécaniciens locaux;
- \* les frais d'installation du réseau de distribution des pièces détachées;
- \* les frais de sensibilisation et de soutien aux utilisateurs.

Tableau 2.1 LES PRIX à LA SORTIE D'USINE DE PLUSIEURS MARQUES DE POMPES AVEC DES TRINGLES EN INOX, POUR DES PROFONDEURS D'INSTALLATION DIFFÉRENTES (en Dollars US):

Marque	Source/année	Prof.:	20 m	30 m	40 m	60 m	80 m	100 m
ABI/ASM	[5] '87			1260			----	----
ABI/MN	[5] '87			924				
Bourga	[5] '87			1470				
India MkII	[5] '87			750				
Kardia	Preussag '90	pvc	1498		1907		----	----
Mono	[5] '87			1225				
Moyno	[5] '87			1575				
PB	PB '90	ssr	1027		1600	1996	----	----
Pulsa	Fluxinos '89	pe	1297		1374	1451	1528	
SWN	DHV '90	*** pvc	803		1066	1329	1592	----
Vergnet	[5] '87	pe		945			----	----
Volanta	[5] '87	pvc		1605				

- \* sans taxes
  - \*\* remise pour grandes quantités
  - \*\*\* par cent
  - non appliqué c.q. pas raisonnablement applicable sans provisions en plus.
- ssr tuyau de refoulement en inox  
pvc tuyau de refoulement en PVC  
pe tuyau de refoulement en PE, sans tringle

Les bailleurs de fonds et les autorités nationales/locales prennent en charge la majeure partie des frais. En général les dépenses des utilisateurs sont limitées à:

- \* une contribution à l'achat et à la réalisation de l'infrastructure (en espèces ou en nature, tels que les repas et le logement pour les équipes et l'assistance pratique);
- \* au temps pour délibérer sur le système et sa gestion.

Fréquemment, les mécaniciens locaux installent les pompes puisque se sont eux qui les entretiendront dans l'avenir.

## 2.2.5 ENTRETIEN ET FRAIS

Au cours de la dernière décennie, la fiabilité des pompes s'est considérablement accrue. D'une part, ceci est dû aux améliorations apportées à

certains détails importants, d'autre part à une sélection: les pompes de qualité moyenne ne sont plus installées, ni réparées. Ceci a parfois réduit les frais d'entretien de manière impressionnante. Malheureusement, la fiabilité d'un grand nombre de pompes utilisées pour les grandes profondeurs décroît encore fortement.

Le pourcentage des pompes en panne et la durée de la panne dépendent surtout de:

- \* la qualité de la pompe, de son âge, de la profondeur et de l'intensité de son utilisation;
- \* la provision des pièces détachées et de la structure d'entretien;
- \* la structure de gestion de la pompe; au niveau du village s'il y en a une?
- \* l'implication, du degré d'organisation et de motivation des utilisateurs;
- \* l'existence et de la qualité d'autres sources d'eau;
- \* du soutien par des projets de développement (la réparation, la rénovation, la sensibilisation, la formation, le renforcement du sens des responsabilités des utilisateurs).

N.B.1 La situation financière du village n'a pas d'influence claire.

- 2 Le pourcentage des pompes en panne à un moment donné et les frais de réparation dépendent en majeure partie des interventions récentes des équipes de réparation affiliées au projet. C'est, entre autre, pour cela, qu'il est difficile de connaître les frais d'entretien réels d'une pompe à main.

Les frais calculés par les fabricants et ceux obtenus par des études sur le terrain déforment presque toujours l'image:

- \* Dans certaines régions, un grand nombre de pompes sont en panne depuis longtemps; il est évident que si elles ne sont ni utilisées, ni réparées, les dépenses seront faibles!
- \* Lorsque les utilisateurs doivent prendre les frais à leur charge, les réparations coûteuses, en particulier, sont ajournées; par ex. quand cela concerne le diaphragme de Vergnet.
- \* S'il y a plusieurs pompes dans les environs, les réparations sont ajournées jusqu'à ce que toutes les pompes soient en panne. (Très souvent on démonte une pompe pour en réparer une autre; ces dépenses ne sont pas mentionnées.)
- \* De nombreux frais d'entretien et de réparations sont exclus, telle que l'intervention des équipes mobiles (des projets, des expatriés), le renouvellement gratuit des pièces coûteuses qui ne devraient pas s'abîmer, mais qui "s'usent" toujours beaucoup plus vite que prévu (par exemple le diaphragme déjà mentionné et les tuyaux de refoulements collés en PVC).

Il apparaît très souvent que même des années après l'installation des pompes, il n'y a toujours pas de système de distribution des pièces détachées efficace. C'est la raison pour laquelle des pompes restent hors d'usage longtemps. (Un cercle vicieux: à cause de la rareté des pièces détachées aux points de distribution ou d'une trop grande distance à parcourir et/ou des frais élevés des réparations, on ne vend que quelques pièces détachées. Pour cela, la distribution n'est pas rémunératrice et le système va en s'effondrant.)



Quelques frais d'entretien indiqués par les fabricants respectifs, ou provenant d'études effectuées sur le terrain:

- \* Kardia: à une profondeur moyenne de 37m: \$3,50; à une profondeur moyenne de 27m: \$7,00/pompe/an [Preussag]
- \* Pulsa: à une profondeur moyenne de 25m: \$46/pompe/an [Fluxinos]
- \* Vergnet: \$10/pompe/an [3]

Ces données différentes ne peuvent pas être comparées, surtout parce qu'on n'a pas mentionné quels sont les frais pris en compte, ni la manière dont l'entretien est organisé (responsabilité villageoise?). De plus, les circonstances dans lesquelles les pompes sont utilisées diffèrent fortement, comme par exemple: les profondeurs, l'intensité de l'utilisation, l'acidité de l'eau, etc. Dans certaines publications, les résultats d'études effectuées sur le terrain sur les frais d'entretien ont été clairement manipulés.

Chaque type de pompe a ses problèmes d'entretien spécifiques. Ceux-ci dépendent du principe de fonctionnement, de la conception de la pompe et des matériaux employés pour sa fabrication. Mais, trop souvent, ils proviennent simplement d'un manque de contrôle de qualité.

#### PROBLEMES D'ENTRETIEN SPÉCIFIQUES:

- INDIA MKII: la corrosion des pièces galvanisées, problèmes avec/après le remplacement des roulements de la manivelle;
- KARDIA: la fissuration des joints vissés du tuyau de refoulement en PVC, qui survient à de grandes profondeurs;
- PULSA: fractures qui surviennent dans les joints aux bouts du tuyau de refoulement élastique;
- VERGNET: les diaphragmes (coût environ 1/3 de toute la pompe)<sup>5</sup>;
- VOLANTA: la fissuration des joints collés du tuyau de refoulement en PVC, qui survient à de grandes profondeurs.

L'usure de ces pompes est réduite à des proportions acceptables. Les fabricants travaillent à échelle réduite à l'amélioration de certains détails.

### 2.3 CONCLUSIONS ET RÉSUMÉ

La fiabilité des pompes à main s'est accrue considérablement au cours de la dernière décennie. La plupart des pompes sont actuellement résistantes à la corrosion et l'usure est réduite à une proportion acceptable. Cependant, à une grande profondeur d'installation, la fiabilité décroît fortement, surtout à cause de la fatigue. La plupart des fabricants ne garantissent donc leurs pompes que pour des profondeurs allant jusqu'à environ 50 mètres.

La plupart des pompes à main ont été suivies pendant tout juste quelques années et pour cela, elles offrent une image assez rose des frais d'entretien. Mais, à long terme, les dépenses apparaissent fréquemment plus élevées que prévu.

Le rendement mécanique diminue fortement avec la profondeur pour les pompes à

---

<sup>5</sup> Entre temps, le fabricant de Vergnet prétend avoir développé un diaphragme ayant une durée de plusieurs années. Il ose garantir le diaphragme actuel pour trois ans (une fois par pompe).

main ayant des tuyaux de refoulement en plastique. Celle-ci réduit encore, parfois de manière dramatique le débit déjà limité pour les grandes profondeurs. C'est pour cette raison que seulement un nombre limité de ces pompes à main sont appropriées pour de très grandes profondeurs.

Actuellement, le développement technique des pompes à main est surtout concentré sur l'amélioration des détails.

Grâce à l'amélioration de la fiabilité des pompes à main modernes, surtout pour les profondeurs allant jusqu'à 50 mètres, la disponibilité est actuellement surtout limitée par la qualité de la gestion et par l'approvisionnement en pièces détachées.

Le potentiel pour accroître le débit des pompes à main est limité.

### 3 PROBLEMES DES POMPES à MAIN EN PUITTS PROFONDS

#### 3.1 INTRODUCTION

Les utilisateurs décrivent les principaux problèmes qu'ils ont avec l'approvisionnement en eau potable effectué avec des pompes à main:

- 1 la pompe ne donne pas d'eau; elle est en panne (une fois de plus);
- 2— la pompe donne moins d'eau que normalement;
- 3 la pompe ne donne de l'eau qu'après un certain temps de pompage;
- 4 il n'y a plus d'eau au bout d'un certain temps de pompage;
- 5 la pompe ne donne pas assez d'eau pour tout le monde;
- 6 pomper demande trop d'effort;
- 7 l'eau n'est pas bonne (le goût, la couleur, ...);
- 8 son actionnement amène des objections culturelles et/ou physiques;
- 9 les frais sont trop élevés.

En termes techniques ces causes peuvent être formulées de cette manière:

- \* Le système ne fonctionne pas (de façon optimale) à cause d'un défaut technique: 1+2+3;
- \* Le système ne fonctionne pas de façon optimale à cause d'une construction ou installation défectueuse, c.q. une mauvaise adaptation du système aux circonstances: les problèmes (4)+(5)+(6)+(7)+(8)+(9)<sup>6</sup>
- \* Le système est inadéquat: les problèmes (4)+(5)+(6)+(7)+(8)+(9).

Mis à part l'inconfort des utilisateurs, une panne temporaire de la pompe n'a rien d'exceptionnel. Chaque système de pompage demande un minimum d'entretien et de réparations. Cependant, si la pompe est fréquemment, et/ou pendant de longues périodes, hors d'usage il peut y avoir un problème sérieux. Cela peut avoir différentes causes:

- \* la pompe n'est pas adaptée à la situation: elle peut être mécaniquement trop faible, ergonomiquement et culturellement inadaptée, elle peut donner un trop faible débit, ...;
- \* la pompe est maltraitée, sabotée et pas convenablement entretenue;
- \* la pompe a des défauts de conception et/ou de fabrication;
- \* la pompe n'est pas convenablement installée;
- \* le forage ne suffit pas aux besoins;
- \* la gestion du système est mauvaise;
- \* le manque de pièces de rechange et/ou d'un mécanicien pour exécuter les réparations;
- \* l'absence des fonds nécessaires ou
- \* les frais sont considérés comme étant trop exorbitants.

Cependant, une panne fréquente peut aussi indiquer que les utilisateurs ne sont pas convaincus des avantages du système et qu'ils le laissent se dégrader! Pour plus de détails: voir Section 3.8 "Gestion du système de pompage".

Les difficultés peuvent provenir des causes techniques mais également:

- \* d'une étude préparatoire incomplète, et d'une mauvaise exécution du projet;
- \* d'une mauvaise gestion du système de pompage, et
- \* de la mauvaise volonté générale, de l'imprévoyance, de la naïveté, des intérêts (politiques), ...

---

<sup>6</sup> ( ) selon la nature et la cause sous ce dénominateur ou non.

La plupart de ces causes (c.q. des problèmes de fond) vont au-delà de la portée de ce rapport. Au premier abord cette étude se concentre sur des problèmes techniques, surtout ceux qui concernent le système de pompage. Cependant, certains de ces problèmes ont été jugés si importants qu'une brève élaboration en a été faite dans les paragraphes suivants.

### 3.2 PROJETS DE MISE EN OEUVRE

Pour réaliser un approvisionnement en eau potable simple mais efficace, plusieurs choses très différentes doivent être prises en compte. Elles varient de la politique à la culture, à la religion, à l'histoire, à l'(hydro-)géologie, à la technologie de forage, à la technologie de pompage, à la socio-économie, à la gestion, aux problèmes interhumains, ...

Ces problèmes sont très souvent sous-estimés. Ceci est démontré (après tout) par une mauvaise instauration des études préparatoires et de la mise en oeuvre (concernant entre autres la coopération, la sous-traitance et son contrôle, la sensibilisation, la formation et le suivi-évaluation). Ceci est surtout occasionné par un manque de connaissances, de la naïveté et à la pression due au manque temps. Ceci peut conduire une adaptation inadéquate du système mis en oeuvre pour l'application requise ou à seulement un court temps d'opération.

Un plan flexible des projets de vulgarisation est nécessaire afin de pouvoir s'adapter aux situations et aux problèmes inattendus. Le suivi-évaluation est indispensable afin d'être informé opportunément des goulots d'étranglement.

La coordination entre différents projets de mise en oeuvre dans la même région ou les régions voisines laisse beaucoup à désirer. Il arrive souvent que les expériences ne soient pas partagées et des fautes sont ainsi répétées. Les villages ne sont pas traités sur un même pied d'égalité et les bailleurs de fonds et les projets sont montés les uns contre les autres.

### SENSIBILISATION

Le but de la sensibilisation est: d'informer les intéressés, de les convaincre de l'importance des activités définies et de cette façon, d'encourager leur contribution. Tout ceci dans un effort de créer des systèmes de pompage durables.

Quelques éléments de la tâche:

- \* étudier la situation socio-économique de la région et recueillir des informations détaillées concernant les villages;
- \* co-définir la stratégie des interventions de projets dans les villages;
- \* créer et entretenir la communication entre le projet et le village, comme un intermédiaire bien informé;
- \* informer les villageois sur les interventions du projet: le but, la méthode de travail, les conditions, les conséquences (la gestion de la pompe, les conséquences financières, l'entretien, etc.);
- \* stimuler les discussions sur ces matières, faire appel à leur sens des responsabilités, promouvoir la participation des femmes dans la gestion du système, etc.;
- \* seconder la réalisation de la prise en charge de l'entretien par le village (VLOM: un système de gestion où les utilisateurs sont responsables de la gestion de la pompe, de son entretien, des

- \* réparations et des frais concernés<sup>7</sup>);
- \* le suivi- et l'auto-évaluation.

En outre, la sensibilisation est un facteur important dans:

- \* la formation, la motivation et, si nécessaire, la "correction" des mécaniciens/artisans réparateurs;
- \* l'orientation des membres du projet vers les villageois et les mécaniciens;
- \* l'entretien des contacts avec les autorités locales.

Quelques problèmes concernant la sensibilisation:

- \* Il arrive fréquemment que l'équipe de sensibilisation ne soit formée qu'après l'installation des pompes. A ce moment-là, les problèmes de gestion de la pompe sont devenus un phénomène général. L'équipe doit trouver une issue: en essayant de faire participer les utilisateurs.
- \* Cette équipe de sensibilisation a une tâche ingrate lorsque les qualités du système de pompage sont décevantes (le débit, la fiabilité, la durée, les frais d'entretien, etc.).
- \* La compétition entre les techniciens de projet ("forts") et les hommes/femmes de l'équipe de sensibilisation ("faibles"): des affaires d'hommes contre femmes.

Les conséquences éventuelles d'une sensibilisation inadéquate:

- \* le manque d'entretien et de réparations dus à une gestion défectueuse de la pompe;
- \* les villageois sont mal informés ce qui aboutit à une incompréhension, une opposition et un refus;
- \* le projet n'est pas au courant des problèmes au village et de leurs causes;
- \* le manque de progression du projet: des problèmes avec les villages et les autorités.

### 3.3 LE FORAGE

Le débit maximum du forage peut être insuffisant, par exemple à cause des circonstances géologiques ou à cause d'un travail mal exécuté (le forage n'est pas assez profond ou est mal développé, la couche n'est pas bonne, le filtre est mauvais, etc.). Ou bien le forage peut s'ensabler, à cause d'un trop gros filtre ou d'un revêtement fissuré. Cela peut aboutir à une pompe coincée et à une usure excessive, sans compter la pollution de l'eau pompée.

Un forage non-aligné, ou des parois en partie effondrées, peuvent non seulement aboutir à l'endommagement du tuyau de refoulement et de la tringlerie (les guides), mais aussi à l'endommagement des parois elles-mêmes. (N.B. Aucun forage n'est complètement droit et vertical!)

Une profondeur d'installation du cylindre mal choisie peut ainsi causer des problèmes:

- \* la pompe peut être à sec, à cause d'une profondeur insuffisante; en dehors d'un mauvais calcul, ceci peut être dû à:
  - \* une sous-estimation des effets saisonniers et de l'abaissement dynamique du niveau de la nappe d'eau;

---

<sup>7</sup> L'équipe de sensibilisation doit souligner l'importance d'un entretien continu des sources d'eau actuelles. Celles-ci sont importantes comme réserve en cas de panne (prolongée) de la pompe, ce qui n'est pas simplement imaginaire!

- \* un filtre de forage trop petit ou trop fin, aboutissant à une grosse baisse de niveau d'eau dans le forage, empirée vers la fin par l'encrassement du filtre;
- \* de l'eau polluée et le piston coincé à cause d'une profondeur de forage insuffisante, respectivement la suspension du cylindre de la pompe dans le collecteur de sable au dessous du filtre de forage.

La qualité de l'eau dépend du site (de l'implantation) et de la profondeur du forage, en d'autres termes, de la nappe aquifère percée. Les consommateurs remarquent la différence, entre autre, par le goût, la couleur et l'acidité: symptômes d'une pollution biologique et chimique. Les choix sont généralement limités, surtout par rapport à la pollution chimique.

En outre une superstructure incomplète ou mal située (par exemple trop basse) peut occasionner des problèmes: par exemple, l'absence d'une dalle de pompe, d'un drain d'eau perdue, et d'un puisard ou d'une clôture. Dans de tels cas, le nettoyage (pour empêcher le bain de boue) est très frustrant, surtout lorsque l'utilisation est intensive. L'eau polluée pourrait même refluer dans le forage.

La plupart de ces problèmes sont liés à une mauvaise étude préparatoire, à l'absence d'instructions claires, à l'ignorance de conditions importantes (particulièrement en ce qui concerne le site du forage), à une exécution défectueuse du forage, une mauvaise installation de la pompe, ou bien une surveillance insuffisante. Une autre raison est le manque des moyens simples pour vérifier l'alignement et de l'état du tube du forage.

**ARTICLE DE RECHERCHE TECHNIQUE:** Concevoir un moyen simple pour contrôler l'alignement et l'état des tubes de forage.

### 3.4 LE PRINCIPE MÉCANIQUE ET LA CONSTRUCTION DE LA POMPE

#### PROBLEMES LIÉS AU PRINCIPE MÉCANIQUE DE LA POMPE:

- \* Les pompes à piston comme celles à diaphragme ont une action de pompage intermittente qui crée des ondes de pression dans la colonne d'eau et une résonance. Celles-ci intensifient non seulement la variation des charges dans le tuyau de refoulement (et sur la tringle de la pompe), mais aussi ce que l'on appelle la fatigue du matériel. Les conséquences apparaissent surtout dans les joints des tubes (en plastique; vissés/collés). C'est la cause principale des problèmes techniques avec les pompes à main, surtout à de grandes profondeurs. Les conséquences sont les suivantes: des réparations excessives et le repêchage des pièces de pompe brisées qui sont tombées au fond du forage. C'est surtout pour cette raison que beaucoup de fabricants ne recommandent pas l'installation de leurs pompes à des profondeurs de plus de 40 à 50 m.
- \* Le rendement mécanique et le débit baissent à cause de l'élasticité axiale du tuyau de refoulement (en plastique), qui peut être empirée par le flambage. Des problèmes peuvent surtout se poser pour des installations à de grandes profondeurs si le coup de piston et le diamètre ne sont pas adaptés aux diamètres du tuyau de refoulement.
- \* Les pompes à diaphragme et les pompes à oscillation d'eau ont un faible rendement mécanique. Celui-ci ne peut guère être amélioré. Leur débit est faible, surtout à de grandes profondeurs, ce qui occasionne souvent

des problèmes.

- \* L'usure des guides de la tringle et du tuyau de refoulement est assez fréquente. Cette usure est particulièrement fréquente dans les pompes à piston installées dans des forages non-alignés.

#### PROBLEMES LIÉS A LA CONSTRUCTION DE LA POMPE:

- \* -- Les frais initiaux élevés dus à l'utilisation de matériaux anti-corrosifs tel que l'acier inoxydable. (Cela a une grande importance pour le consommateur en cas de remplacement de la pompe ou des pièces, qui sont à sa charge.)
- \* La nécessité d'adapter le diamètre du piston à la profondeur (si la longueur de l'excentrique ne peut pas être ajustée). Ceci pour que son maniement soit aisé ou pour pouvoir obtenir un débit convenable.
- \* En cas d'une pompe à piston ayant un tuyau de refoulement en plastique: avoir la possibilité d'adapter le coup de piston et les diamètres du piston et du tuyau de refoulement, pour optimiser le rendement volumétrique et mécanique.
- \* Dans les pompes à piston: les tuyaux de refoulements en plastique<sup>8</sup> ont une résistance très limitée au flambage. Dans les pompes à rotor hélicoïdal: la rigidité de torsion du tuyau est limitée.
- \* Des fissures dans/près des joints des tuyaux de refoulement en PVC, surtout à de grandes profondeurs. Cela concerne aussi bien les joints collés que les joints vissés. (Ces problèmes se posent en raison du manque d'expérience avec l'utilisation du PVC dans ces circonstances.)
- \* Les frais élevés des tuyaux de refoulement en inox et sa masse spécifique élevée. Ceci oblige les fabricants à limiter l'utilisation du matériau (des tubes à parois fines) et à recourir à des constructions exceptionnelles, tels que des fils directement roulés sur le tube (Atlas Copco) ou des pièces ou des manchons filetés, soudés sur le tube.
- \* Des grandes variations de pression dans les tuyaux de refoulements raides (des variations pouvant atteindre 4 fois la pression statique à chaque coup de piston!) et des fréquences de résonance élevées, lesquelles, même dans des tubes en acier, accéléreront la fatigue du métal (surtout pour les joints soudés).
- \* Le cylindre "à sommet ouvert" ne peut pas être combiné avec des garnitures de piston en peau (voir les expériences sur India MkIII).
- \* Le gonflement du plastique par absorption d'eau (une augmentation de volume assez importante qui occasionne des problèmes d'ajustement). Voir même un allongement croissant causé par la traction d'un poids fixe. (Par exemple: un tuyau de refoulement en PVC de 80 m de long peut s'allonger de 25 cm en 10 ans, ce qui peut amener le piston à heurter le sommet du cylindre.)
- \* La corrosion due à un pH<6 si on utilise des matériaux sensibles à la corrosion. Dans ces conditions l'acier galvanisé n'est plus une solution durable pour les tuyaux de refoulements et les tringles.
- \* Les limitations pour augmenter le débit si c'est nécessaire. Par exemple: la pompe pompe trop facilement (ne peut pas absorber plus d'énergie) ou le mécanisme d'actionnement impose des restrictions: par exemple, la pompe n'est pas équipée pour que plusieurs personnes puissent pomper ensemble, etc.

---

<sup>8</sup> La pompe Kardia est installée avec des guides de tuyau de refoulement, à 1m d'intervalle, pour empêcher le flambage. Ils vont bien dans le forage. Cette disposition limite la déformation du tuyau de refoulement et par conséquent les variations de tension et la fatigue.

- \* Plusieurs pompes sont mal adaptées à l'utilisateur: les mouvements (des bras et/ou des jambes) nécessaires pour actionner la pompe peuvent provoquer des objections ergonomiques et culturelles, particulièrement chez les enfants et les femmes (enceintes).

Il y a des solutions pour la plupart des problèmes mentionnés ci-dessus.

#### ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:

- \* Réaliser un effondrement des prix grâce à de nouvelles conceptions de pompes, qui garderont, même si elles sont utilisées à de grandes profondeurs, de bonnes qualités (par exemple, un rendement mécanique convenable!).
- \* Concevoir des assemblages pour les tubes en PVC ayant une résistance suffisante à la fatigue pour qu'ils puissent être utilisés dans des installations à de grandes profondeurs. (Le CRL examine ce cas.)

### 3.5 FABRICATION (LOCALE)<sup>9</sup>

Une pompe n'est pas entièrement montée et testée avant de quitter la fabrique comme c'est le cas pour presque tous les autres produits industriels. Une inspection minutieuse des pièces détachées avant qu'elles ne quittent l'usine est donc très importante si on veut être sûr de leur bon fonctionnement.

Les pompes à main souffrent encore de sérieux problèmes, même les pompes fabriquées dans des soi-disants "pays développés". Un bon nombre de ceux-ci sont dus à une mauvaise fabrication et à l'absence d'un contrôle de qualité. Si la fabrication d'une pompe à main exige des tours de force techniques, même dans les "pays développés", cela veut dire que le produit n'est pas approprié. De tels produits ne devraient pas être utilisés pour l'approvisionnement en eau potable dans les pays en voie de développement.

Quelques problèmes, qui peuvent être la conséquence d'une fabrication inférieure (locale), par exemple:

- \* des problèmes d'ajustement en installant la pompe; les tolérances ont été négligées;
- \* des problèmes d'interchangeabilité rendue impossible ou malaisée par des remaniements effectués sur la "pompe standard": adaptations aux circonstances locales ou autres changements;
- \* une durée de vie relativement courte des pièces de pompe occasionnée par:
  - des matériaux de qualité inférieure ou une mauvaise fabrication (par exemple: une soudure mal faite);
  - des changements de conception qui n'ont été ni convenablement examinés ni convenablement testés sur le terrain;
- \* un délai de livraison.

Les problèmes qui apparaissent avec la fabrication (locale) de la pompe peuvent être subdivisés en:

- \* Des problèmes généraux: une sous-estimation de l'importance d'une gestion convenable, de la gestion du personnel, de la consultation, de l'auto-critique, du contrôle de qualité, de la motivation et de la

<sup>9</sup> Fabrication "locale": dans le pays ou dans un pays voisin où les pompes sont utilisées.



discipline.

\* Des problèmes de production, conduisant à une dimension indésirable, des écarts de forme et/ou de qualité:

- une sous-estimation de l'importance de production en accord avec les normes;
- le manque ou l'échec du contrôle de qualité;
- une connaissance limitée des techniques de production et de contrôle;
- des moyens de production limités, ou leurs conditions défectueuses;
- l'utilisation non-optimale des moyens de travail: tant en personnel qu'en outils;
- la disponibilité locale limitée de matières brutes et d'outils, aboutissant à de longs retards, en particulier si on doit les importer;
- la difficulté de trouver un fournisseur de pièces détachées pour réparer des machines importées (des années après l'achat);
- l'alimentation en électricité sur laquelle on ne peut pas compter.

\* Des problèmes organisationnels, qui sont très souvent la conséquence d'une gestion faible, caractérisée par (entre autres):

- un engagement limité du manager dans la production;
- le peu de valeur attribuée à la "valeur capitale" de, par exemple, le personnel de production et les contrôleurs (leur connaissance et leur expérience, l'importance de la transmission de connaissance) et le manque d'une politique de personnel;
- la grande distance entre le manager et le personnel, le manque de stimulation et même trop de motivations découragées, aboutissent au niveau du personnel à un engagement superficiel, à un dévouement et une productivité limités. Cela peut aussi aboutir à de grands mouvements de personnel qui, s'il y a une grande ville dans les environs, va tenter d'y trouver du travail;
- une mauvaise évaluation des frais de fabrication et des pertes de production (qu'ils soient occasionnés ou non par une mauvaise gestion) et les frais provoqués par un contrôle de qualité décevant (par exemple: les conséquences des frais des réparations tombant sous la garantie et la perte d'une bonne renommée et d'une partie de la clientèle);
- le manque d'entretien préventif des moyens de production, qui aboutit à des pannes à des moments indésirables et souvent pendant des périodes relativement longues (occasionnées par le retard de livraison des pièces importées);
- l'investissement des moyens financiers dans les affaires non-rémunératrices ou pas spécialement productives, telles que la maison et la voiture du directeur, etc.

\* Des problèmes logistiques:

- le transport: de longues distances, plusieurs frontières à traverser et les différents moyens de transport (des délais occasionnés par le transbordement);
- peu de fournisseurs (locaux) sûrs;
- des problèmes d'adaptation et des confusions sur les responsabilités, etc.;
- des problèmes de communication: peu ou pas de liaison téléphonique, les retards du courrier postal.

\* Des problèmes financiers:

- le manque de moyens pour payer un acompte;

- les paiements arriérés des embarquements étrangers et des commandes, occasionnant des plus longs retards dans l'embarquement et la production et ainsi une perte d'intérêt;
- des frais élevés de transport, de transfert et des droits de douane;
- des frais généraux trop élevés, à cause des ventes limitées; des investissements peu rémunérateurs et un usage peu correct des outils de travail (par exemple: des voitures);
- trop de "débiteurs" (amis, parents, autorités, etc.)
- \* Des problèmes politiques, au niveau local, national et international:
  - les réglementations d'impôts falsifiant la concurrence (l'exonération d'impôts sélective);
  - un traitement préférentiel ou une opposition, relatifs au choix d'un certain type de pompe, au degré de production locale, dus à des patrons puissants.
- \* La relation ou la dépendance avec "l'usine mère occidentale":
  - les droits d'invention et de licence;
  - le monopole sur l'approvisionnement en matériaux et en moyens de production (en pratique).
- \* Les conséquences de l'éloignement ("loin des yeux, loin du coeur"), telles que:
  - le manque d'implication de l'usine mère en ce qui concerne les problèmes à résoudre avec "ses pompes", fabriquées et fournies par le fabricant local; pour lesquels ils sont conjointement responsables (cela est le plus souvent présumé à la base des rapports entre les deux fabricants et le bailleur de fonds);
  - une participation insuffisante en ce qui concerne les problèmes avec la fabrication locale;
  - des problèmes relatifs à la garantie de la pompe: se retrancher derrière le fabricant/représentant local;
  - une incompréhension c.q. une mauvaise volonté du fabricant local en ce qui concerne les termes de livraison.

Table 3.1 DROITS DE DOUANE IMPOSÉS SUR L'IMPORTATION DES POMPES A MAIN (exprimés en % de la valeur à l'importation<sup>10</sup>)

Pays:	BENIN	BURKINA FASO	CÔTE D'IVOIRE	TOGO	NIGER
Pompes à main	24,27	3,93	45,6	10	40,8
Pièces détachées	15,95	10,29	55,6	10	53,6

Les problèmes qui peuvent jouer un rôle en arrière-plan:

- \* La connaissance limitée des fabricants des problèmes avec la pompe sur le terrain;
- \* Dans la relation entre l'entreprise mère et le fabricant local:
  - des intérêts opposés (par exemple: la protection de son propre marché) peut aboutir à un soutien retenu et une transmission de connaissance limitée (qui payera pour cela?);
  - la dépendance pour l'approvisionnement en matériaux, en outils et pour la transmission de la connaissance; les pièces détachées importantes (le plus souvent coûteuses), spécifiques à la pompe,

<sup>10</sup> On extrait du rapport SGI 1986, Projet régional de fabrication de pompes à main. UNDA/CEAO, 8049.

doivent être achetées à l'entreprise mère, à cause des droits d'invention sur les pompes/pièces (par exemple: le diaphragme de Vergnet);

- une validité limitée des droits de conception et de licence dans le pays concerné;
- l'autonomie des deux fabricants, par exemple: peuvent-ils appliquer tout les deux les adaptations de conception? Quels sont leurs obligations et leurs droits?

\* Les aspects techniques de conception et de production:

- Une pompe à main est un produit simple, mais ayant de hautes exigences en ce qui concerne sa résistance à la fatigue. Elle doit fonctionner dans des circonstances assez extrêmes: température élevée, acidité, sable, argile, forages non-alignés, usage inexpert, entretien défectueux, vandalisme;
- Conserver la qualité et l'interchangeabilité, quand la pompe est encore en développement, ou fabriquée à plusieurs endroits avec des outils différents ou fabriquée et utilisée dans des circonstances différentes;
- Le manque de connaissance sur les effets des technologies de fabrication pour la qualité du produit final, par exemple pour la résistance à la fatigue et à l'usure, pour la forme et les mesures;
- L'application de technologies de fabrication avancées pour les pièces qui ne sont pas standard et qui entravent la fabrication locale, par exemple: des matières synthétiques renforcées de fibres, des pièces synthétiques moulées;
- Des tolérances étroites inutiles, surtout à cause de l'emploi de constructions désuètes, ou de constructions relativement difficilement à contrôler (par exemple: la garniture de cuir); surtout pour la production locale;
- Une division des frais d'usinage et de main d'oeuvre qui diffère des conditions de fabrication pour laquelle la pompe est conçue, aboutissant à des investissements élevés inutiles pour le pays en voie de développement;
- Une exploitation et une adaptation incomplète aux circonstances locales, tels que des frais de main d'oeuvre peu élevés et des moyens de production limités ou différents.

\* Les aspects commerciaux:

- Le produit coûte trop cher pour être vendu directement aux utilisateurs (organisés); donc, le marché est limité et dépend fortement des donateurs étrangers;

\* Une opposition de la part des (semi-)autorités.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** Aucun. Le soutien, l'instruction et la sensibilisation sont beaucoup plus importants.

### 3.6 INSTALLATION

Au point de vue technique, l'installation de la pompe occasionne rarement des problèmes. Sa complexité diffère bien sûr en fonction du type de pompe (le poids, les dimensions, la complexité), de la profondeur de l'installation (nécessitant éventuellement le besoin d'un treuil) et de la qualité du travail préliminaire: le forage (effondré, non-droit, hors d'aplomb, etc.) et la base de la pompe (la position de la dalle en béton et des boulons d'ancrage).

Les principaux problèmes pratiques durant (la campagne d') l'installation sont:

- \* les aspects organisationnels: la coordination des collaborateurs, du transport et des pièces des pompes, déléguer et coopérer, contrôler et enregistrer;
- \* une accessibilité limitée des villages, selon la saison;
- \* consulter et conclure des accords avec les autorités locales.

La plupart des problèmes se poseront par la suite! Tels que:

- \* les utilisateurs ne se sentent ni responsables, ni propriétaires des pompes; ils n'ont pas eu de réels choix à faire (choix du système, du site), ils ont à peine été préparés pour faire face aux éventuels problèmes à venir, leur rôle est limité à utiliser la "pompe des Hollandais" pendant le temps où la pompe fonctionne;
- \* (ceci aboutit à des) problèmes avec la gestion du système;
- \* le manque de pièces détachées et de mécaniciens, car les accords n'ont pas été remplis et les problèmes (à long terme) ont été sous-estimés;
- \* des problèmes concernant la garantie de la pompe. \* \*

Ces problèmes se posent surtout en conséquence d'une intervention "solitaire" et purement technique: la campagne d'installation ne faisait donc pas partie intégrante d'une large campagne de sensibilisation.

Les autorités veulent généralement que la pompe soit garantie pour une période d'un ou deux ans. Pendant cette période les utilisateurs ne contribuent pas à l'entretien (ou aux frais de l'entretien), rendant ainsi impossible de juger leur gestion. On ne peut donc pas se rendre compte du fonctionnement des mécaniciens locaux et du réseau de distribution des pièces détachées<sup>11</sup>. Les perspectives de durabilité de l'approvisionnement en eau ne peuvent par conséquent pas être jugées. Les problèmes n'émergeront donc qu'après la conclusion de l'intervention extérieure. Qui apportera un soutien ensuite?

La contribution des autorités nationales/locales est souvent "double" et contradictoire. Elles veulent être impliquées (de façon permanente) dans le système, pour renforcer la structure, alors qu'elles ne peuvent pas remplir les conditions requises, telles que, par exemple: l'entretien des pompes, la formation des mécaniciens, la gestion du stock initial. Entre-temps, elles constituent un facteur obstructif, car elles entravent de meilleures alternatives<sup>12</sup>.

ARTICLE DE RECHERCHE TECHNIQUE: Aucun.

### 3.7 FONCTIONNEMENT

La pompe aussi bien que ses environs sont importants pour le bon fonctionnement du système.

<sup>11</sup> L'habitude de déposer un large stock de pièces détachées (quelquefois jusqu'à tout du nombre total installé) rend impossible de juger le fonctionnement (commercial) du réseau de distribution et stimule la corruption pendant des années.

<sup>12</sup> Les autorités locales doivent amorcer et contrôler; elles ne devraient pas être en chaîne dans la structure d'entretien.

Les problèmes éventuellement engendrés par la pompe:

- \* Un rendement mécanique et un débit défectueux (surtout à de grandes profondeurs), demandant beaucoup d'efforts et de temps de pompage pour obtenir ne serait-ce qu'une modeste quantité d'eau;
- \* Du point de vue ergonomique, l'actionnement de la pompe est trop dur et/ou mal adapté pour les enfants, les femmes enceintes et les personnes affaiblies;
- \* L'actionnement de la pompe provoque des objections culturelles ou religieuses, telles que, par exemple: pomper avec le pied;
- \* Les risques de blessures, par exemple: là où les parties du corps peuvent être coincées;
- \* Une pompe fonctionnant avec trop de facilité, donnera un débit limité et permettra à la pompe de fonctionner beaucoup trop vite, aux dépens de sa durée de vie;
- \* S'il y a une fuite, on perd beaucoup de temps, parce qu'on doit d'abord remplir la pompe et/ou une partie de l'eau pompée est perdue;
- \* Un débit limité peut causer des temps d'attente, si, par exemple, la pompe n'est pas adaptée de façon à ce que plusieurs personnes puissent pomper ensemble.

Les problèmes reliés à la superstructure et aux autres facilités:

- \* Problèmes de convenance liés à l'emplacement de l'installation, par exemple, si la pompe est placée à un endroit qui domine les environs, les utilisateurs/-trices sont alors exposés aux regards de tous les passants;
- \* La pollution, due le plus souvent à l'absence d'un égout pour l'eau perdue et d'un puisard, au niveau de l'installation de la pompe qui est trop bas et/ou au libre accès du bétail dans les environs directs de la pompe. Ceci peut occasionner la propagation de maladies et d'infections par contact direct des utilisateurs/-trices avec de l'eau sale (par exemple: en portant un récipient contaminé sur la tête ou en approchant la pompe après avoir traversé le borbier qui l'entoure);
- \* Un mauvais accès de la pompe dû à un manque de place, qui entrave la circulation de plus d'une personne autour de celle-ci, ou parce qu'elle est entourée d'un grand borbier;
- \* La circulation des transports d'eau de la pompe à la charrette ou à l'abreuvoir sont obstrués (ce qui coûte du temps et des efforts supplémentaires)<sup>3</sup>.

La plupart des utilisateurs préfèrent une pompe lourde à actionner (demandant plus d'énergie mais ayant une fréquence de pompage plus lente). Celle-ci permet à l'utilisateur de transmettre plus d'énergie dans la pompe en augmentant le coup de pompe et/ou de pomper plus vite (par exemple: à plusieurs personnes) pour obtenir un plus grand débit<sup>4</sup>.

ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE: Aucun

---

<sup>13</sup> Le transport d'eau à la maison est un problème important, particulièrement quand il y a de longues distances à parcourir, mais cela dépasse le cadre de cette étude.

<sup>14</sup> Le fait que les enfants ne puissent pas actionner la pompe est considéré comme un avantage, puisque cela limite le vandalisme.

### 3.8 GESTION DU SYSTEME DE POMPAGE

Cette section traite des problèmes qui surgissent lorsque "la gestion du fonctionnement et de la maintenance est effectuée par le village" (VLOM).

Tâches du comité de gestion:

- \* Stimuler un usage convenable du système;
- \* Surveiller pour empêcher un mauvais usage;
- \* Organiser une inspection régulière et le nettoyage de la pompe et de ses alentours;
- \* S'assurer que les réparations et renouvellements nécessaires sont exécutés;
- \* Organiser la cotisation et son administration<sup>15</sup>; pour l'entretien, les réparations et le futur remplacement;
- \* La gestion des fonds.

Les problèmes de gestion qui peuvent se présenter:

- \* Les villageois ne comprennent pas l'importance du système de pompage;
- \* Les villageois n'acceptent pas le système, parce que:
  - il ne répond pas à leurs espérances ou aux promesses antérieures, et/ou
  - on leur a collé ou imposé le système; alors, pourquoi cela devrait-il les concerner ou pourquoi devraient-ils le payer?
- \* Un manque de clarté en ce qui concerne la propriété du système. Qui est le propriétaire? Le gouvernement, le projet, le village ou le comité? Les villageois considèrent donc que ce n'est pas le leur et ils ne prennent aucune responsabilité collective;
- \* Les personnes responsables ne sont pas prises au sérieux: leurs instructions ne sont pas suivies;
- \* Les villageois se méfient des personnes responsables, particulièrement en ce qui concerne la gestion des fonds d'entretien;
- \* Les villageois ne les aideront pas, au contraire ils s'opposeront à eux et ils leur feront des reproches.

Les conséquences des problèmes de gestion:

- \* Le système ne fonctionne pas de façon optimale (par exemple: c'est la pagaille, il ne fonctionne que de manière défectueuse, est régulièrement en panne et/ou en panne pendant une longue période);
- \* La nécessité d'utiliser plus intensivement des sources d'eau alternatives (malpropres et quelquefois beaucoup plus éloignées);
- \* Le manque de fonds pour les réparations et le futur remplacement (les villageois refusent encore de payer leur contribution, à cause de la mauvaise gestion du fonds: comme par exemple les soi-disant "emprunts").

Les causes de ces problèmes peuvent être:

- A Une préparation et un soutien insuffisants des villageois par le projet de mise en oeuvre. On n'a donc pas choisi les bonnes personnes comme membres du comité: des personnes sans (ou ayant de fausses) motivations ni capacités. Ceci peut être la conséquence de:
- \* d'un manque d'une sensibilisation convenable;
  - \* l'absence de personnes compétentes et motivées au niveau du village;

---

<sup>15</sup> Pour prévenir des problèmes, il peut y avoir des comptes et caisses séparés: cela veut dire un compte pour les femmes, un compte pour les hommes, ou un compte par quartier, etc.

- \* le groupe-cible était inaccessible à cause de l'équilibre des pouvoirs dans le village (par exemple l'exclusion des femmes);
- B Les problèmes dépassent les capacités du comité, soit parce que:
- \* le comité a été insuffisamment préparé et soutenu, soit
  - \* les problèmes sont trop nombreux:
    - \* il y a trop de pannes: à cause d'une mauvaise pompe ou d'un mauvais forage;
    - \* le village est trop pauvre ou n'est pas motivé;
    - \* il y a trop de problèmes au niveau du village: entre les familles ou les quartiers, les ethnies, les groupes religieux, ou à cause d'influences extérieures (politiques);
    - \* il n'y a pas de mécaniciens et/ou des pièces détachées;
    - \* un fonds d'entretien important suscite la méfiance, la jalousie, est cause "d'emprunts", ou bien aboutit à un abus de pouvoir du comité qui investit le surplus;
- C Le système n'offre aucun réel profit (tel qu'un plus grand débit, de l'eau propre, plus de confort) mais au lieu de cela, provoque plus de problèmes (par exemple: des frais excessifs, des pannes répétitives et/ou qui durent longtemps, des difficultés pour faire réparer le système).

N.B. Quand les utilisateurs n'ont pas l'impression d'avoir de réels avantages, les membres du comité ont une tâche presque irréalisable d'essayer de les motiver à entretenir le système et à y contribuer financièrement.

Un nouveau système d'approvisionnement en eau potable est souvent un élément étranger dans le village. L'initiative et le choix du système à installer vient presque toujours de l'extérieur du village. Les villageois peuvent tout au plus le refuser. Autrefois c'était le problème de chacun d'obtenir de l'eau potable (à l'exception du creusage et de l'entretien du puits). Maintenant, les gens doivent s'organiser. Le niveau nécessaire d'organisation et de gestion souvent dépasse le niveau d'activités communales antérieures. Il peut y avoir plus de tensions sociales si un certain nombre de villageois refuse de contribuer financièrement. Ceci peut aboutir à plus de refus de contribuer et conduire ainsi à l'arrêt complet du système<sup>16</sup>. Une garantie sur la pompe peut avoir un effet défavorable. Les utilisateurs ne sont pas persuadés dès le début qu'ils sont responsables de son entretien. En cas des futurs problèmes techniques ils attendront tranquillement qu'"on" vienne résoudre le problème.

Les raisons du manque de préparation sérieuse des utilisateurs:

- \* une sous-estimation de la direction de projet et du village de la nécessité d'une gestion efficace du nouveau système;
- \* une sous-estimation de la direction de projet et des bailleurs de fonds de la nature problématique de la gestion villageoise.

C'est pour ces raisons que des actions nécessaires ont été omises, telles que la sensibilisation, la formation et l'implication des villageois dans les préparations et la réalisation du système.

<sup>16</sup> c'est pour cette raison que les responsables de la gestion du système imposent une fermeture (avec cadenas) de la pompe: non seulement pour empêcher que les mauvais payeurs l'utilisent, mais aussi pour en empêcher l'emploi abusif.

N.B.1 De nombreux problèmes de gestion au niveau du village proviennent d'un manque de clarté pendant et après la mise en oeuvre du système: problèmes qui concernent les responsabilités et les tâches des donateurs, des autorités locales, des projets, des fournisseurs, des mécaniciens, du comité de gestion et des utilisateurs.

2 L'évaluation de la durabilité de la gestion villageoise de l'entretien est impossible, aussi longtemps que le projet de mise en oeuvre est impliqué (directement ou indirectement, qu'il soit structuré ou non). Souvent un tel projet de mise en oeuvre contribue (de manière plus ou moins cachée) à la motivation des utilisateurs, à l'entretien préventif et il sert de filet de sûreté en cas des frais excessifs. Sans un tel soutien, de nombreux systèmes de pompages ne seront jamais durables.

ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE: Aucun.

### 3.9 ENTRETIEN

#### LES CAUSES DES PANNES

Les causes éventuelles des pannes:

- \* en cas d'un usage intensif:
  - \* des ruptures causées par la fatigue de certaines pièces exposées à des variations de charges extrêmes.
  - \* le frottement de certaines parties de la pompe l'une contre l'autre et le frottement de la pompe contre le tuyau de forage, provoquent une usure excessive;
- \* un mauvais ajustement de la pompe à:
  - \* l'acidité élevée de l'eau;
  - \* une grande profondeur;
- \* des matériaux de qualité inférieure, des défauts dans les matériaux, une fabrication défectueuse des pièces, un contrôle de qualité insuffisant;
- \* du sédiment accumulé dans des parties de la pompe;
- \* des forages qui ne sont pas droits et partiellement effondrés;
- \* plusieurs pompes dans un seul forage;
- \* l'entretien et les réparations ajournés ou mal faits.

Malgré les progrès ininterrompus qui ont été faits au cours de la dernière décennie, les pompes à main causent malheureusement encore de nombreux problèmes à de grandes profondeurs.

Il y a une grande différence entre les frais d'entretien réels et apparents des systèmes de pompe à main. La plupart des rapports ne donnent qu'une indication grossière et dissimulée. Ces différences sont dues, entre autres:

- \* aux frais des interventions du projet qui ne sont pas mentionnés: réparations gratuites, le transport et les rénovations subventionnés;
- \* aux réparations non-exécutées (la pompe reste en panne);
- \* au démontage d'une pompe pour en réparer l'autre.

Les frais d'entretien à long terme (après la conclusion du projet) ne sont pas mentionnés. Par exemple, ceux causés par la rouille des tuyaux de refoulements et des tringles ainsi que ceux causés par l'usure des tuyaux et des diaphragmes.

L'entretien du forage dépasse généralement les moyens financiers des villageois.



## LA STRUCTURE D'ENTRETIEN

Il y a plusieurs systèmes différents pour l'entretien des pompes à main:

- \* l'entretien organisé centralisé, exécuté par une entreprise (semi-) gouvernementale;
- \* un système ayant une division des tâches entre les niveaux nationaux, régionaux et locaux, basé sur le niveau de la complexité des problèmes techniques: ce que l'on appelle le "three-tiers system" (système à trois niveaux);
- \* une division des tâches sur deux niveaux: "two-tiers system";
- \* aucune division des tâches: un mécanicien régional exécute toutes les réparations et les installations; au besoin, il fait appel à un entrepreneur spécialisé comme un soudeur.

(Au Niger le distributeur des pompes Vergnet a proposé aux autorités qu'elles concluent un contrat d'entretien pour ses pompes basé sur un taux fixe, à payer par le village.)

La participation directe du gouvernement à l'entretien des pompes a été en général un échec. En outre, les frais de fonctionnement sont trop élevés.

Les expériences avec les "two-" et "three-tiers systems" ont été rapportées ailleurs, c'est pourquoi on n'en discutera pas ici [1].

Cette section traite brièvement de la dernière approche, basée sur un mécanicien régional<sup>17</sup>, habituellement un petit entrepreneur. La contribution des autorités (locales) se limite à jouer un rôle d'initiateur et de contrôleur (par exemple, pour prévenir une hausse des prix) et de médiateur (dans un sens global) en cas de conflits entre les villageois, les mécaniciens et le distributeur. Les autorités seront généralement impliquées dans l'entretien nécessaire du forage (prendre l'initiative et la supervision).

En principe, l'entretien n'est exécuté qu'à la demande du comité de gestion. Sans leur permission, personne ne devrait avoir le droit d'ajuster la pompe. L'entretien des environs directs de la pompe, tel que le trottoir, l'égout pour l'eau perdue et la clôture est la tâche du village.

## LES PROBLEMES AVEC LES RÉPARATIONS

Les problèmes du village:

- \* Il n'y a pas de mécanicien dans la région, il n'y en a jamais eu ou il n'a pas été présenté ou il est parti (par exemple: l'exode);
- \* Les villageois sont en conflit avec le mécanicien. Ils n'ont pas confiance en lui et l'accusent de mauvaise volonté, de malveillance, etc.;
- \* Il n'y a pas de pièces détachées disponibles dans la région, ou il n'y en a que de qualité inférieure;
- \* Les frais de main d'oeuvre, des pièces détachées, de voyage et de transport sont trop élevés;
- \* La pompe est hors service trop souvent ou trop longtemps quand les réparations prennent beaucoup de temps.

<sup>17</sup> La contribution d'un mécanicien du village est indésirable pour la plupart des pompes à main pour puits profond. Un mécanicien régional est mieux formé et il a plus d'expérience et d'outils. Ceci réduit le risque de réparations inadéquates. Des inspections fréquentes causent souvent plus de problèmes qu'elles n'en préviennent, surtout quand elles sont exécutées par un mécanicien du village qui veut montrer de quoi il est capable.

Les problèmes du mécanicien:

- \* Le poids des pièces de pompe demande un trépied;
- \* Les risques d'accident et de fautes, le plus souvent à leurs dépens;
- \* Ils n'ont pas assez de travail (payé) pour gagner leur vie; si les activités secondaires ne rapportent pas assez, la migration est parfois la seule solution<sup>18</sup>;
- \* Les villageois (et les autorités locales) les rendent responsables des nombreuses pannes, même quand elles sont dues à des défauts de conception;
- \* On les accuse de ne se concentrer que sur leur propres profits;
- \* Ils ne sont pas souvent payés (à temps) pour leur travail et leurs frais de transport;
- \* Ils manquent de moyens pour remplacer leurs outils;
- \* Le transport d'outils et des matériaux;
- \* Des autorités (locales) parasites, menaçant de retirer la licence, les outils et les moyens de transport mis à la disposition du mécanicien.

Il est très important d'établir des accords indiscutables (contrats!) en ce qui concerne les droits de propriété des outils et des éventuels moyens de transport. Cela devrait prévenir la menace de rappel immérité de la part des serviteurs publics locaux, qui prétextent que le mécanicien ne travaille pas convenablement. Sinon ces outils peuvent disparaître, provoquant une détérioration de l'infrastructure d'entretien.

#### LA DISTRIBUTION DE PIÈCES DÉTACHÉES

Les pièces détachées doivent être vendues dans la région via un réseau de distribution commercial. L'approvisionnement des pièces détachées est trop souvent très peu professionnel ou inexistant. Un projet de mise en oeuvre ou des autorités départementales ont quelquefois la tâche de distribuer les pièces détachées (une valeur allant jusqu'à 10% de l'investissement total en pompes est parfois simplement déversée dans leur stock). Mais leurs gains s'évanouissent souvent (détournement de fonds) et le stock des pièces détachées n'est pas réapprovisionné.

Les problèmes du distributeur local (/de l'importateur):

- \* Des revenus limités et un faible profit;
- \* La difficulté de trouver un fournisseur de pièces détachées (pour les anciens modèles);
- \* Les longs délais de livraison;
- \* Avancer les paiements;
- \* Les restrictions à l'importation.

Les problèmes du fabricant:

- \* La livraison des bonnes pièces détachées, des années après l'installation de la pompe.
- \* De petites marges de profit à cause des nombres insignifiants.

---

<sup>18</sup> On choisit de préférence un mécanicien parmi plusieurs entrepreneurs indépendants, déjà en activité. Ils doivent recevoir une formation appropriée et un soutien moral durant la phase préliminaire. Ils doivent être impliqués dans les programmes d'installation et de rénovation éventuelle, même pour d'autres types de pompe (à main) dans leur région, sur une base commerciale. De cette façon, ils acquièrent de l'expérience, ils sont mieux considérés et ils augmentent leur revenu. Ceci peut leur permettre de rester dans leurs régions.

Les taxes d'importation élevées sur les pompes et spécialement sur les pièces détachées sont un handicap supplémentaire. Ce problème n'est découvert qu'après le désengagement des projets donateurs et l'expiration de leurs exonérations de taxes d'importation!

La fabrication locale est souvent découragée par ces difficultés d'importations et les taxes sur les machines, les outils et les matières premières.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** Aucun.

### 3.10 REMPLACEMENT

Le remplacement d'une pompe vieille et usée peut être nécessaire dès que la réparation devient plus coûteuse que l'achat d'une nouvelle pompe, quand l'obtention des pièces détachées est devenue un problème insoluble, ou à cause de son débit limité, le remplacement par un autre type de pompe (mécanique) peut être nécessaire.

Le remplacement sur l'initiative et aux frais des villageois se produira rarement. Donc, la plupart des projets de mise en oeuvre ne réussissent pas à réaliser un système de pompage durable dans les villages. Il ne sert que temporairement: quelques années.

Un village, attaché à son ancienne pompe, essaiera de la garder en état de marche pendant des années en la réparant. Quelques villages seulement peuvent se permettre de remplacer la pompe. Ceux qui n'ont pas pris la peine d'entretenir leur ancienne pompe ne s'efforceront pas de la remplacer (en temps utile).

En se préparant à remplacer l'ancienne pompe, le village sera confronté aux difficultés suivantes:

- \* L'investissement d'une somme très élevée en une seule fois (au lieu de graduellement, comme en cas de réparation);
- \* à la gestion et à la rentabilisation d'un grand fonds avant de l'investir;
- \* Au manque d'un système de crédit ou à des facilités d'investissement;
- \* à d'autres investissements/dépenses qui ont la priorité et qui offrent de meilleurs résultats à court terme;
- \* Les villageois préfèrent attendre un 'frère' généreux ou le prochain projet de réhabilitation, afin d'éviter des investissements 'inutiles';
- \* Comme dernier point mais non le moindre: "qui vivra verra...".

En choisissant une nouvelle pompe, les considérations suivantes sont importantes pour les villageois:

- \* Qu'est-ce qui est le mieux: la rénovation ou le remplacement de l'ancienne pompe?
- \* Quelle pompe choisir, en tenant compte des directives des autorités (une standardisation), des développements techniques et les (futurs) besoins du village?
- \* Où l'acheter et sous quelles conditions (par exemple: est-il sensé de payer d'avance)?
- \* Qui entretiendra la pompe et où peut-on obtenir des pièces détachées?

Les problèmes d'un projet de réhabilitation:

- \* Est-ce que le remplacement de la pompe par le projet est justifiable quand les villageois ne sont pas motivés, n'ont pas d'argent, n'ont pas économisé, ont détourné le fonds d'entretien, n'ont pas de comité de gestion? En bref: quel est le sens de seulement remplacer?
- \* Quelles pompes remplacer? Doit-on aussi remplacer celles des villages où l'ancienne pompe n'a pas été entretenue?
- \* Quel modèle de pompe choisir?
- \* Est-ce que le village doit payer une avance; est-ce qu'il doit rembourser le montant total de la pompe?

N.B. Si les villageois, pour cette fois, ne doivent pas payer pour le remplacement de leur ancienne pompe, prendront-ils le prochain remplacement, qui lui sera à leur charge, au sérieux? Réaction logique des villageois: "qui vivra verra".

En pratique le projet de réhabilitation écrase la situation existante. Seulement remplacer n'aboutira pas à une solution durable. Par conséquent, un projet de réhabilitation devra porter son attention sur: la sensibilisation des villageois, la formation et l'équipement des mécaniciens, l'installation et/ou le renforcement du réseau de distribution des pièces détachées, ...

Le problème de la position des boulons d'ancrage ne correspondant pas à la nouvelle pompe est insignifiant, en comparaison à d'autres problèmes.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** Comment diminuer les frais d'achat des pompes à main.

### 3.11 CONCLUSIONS ET RÉSUMÉ

Les causes d'un mauvais fonctionnement d'une pompe à main, soit parce qu'elle est ou reste en panne, divergent fortement. Jusqu'à des profondeurs d'environ 40 mètres, les problèmes techniques de conception ne devraient plus avoir d'importance. Hélas! De nombreux villages sont confrontés avec des frais d'entretien très élevés, parce que leur pompe à main n'est pas "à jour". A de grandes profondeurs, les problèmes techniques sont toujours significatifs: surtout à cause de la fatigue des pièces et des rendements mécaniques fortement réduits. C'est pour cette raison que seulement quelques fabricants osent garantir leur pompe à de telles profondeurs.

Parce que les pompes à main sont devenues beaucoup plus fiables au cours de la dernière décennie, d'autres problèmes ont gagné de l'importance sur les problèmes techniques. Les problèmes importants sont:

- \* la gestion et le contrôle de qualité inadéquats de la fabrication (locale);
- \* une préparation et une exécution défectueuse de la mise en oeuvre;
- \* les villageois qui ne sont pas préparés à gérer et à entretenir la pompe, à cause d'un manque de sensibilisation et de formation convenables;
- \* le manque de pièces détachées et de mécaniciens;
- \* les problèmes avec le forage;
- \* le manque de moyens pour remplacer la pompe à main (en temps utile).

Ces problèmes réduisent souvent de façon dramatique la durabilité et la disponibilité de la pompe à main. Il y a des solutions pour la plupart de ces problèmes. Une exécution sérieuse des différentes tâches satisfera généra-

lement aux besoins.

Les problèmes demandant une attention spéciale:

- \* les faibles profits du mécanicien et du distributeur, menaçant la durabilité de la structure d'entretien;
- \* des facilités d'épargne et de crédit sûres et appropriées pour les villageois, au profit du future remplacement de la pompe;
- \* le suivi/évaluation.

Les problèmes exigeant des recherches techniques:

- \* comment réduire radicalement le prix d'achat des pompes à main;
- \* le développement de joints durables pour les tuyaux de refoulement en PVC (résistants à la fatigue);
- \* le développement d'un moyen simple pour examiner les forages.

## 4 ALTERNATIVES POUR LES POMPES A MAIN: LES POTENTIELS ET LES LIMITATIONS

### 4.1 INTRODUCTION

Par "alternatives", il faut comprendre:

- \* Les systèmes de pompage, destinés surtout à l'approvisionnement en eau potable, de 300 à 2000 personnes (environ 6 à 50 m<sup>3</sup>/jour), pour des niveaux phréatiques dynamiques entre 30 et 100 mètres, sans système de distribution (seulement des robinets près du système de pompage);
- \* Les systèmes solitaires ("là où il n'y a pas de réseau électrique"), avec une force motrice basée sur l'énergie solaire, sur l'énergie éolienne, sur la traction diesel ou animale, ou une combinaison de celles-ci.

N.B. Ces systèmes ont un "débit journalier multiplié par la profondeur" de 180 à 5000 m<sup>4</sup>, et ils forment une partie importante des approvisionnements en eau potable mécanisés, sans canalisations. Les systèmes avec de grands débits sont souvent équipés d'un réseau de distribution.

Les systèmes basés sur une combinaison de forces motrices, appelés les "hybrides", seront traités à la section 4.6. Ceux-ci comprennent les systèmes à force musculaire; utilisés pour soutenir la force motrice principale (système mixte) ou pour la substituer (temporairement) (système de réserve).

Les systèmes sont composés: d'un forage, d'une pompe avec un tuyau de refoulement, d'un système de traction, d'une force motrice munie de systèmes de contrôle et de protection, de robinets et habituellement d'un réservoir d'eau. Ils devraient aussi être équipés d'un égout et d'une clôture.

Les potentiels et les limitations de ces systèmes alternatifs dépendent de:

- \* des circonstances: la profondeur, le débit, la disponibilité du soleil, du vent et du gasoil, ...;
- \* la technologie du système: la phase de son développement, son aptitude à pouvoir être adapté aux circonstances, sa construction technique;
- \* la qualité et la disponibilité des mécaniciens et des pièces détachées;
- \* du village: sa motivation, sa situation socio-économique, ses capacités de gestion;
- \* la qualité de la mise en oeuvre: la sensibilisation, l'instruction et le soutien par le projet, la participation du village;
- \* les aspects financiers: l'ampleur et la répartition des frais: les frais initiaux, les frais de fonctionnement, des réparations, du remplacement---voir le rapport NEI;
- \* la politique et l'intervention des autorités (locales).

L'utilisation du système de pompage moderne par les villageois dépendra de:

- \* la qualité de l'eau du système, comme son degré de dureté, son goût;
- \* la distance de marche jusqu'au robinet, de l'accessibilité, des heures d'ouverture et la "disponibilité"<sup>19</sup> du système;
- \* l'ancienne situation: l'accessibilité, la profondeur, la distance et la qualité de l'eau des sources anciennes (les puits, c.q. les pompes à main et/ou l'eau de surface);
- \* le prix de l'eau et le système de paiement.

---

<sup>19</sup> Disponibilité = (durée de la période - durée de la panne) / durée de la période.

## UNE COMPARAISON DES SYSTEMES

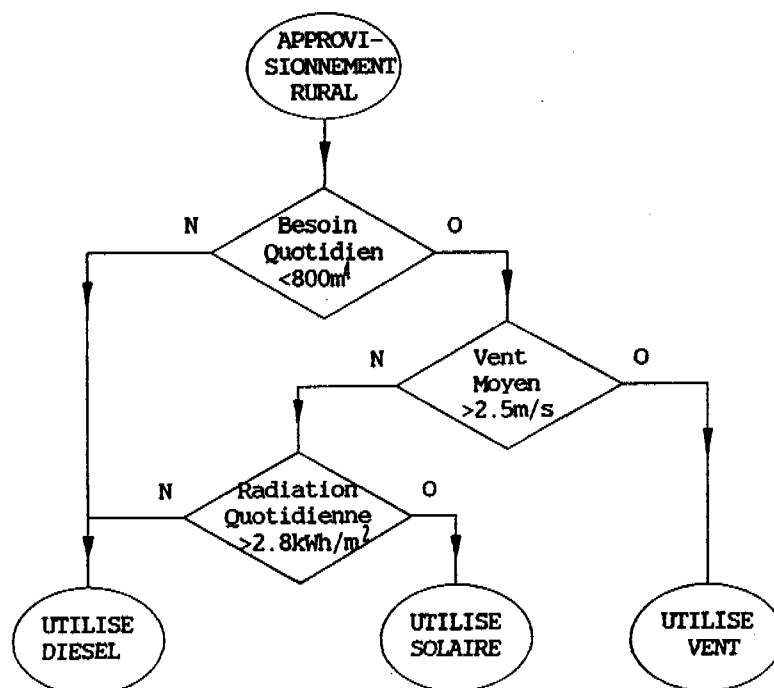


Figure 4.1 Tableau d'évaluation de l'application des pompes solaires, éoliennes et diesel.  
(Source: "Solar photovoltaic products", '91 [7])

N.B. En comparaison à l'édition de 1988 de "Solar photovoltaic products", les marges d'évaluation des applications ont remarquablement changé: pour les systèmes PV elles sont passées de 500 m<sup>4</sup> à plus de 800 m<sup>4</sup> et pour la radiation solaire elles sont descendues de 5 à 3 kWh/m<sup>2</sup>! Tout cela malgré les hausses des prix considérables des systèmes PV pour les grandes profondeurs.

Les articles de frais importants:

- \* les frais de recherche (plusieurs systèmes sont encore en développement);
- \* les frais des matériaux et de fabrication, les frais de la garantie;
- \* les marges pour le fabricant, les distributeurs, l'installateur, ...;
- \* les frais de transport et de transbordement, les taxes d'importation, les assurances;
- \* les frais de construction et d'installation;
- \* les frais de fonctionnement, tels que: le carburant, le fontainier, l'entretien, la vente de l'eau, la comptabilité, les frais de déplacement pour aller la banque, ...;
- \* les frais de gestion;
- \* les frais de réparations: les frais de déplacement de l'informateur, du mécanicien et de ses outils, des pièces détachées, pour aller chercher les pièces détachées, et la main-d'oeuvre;
- \* les frais de remplacement (voir ci-dessus);

- \* les frais du projet, tels que: d'étude préparatoire, d'exécution ou de sous-traitance, de contrôle, d'instruction et de sensibilisation, de soutien;
- \* les frais de financement.

A cause de toutes ces dépenses, les frais finaux du système dépasseront de beaucoup "les prix à la sortie d'usine". Non seulement les frais, mais encore les intérêts des différentes parties concernées peuvent être décisifs pour le choix du système. Il reste à savoir si ce choix sera vraiment le meilleur pour les utilisateurs. Est-ce que le village a réellement voix au chapitre, mis à part dire 'oui' ou 'non'?

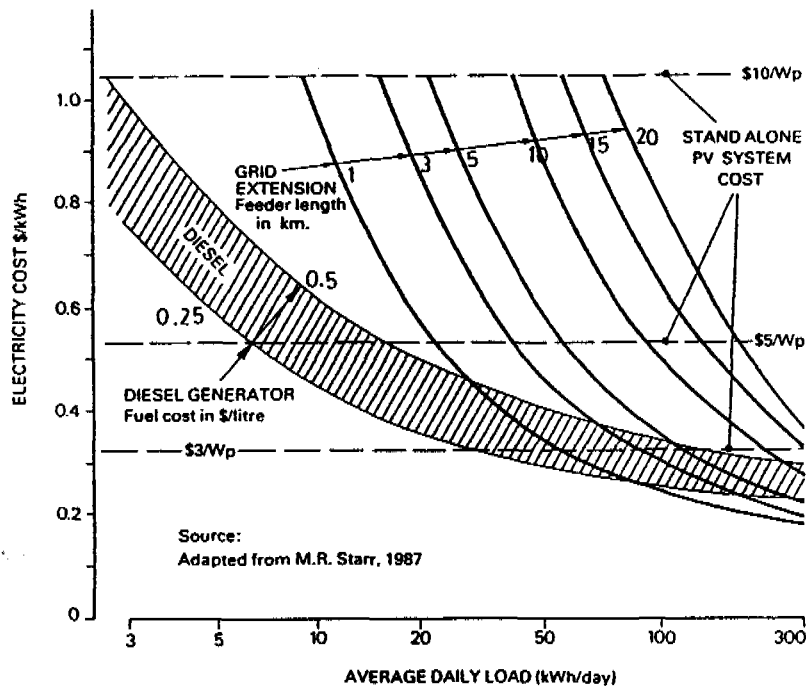


Figure 4.2 Frais comparatifs des systèmes PV, diesel et d'une extension du réseau d'électricité (1987)  
 (Source: 'Solar photovoltaic products', '91 [7])

Les trois tableaux suivants de 4.1 à 4.3 proviennent de "Learning from Succes, Photovoltaic-Powered Water Pumping in Mali", 1990 [13]. Ils indiquent les résultats d'une analyse de sensibilité: les frais d'eau moyens, le système ayant les frais les plus bas et les frais initiaux moyens des méthodes d'exhaure, basées sur des pompes à main, la traction traditionnelle avec un chameau, des pompes photovoltaïques, des motopompes à moteur diesel au Mali, en comptant 43,5 litres/personne/jour (consommation humaine et animale). Voir, pour plus de détails [13].

<sup>20</sup> Puissance crête en Watt (Wc) = le rendement d'un module PV ou d'un panneau dans des conditions optimales, entre avec une radiation solaire de 1000 W/m<sup>2</sup>.



Tableau 4.1 Moyennes de frais d'eau (\$/m3)

Village populn	Profondeur (m)															
	15				25				40				50			
	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel
100	0.30	1.32	0.95	2.51	0.79	1.43	1.22	2.71	1.73	1.58	1.63	3.01	1.68	1.90	3.20	
200	0.30	0.66	0.60	1.32	0.79	0.71	0.77	1.44	1.73	1.13	1.03	1.62	1.39	1.20	1.74	
300	0.30	0.44	0.47	0.92	0.79	0.84	0.61	1.02	1.73	0.89	0.83	1.15	1.31	0.97	1.24	
400	0.30	0.50	0.41	0.72	0.79	0.63	0.53	0.80	1.73	0.93	0.72	0.92	1.08	0.85	1.00	
500	0.30	0.48	0.37	0.60	0.79	0.69	0.48	0.67	1.73	0.97	0.66	0.78	1.00	0.78	0.85	
600	0.30	0.40	0.34	0.52	0.79	0.64	0.45	0.59	1.73	0.81	0.61	0.68	1.10	0.73	0.75	
800	0.30	0.41	0.31	0.42	0.79	0.57	0.41	0.48	1.73	0.79	0.56	0.63	0.98	0.66	0.69	
1000	0.30	0.43	0.29	0.36	0.79	0.59	0.38	0.41	1.73	0.86	0.53	0.55	1.00	0.62	0.64	
2000	0.30	0.38	0.24	0.26	0.79	0.52	0.33	0.34	1.73	0.80	0.46	0.44	0.96	0.55	0.51	

Tableau 4.2 Le système avec les moyennes de frais d'eau les plus basses (en utilisant Tableau 4.1)

Village populn	Profondeur (m)															
	15				25				40				50			
100	main				main				main cham pv				cham pv			
200	main				main cham pv				cham pv				pv			
300	main cham pv				pv				cham pv				pv			
400	main pv				cham pv				pv				pv			
500	main pv				pv				pv				pv diesel			
600	main pv				pv				pv diesel				pv diesel			
800	main pv				pv diesel				pv diesel				pv diesel			
1000	main pv diesel				pv diesel				pv diesel				pv diesel			
2000	pv diesel				pv diesel				pv diesel				pv diesel			

Tableau 4.3 Frais moyens initiaux per capita (\$/personne)

Village populn	Profondeur (m)															
	15				25				40				50			
	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel	main	cham	pv	diesel
100	27.0	39.7	109.7	150.3	64.0	52.8	112.1	151.9	136.0	72.3	115.7	154.4	85.4	118.1	156.1	
200	27.0	19.9	72.9	78.4	64.0	26.4	74.1	79.2	136.0	38.0	75.9	80.5	46.4	77.1	81.3	
300	27.0	13.2	59.5	54.0	64.0	20.0	60.3	54.6	136.0	26.6	61.5	55.4	45.1	62.3	56.0	
400	27.0	10.8	52.6	41.7	64.0	15.0	53.2	42.1	136.0	29.0	54.1	42.7	34.8	54.7	43.2	
500	27.0	9.4	48.3	34.2	64.0	17.3	48.8	34.6	136.0	24.6	49.5	35.1	28.6	50.0	35.4	
600	27.0	7.8	45.4	29.2	64.0	15.0	45.8	29.5	136.0	20.5	46.4	29.9	31.5	46.8	30.2	
800	27.0	8.4	41.8	22.8	64.0	11.7	42.0	23.0	136.0	20.4	42.5	23.4	29.4	42.8	23.6	
1000	27.0	7.4	39.4	19.0	64.0	12.4	39.7	19.1	136.0	23.9	40.0	19.4	23.6	40.2	19.5	
2000	27.0	7.0	34.6	13.7	64.0	10.9	34.8	13.8	136.0	20.5	34.9	13.9	26.4	35.1	14.0	

La durabilité des différents systèmes reste un point faible. Un nombre de méthodes pour améliorer la durabilité ont été essayés. Par exemple:

- \* des mesures techniques, visant à:
  - l'accroissement des recettes du système, par exemple en stimulant la consommation d'eau par l'extension du système avec une aire de lavage, un abreuvoir, un château d'eau, un système de distribution et un grand stockage d'eau au niveau du sol (la conception de Mali Aqua Viva); ou
  - la diminution des frais:
    - en réduisant le système à son essence véritable, par exemple: pas de robinets ni de réservoir et/ou
    - en limitant le besoin d'entretien et d'inspections régulières (cela mène malheureusement à des systèmes plus avancés et plus complexes);
- \* un soutien supplémentaire du village: la sensibilisation, l'instruction, des crédits, les subventions, l'assurance, un contrat d'entretien, ...

La question est de savoir si des systèmes grands et complexes seront jamais profitables et durables pour les petits villages; les riches communautés à croissance rapide sont mises à part. Habituellement, les villageois continuent d'utiliser les anciennes sources pour subvenir à la majeure partie de leur consommation d'eau, cela rend plus difficile la rentabilisation du nouveau système.

Le système mécanisé offre plus de luxe aux utilisateurs et peut réduire les temps d'attente. Le fait qu'un système de pompage mécanisé réalise un plus grand débit d'un seul forage, débit qu'il n'est possible de réaliser avec une simple pompe à main, est surtout de l'intérêt du donateur, qui économise probablement un forage supplémentaire (voir le tableau 4.3), puisque les villageois sont rarement chargés de ces frais.

En excluant les frais de forage, un système de pompage mécanisé est plus coûteux (l'achat, l'installation, l'opération, l'entretien, le remplacement) que, par exemple, les pompes à main (pour des débits similaires). La question est de savoir si de tels systèmes sont intéressants pour des communautés pauvres. Le temps supplémentaire gagné, en comparaison à l'utilisation d'une pompe à main, est limité et ne peut être converti que partiellement en travail productif. Cela sera aussi difficile de rendre profitable un surplus d'eau éventuel. En outre, la qualité de l'eau ne s'améliore pas.

Les systèmes de pompage mécanisés augmentent habituellement la dépendance par rapport aux pays étrangers et demandent des devises étrangères rares (pour le gasoil, les pièces détachées, ...).

Une bonne gestion, un entretien convenable et un réseau de distribution des pièces détachées effectifs sont les facteurs principaux de la durabilité du système. Voir, pour de plus amples détails, la Section 4.7 et pour les aspects socio-économiques le rapport de NEI.

Pour de plus grandes profondeurs, les pompes suivantes sont principalement employées:

- \* les pompes centrifuges à étages;
- \* les pompes à rotor hélicoïdal: comme 'Mono';
- \* les pompes à piston: pour les petits débits.

Pour des systèmes hybrides, les pompes à diaphragme (Vergnet) et les pompes à colonne d'eau oscillatoire (Pulsa) sont aussi employées à une échelle limitée.

N.B. Au Mali, les anciens systèmes PV/pompe à rotor hélicoïdal ont été substitués progressivement par des systèmes plus fiables PV/motopompes centrifuges à étages immergées.

Pour les grandes profondeurs et pour les petits débits, les pompes à piston et les pompes à rotor hélicoïdal peuvent être employées. Pour les grands débits les pompes centrifuges sont la seule réelle solution. Le rendement d'une pompe centrifuge à étages décroît avec le diamètre de la pompe.

La durée de vie des pompes dépend fortement du sédiment qui se trouve dans l'eau (le type, la concentration) et d'un éventuel tarissement accidentel. L'entretien (préventif) est habituellement limité au remplacement des roulements, des joints et de l'élément de pompage, si cela est fait à temps. La corrosion n'a plus d'importance pour ces pompes, parce que la plupart sont fabriquées avec des matériaux anti-corrosifs. Les pompes à piston peuvent souffrir de la fatigue. A cause du caractère spécialisé de ces pompes, on dépend entièrement du fabricant, c.q. du distributeur (local). Le potentiel de fabrication locale est limité, sauf pour les pompes à piston. Le rendement total (pompe plus traction), le débit et la profondeur déterminent la dimension de la force motrice.

Les types de réservoirs d'eau importants et quelques limitations:

- \* les citernes en acier, boulonnées ou soudées: des fuites dues à la fabrication ou l'installation incompétente, la corrosion due à une couche protectrice insuffisante;
- \* en béton, coulé sur place ou maçonné avec des blocs: des lézardes, la pourriture du béton, si le travail n'est pas fait professionnellement (par exemple, une fondation et/ou un armement defectueux) ou s'il n'y a pas de couche protectrice synthétique contre l'eau agressive (par exemple, pH<6).

Le choix du type de réservoir dépend habituellement de la disponibilité locale des matériaux, des facilités de fabrication et de transport. En fonction du site et des besoins, le réservoir est soit construit directement sur le sol, sur une petite terrasse, soit sur une tour. Les gros réservoirs sont habituellement construits en béton.

Le réservoir (éventuellement avec une tour) peut avoir un effet important sur les frais initiaux totaux. C'est pour cette raison que la plupart de réservoirs sont relativement petits. La capacité est souvent inférieure à la consommation d'eau d'une journée. Il est donc premièrement destiné à compenser les pointes de consommation d'eau et à permettre de tirer de l'eau quand la pompe ne fonctionne pas (temporairement). Ces réservoirs ne peuvent pas avoir la fonction d'une réelle réserve lorsqu'il n'y pas assez de vent ou de soleil, ou lorsqu'il y a une panne. Dans ces cas, une source alternative ou une force motrice supplémentaire est indispensable.

Les petits systèmes sont fréquemment expérimentaux en ce qui concerne la technologie employée, les aspects économiques ou la gestion. Généralement l'initiative de telles expériences vient d'un pays extérieur au pays en voie de développement concerné.

## 4.2 SYSTÈMES à ENERGIE SOLAIRE: SYSTÈMES PHOTOVOLTAIQUES

### SITUATION ACTUELLE

Seuls les systèmes photovoltaïques sont encore importants. D'autres systèmes basés sur l'énergie solaire ont disparus à cause de la baisse des prix des

panneaux PV, de leur simplicité mécanique et de la grande fiabilité des systèmes électriques.

"Learning from succes" (apprendre du succès) [13], page vii et page 8:

"Le suivi de 66 pompes (systèmes photovoltaïques) de 1983 à mi-1989 a montré 37 pannes: ce qui équivaut à une Moyenne de Temps de Bon Fonctionnement (MTBF) supérieure à 30.000 heures. En tenant compte des Moyennes des Temps de Réparation (+d'attente) (MTFR) au Mali, cette MTBF signifie un taux de disponibilité de plus que 99%."

"...les systèmes PV sont favorables en comparaison à la MTBF typique de 1500 heures des systèmes diesel et à force motrice humaine."

Trois types de cellules PV sont généralement utilisées: les lames mono-cristallines et multi-cristallines (avec un rendement respectif d'environ 16% et 13% ) et les films fins de modules de silicium amorphe (5-9%). Le potentiel des réductions de prix est plus grand pour le dernier type. La puissance (surtout du dernier type) diminue légèrement avec le temps. La puissance maximale augmente avec le niveau de radiation captée, mais diminue avec les montées de température.

La moyenne de la radiation solaire journalière totale varie en gros entre 1 et 8 kW/m<sup>2</sup>/jour (sur une surface inclinée). Cette valeur varie avec la latitude, avec le climat, la saison et le temps. La radiation captée est une combinaison de radiation directe et diffuse.

Deux types de disposition de panneaux sont appliqués:

- \* dans la plupart des cas: des déploiements fixes, inclinés à un angle approximativement égal à l'angle de latitude du site;
- \* quelques petites unités: des panneaux dirigeables, pour pouvoir suivre l'orbite du soleil et capter plus de radiation.

Le montage modulaire des panneaux PV donne la possibilité de les adapter à une situation particulière et dans l'avenir d'ajouter des modules quand les besoins d'eau augmentent.

Les anciens systèmes PV (+/-1980) étaient constitués d'un moteur électrique de surface à courant direct (CD), actionnant une pompe à rotor hélicoïdal via un entraînement mécanique. Ce système s'avère moins fiable, est plus coûteux et, comparé aux systèmes basés sur une pompe immergée, son rendement est plus faible.

Une motopompe immergée est une unité compacte d'une pompe (habituellement une pompe centrifuge) et d'un moteur électrique, suspendue dans l'eau du forage. En général les motopompes immergées en CD sont utilisées pour les petites capacités (<400m<sup>4</sup>) et les moteurs à courant alternatif (CA) pour les plus grandes capacités. L'unité de la motopompe à moteur CA est plus compacte et nécessite moins d'entretien. Le CD doit être transformé en CA triphasé à l'aide d'un onduleur. La plupart des systèmes sont plus petits que 1500 Wc (environ 1000 m<sup>4</sup> au Sahel).

Plusieurs fabricants de pompe à main (entre autres: Pulsa, Vergnet, SWN) expérimentent des pompes à main "avec extension": un moteur CD de surface et un entraînement mécanique de la pompe à main (voir Hybrides, Section 4.6). Cette configuration est choisie à cause de sa simplicité électronique, son rendement élevé et/ou ses faibles frais.

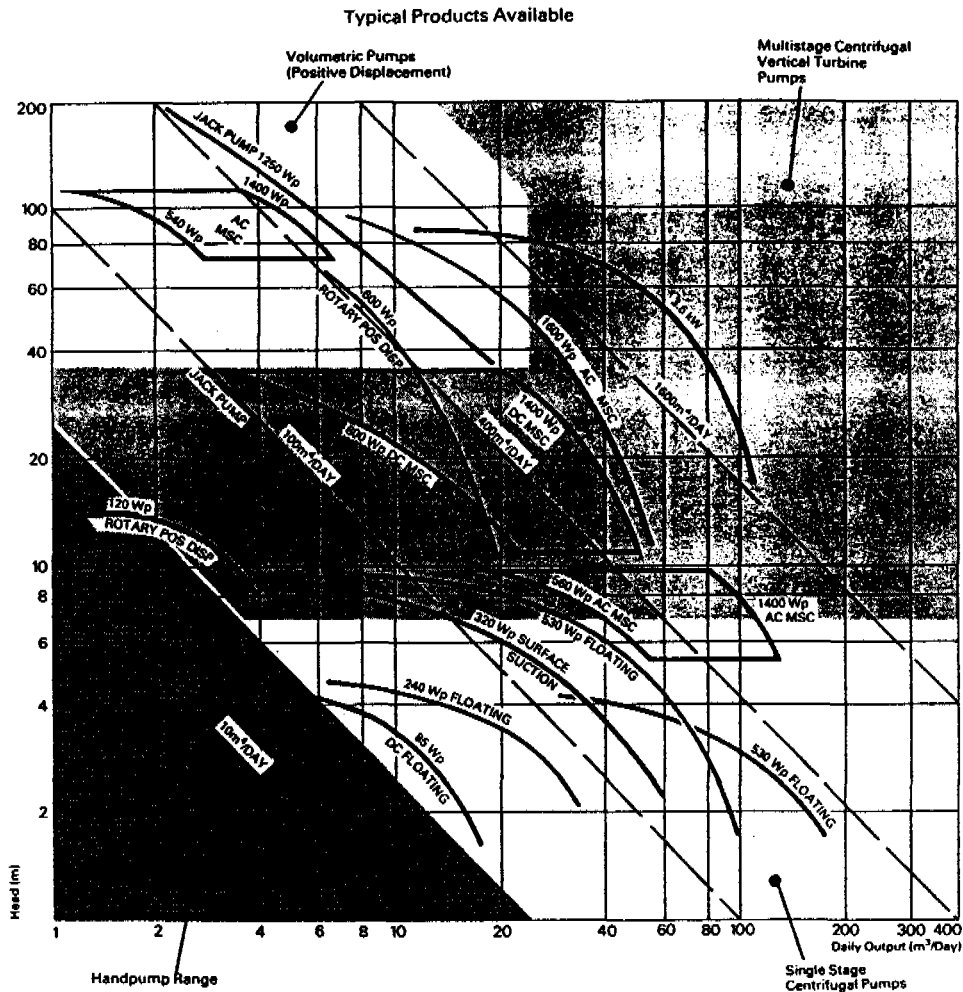


Figure 4.3 Performances des systèmes de pompage solaire disponibles dans le commerce (Source: "Solar photovoltaic products" '91 [7])

N.B. Une pompe à piston efficace entraînée par un moteur alimenté par système PV s'avère être une solution efficace pour les grandes profondeurs et les débits restreints.

Un système PV peut augmenter de 2 à 3 fois le débit d'une pompe à main, surtout à de grandes profondeurs (avec un maximum de puissance absorbée de 300 à 400 W).

Le rendement d'une motopompe immergée avec un onduleur varie entre 30 et 40%, ce qui donne un rendement total de 4 à 5% pour un système PV efficace. La durée de vie d'une pompe centrifuge est d'environ 6 ans, selon l'intensité de l'utilisation et la qualité de l'eau (sédiment, acidité). La durée de vie de l'onduleur est parfois très décevante; pas même un an. Cette technologie est en plein développement et ces problèmes seront probablement bientôt résolus.

Le prix des panneaux PV diminue lentement. Actuellement les prix sont d'environ 4 \$/Wc (prix à la sortie d'usine, sans taxes). Cependant, l'augmentation (partielle) des prix des autres pièces compense la baisse des prix des panneaux. (N.B. Les systèmes de pompage PV pour les grandes profondeurs sont même devenus récemment beaucoup plus chers). Les systèmes

complets ne deviendront pas moins chers, à moins que de grandes quantités ne soient vendues (fabrication en série, cash-and-carry). Les prix à la sortie d'usine pour les systèmes complets (panneaux PV avec un support, un onduleur et une protection, une motopompe immergée et des câbles) varie actuellement de 12 à 24 \$/Wc. Le coût d'un système complet (avec un réservoir), installé par un installateur peut atteindre 3 à 4 fois le prix de sortie d'usine!

La technologie est compliquée, surtout pour le système à CA, mais l'entretien et les réparations sont relativement simples. Ceci est dû: 1) au besoin limité d'entretien et de réparations; 2) à la simplicité mécanique du système et 3) aux réparations qui sont en fait principalement des remplacements, particulièrement des composants électroniques. Les mécaniciens locaux peuvent localiser le défaut avec des moyens relativement simples. En général la réparation ne sera réussie que s'il y a des nouvelles pièces détachées disponibles. La distribution des pièces détachées est actuellement un maillon faible.

L'entretien et l'inspection régulières des pièces qui sont en surface sont simples (par exemple le nettoyage des panneaux), et les femmes, qui sont généralement les seules personnes motivées, peuvent en prendre soin. Sans de telles interventions, le système continuera de fonctionner (sauf si les câbles sont rongés), mais sa capacité sera réduite. L'entretien et les réparations des pièces à l'intérieur du forage est un travail de spécialiste, qui n'est fait normalement qu'en cas de panne—quand la pompe ne pompe vraiment plus d'eau. Ceci arrive rarement, car les systèmes PV (en principe) peuvent marcher des années sans que l'on ait à remplacer des pièces (les balais en charbon de certains types de moteurs à CD ont besoin d'être remplacés tous les deux ans, ce qui est une affaire sérieuse pour un système à motopompe immergée).

Il est relativement simple de trouver de nouvelles unités même après plusieurs années car les systèmes PV sont composés de modules (panneaux, motopompe immergée, ...) et les normes industrielles sont respectées (filetages, voltages, etc.): donc d'autres marques d'unités peuvent être employées.

## LE POTENTIEL

Cette technologie de pompage ne dépassera provisoirement pas les autres systèmes ('non-branchés sur le réseau électrique'), à cause des frais initiaux élevés. Cependant, les marges d'appréciation pour le degré d'adaptation des pompes PV ont remarquablement changées de 500 m4 en '88 à 800 m4 actuellement. Ceci est particulièrement dû à:

- \* aux autres systèmes qui sont moins fiables;
- \* l'entretien et les réparations (=le remplacement!) relativement simple(s);
- \* les moyennes des frais d'eau relativement modiques (dans les régions avec des vitesses de vent réduites), si, entre autre les frais de forage et de capital sont compris;
- \* le fonctionnement silencieux et non-polluant des systèmes PV, indépendant des combustibles organiques.

L'échelle à laquelle ces systèmes de pompage seront appliqués dans les pays en voie de développement, dépend actuellement des bailleurs de fonds extérieurs et de l'éventuelle réduction des prix des systèmes PV complets.

## LIMITATIONS

Les limitations les plus importantes sont:

- \* Des variations de l'ensoleillement; afin de compenser ces variations le système (surtout le panneau PV) peut être surdimensionné, ou bien on peut ajouter un réservoir, un "moteur" supplémentaire (hybride) ou un point d'eau alternatif.
- \* Les prix d'achat et les frais de remplacement actuels élevés qui dépassent largement la capacité financière de la population locale. Ceci limite les potentiels des systèmes PV par rapport au diesel et au vent, même dans les régions bien ensoleillées.

Bien que les prix des panneaux continuent de baisser constamment, les prix d'achat des systèmes complets semblent s'être stabilisés. Surtout pour les grandes profondeurs et les grands débits le système est à peine compétitif. Les frais d'investissement sont presque proportionnels à la capacité voulue, et donc à la surface des panneaux PV. En outre, se sont précisément les prix des systèmes PV pour les grandes profondeurs qui ont augmentés. (Il est possible qu'entre-temps ces systèmes aient été agrandis à cause des plaintes de personnes qui sont sur le terrain, concernant la capacité, qui était inférieure à celle indiquée.)

Les panneaux sont fragiles et peuvent être endommagés pendant le transport: ils peuvent devenir une source d'embarras pour les villageois après leur installation.

La durée de vie de la plupart des systèmes PV modernes s'avère longue. Mais ces systèmes demandent toujours de l'entretien: des panneaux cassés, l'onduleur détraqué, une pompe (centrifuge) usée, la corrosion, les systèmes électroniques complexes et sensibles, et des câbles rongés (UV, termites). Il y a en outre le risque d'un coup de foudre: un coup peut abîmer tout le système, y compris le forage. (Quel est le risque?) Le système PV est aussi sujet au vandalisme et au vol. Ceci peut entraîner des frais excessifs pour les utilisateurs. (Les adversités devraient-elles être couvertes par une assurance, des contrats d'entretien ou de leasing???)

Le système implique une saisie supplémentaire sur les réserves financières nationales (devises étrangères). La fabrication dans les pays en voie de développement sera dans les temps à venir d'une importance limitée.

La technologie est relativement nouvelle. Pour prévenir une dépendance permanente des interventions des spécialistes (les frais élevés, les longues périodes de panne) un réseau convenable de mécaniciens locaux et de distribution des pièces détachées doit être mis en place. Cela peut seulement devenir profitable et durable si les revenus sont satisfaisants, et pour cela il faut qu'il y est assez de systèmes installés.

La gestion par le village est une condition importante pour atteindre une gestion et un fonctionnement efficace et effectif du système de pompage. Cependant, la création et la gestion d'un fonds relativement grand pour l'entretien et les futurs remplacement cause souvent des problèmes!

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** des recherches spécialisées; la responsabilité des fabricants

### 4.3 SYSTEMES à ÉNERGIE ÉOLIENNE

#### SITUATION ACTUELLE

Les éoliennes peuvent être compétitives à des vitesses de vent moyennes de 3 m/s minimum (des moyennes calculés sur des périodes d'un mois) et à des capacités limitées (allant jusqu'à 800 m<sup>4</sup>), surtout en grandes profondeurs. A des vitesses de vent moyennes plus élevées le rendement économique augmente fortement. Pour faire face aux périodes sans vent, un réservoir d'eau assez grand, une force motrice de réserve ou bien une source d'eau alternative (un puits, une pompe à main, ...) sont indispensables.

Pour les profondeurs importantes (>30 m) seules les pompes à piston et les pompes à rotor hélicoïdal sont utilisées. Du point de vue technique, la construction la plus simple est une pompe à piston actionnée par un mécanisme à arbre excentrique. Son débit est limité, à cause de la fréquence de pompage admissible réduite due aux résonnances de la colonne d'eau dans le tuyau de refoulement (juste quelques coups par seconde). La pompe à rotor hélicoïdal nécessite un système d'actionnement plus avancé. Cependant, cette pompe est adaptée pour les débits plus grands, car elle peut tourner à des régimes beaucoup plus élevés (jusqu'à 1000 tours/minute). En raison de ses frais d'achat plus élevés, ce système n'est profitable qu'à des vitesses du vent élevées et pour de grandes capacités. Les systèmes basés sur, par exemple, un générateur à énergie éolienne (électrique) et une motopompe immergée sont trop coûteux et trop complexes pour cette utilisation.

A cause du couple important qui est nécessaire pour démarrer les pompes à piston et les pompes à rotor hélicoïdal, on ne peut utiliser que des éoliennes multipales lentes.

L'utilisation des moulins à vent pour l'approvisionnement en eau (potable) est une ancienne technologie, même à de grandes profondeurs. Les anciens modèles multipales sont encore fabriqués et vendus. Pendant la dernière décennie, la recherche sur les systèmes de pompes à éoliennes s'était concentrée sur la réduction des frais, la simplification de la fabrication locale et de l'entretien, sur l'amélioration des systèmes de protection et sur l'augmentation des rendements totaux. De meilleurs rendements ont été réalisés par (entre autres) des dispositifs qui facilitent le démarrage à des vitesses de vent plus faibles (réduction du couple de démarrage).

La technologie des éoliennes combinée avec les pompes à piston est pratiquement au point. De nouveaux développements peuvent être attendus pour les grands systèmes plus complexes (hydrauliques et électriques).

En ce qui concerne la fabrication locale, d'autres développements sont encore possibles, tels que: des modèles mieux adaptés, de la production en série (à demande accrue), l'amélioration du contrôle de qualité et la réduction des frais. Les systèmes PV, des générateurs diesel et des motopompes immergées sont des technologies de pointe, fabriqués en série et testés à l'usine. La fabrication des éoliennes se fait au contraire avec une méthode classique de métallurgie (travail à la pièce), ayant généralement un contrôle de qualité sous-développé, alors que chaque soudure est d'une grande importance, car elle est soumise à de grandes charges de fatigue et à des forces énormes durant des tempêtes. De plus, le premier montage complet et les tests ne sont fait qu'après l'installation finale.



#### 5.4. General comparison of unit water costs for different small-scale water pumping techniques

An idea of the current and future water costs of wind pumps, when compared to fuel and solar pumps, can be obtained from Figures 5.3.a and 5.3.b. The figures have been prepared, using the equations presented in Appendix C, which are basically the same as those used in the cost comparison procedure presented in Section 5.2.

In the figures the unit water cost related to the pumping system (i.e. excluding water source, storage, and distribution) is indicated as cost per unit of hydraulic energy, and is shown as a function of the annual average pumping requirement per day. On both axes different units are indicated. Energy may be expressed either as kWh hydraulic, or as  $m^4$  (i.e. volume of water in  $m^3$  times head in m, see Section 1.2, Chapter 1).

The graphs are based on the data given in Table 5.5. However, inclusion of the complete ranges of all parameters indicated in the table would tend to fill the graph completely with very wide bands of cost curves, and the distinction between the technologies would be lost. Therefore some assumptions were made for the different technologies. In a situation where these assumptions are not valid, a new set of graphs may be drawn, using the equations in Appendix C and the blank graph paper in Appendix E. The assumptions made here are the following:

##### Engine-driven pumps

<u>Investment:</u>	For very small water requirements it was assumed that the smallest available size of engine is used. If, for large water requirements, a larger pump set is needed than the largest available gasoline pump, it was assumed that more pumps will be used. This is realistic for suction pumps. However, if the pump is to be installed on a tubewell, this would imply additional tubewells, which is not realistic.
<u>Lifetime:</u>	According to Table 5.5 and number of hours of operation, see below (use and application).
<u>Maintenance and repair:</u>	Both values of Table 5.5 are included in the range indicated in the figure.
<u>Operating cost:</u>	Fuel US \$ 0.35 - 0.70 per liter; the band in the figure covers both values. Operator: zero (this cost is difficult to assess and in any case similar for different technologies).
<u>Output performance:</u>	According to Table 5.5 with efficiency of pump and lines of 40%.
<u>Use and application:</u>	Diesel: 2000 hours per year. For 365 days of operation this means 5.5 hours per day. Kerosene/gasoline: 1000 hours per year. For 365 days of operation this means 2.75 hours of operation per day. For very small water requirements, where the smallest available size is used, the number of hours of operation is reduced according to the requirement.

##### Wind pumps

<u>Investment:</u>	Classical: US \$ 400/ $m^2$ (total, including transport, installation). Future: US \$ 200/ $m^2$ For very small water requirements it was assumed that very small wind pumps are available, down to 1 m diameter. For large water requirements, requiring a wind machine larger than 8 m diameter, it was assumed that electrical systems are used, at the same specific investment cost.
<u>Lifetime:</u>	15 years.
<u>Maintenance:</u>	Present: 5%, Future: 3%, Fixed annual cost: US \$ 50
<u>Operating cost:</u>	Zero (this cost is difficult to assess and similar for different technologies).
<u>Output performance:</u>	Quality factor $\beta = P/AV^3$ : classical: $\beta = 0.08$ , future: $\beta = 0.15$ (see Table 2.2, Chapter 2).
<u>Use and application:</u>	Ratio of hydraulic power demand in design month to annual average hydraulic power demand: 1.

Note that the wind speed indicated in the figure is the wind speed in the design month.

##### Solar pumps

<u>Investment:</u>	Present: US \$ 18/ $W_p$ , Future: US \$ 9/ $W_p$ , Long term: US \$ 6/ $W_p$
<u>Lifetime:</u>	15 years
<u>Maintenance and repair:</u>	See Table 5.5
<u>Operating cost:</u>	Zero (this cost is difficult to assess and anyhow similar for different technologies).
<u>Output performance:</u>	Average daily energy subsystem efficiency: $\eta_s = 40\%$ .
<u>Use and application:</u>	Ratio of hydraulic power demand in design month and annual average hydraulic power demand: 1.

The irradiation in the design month was assumed to be 4 kWh/ $m^2$ /day, or 14 MJ/ $m^2$ /day.

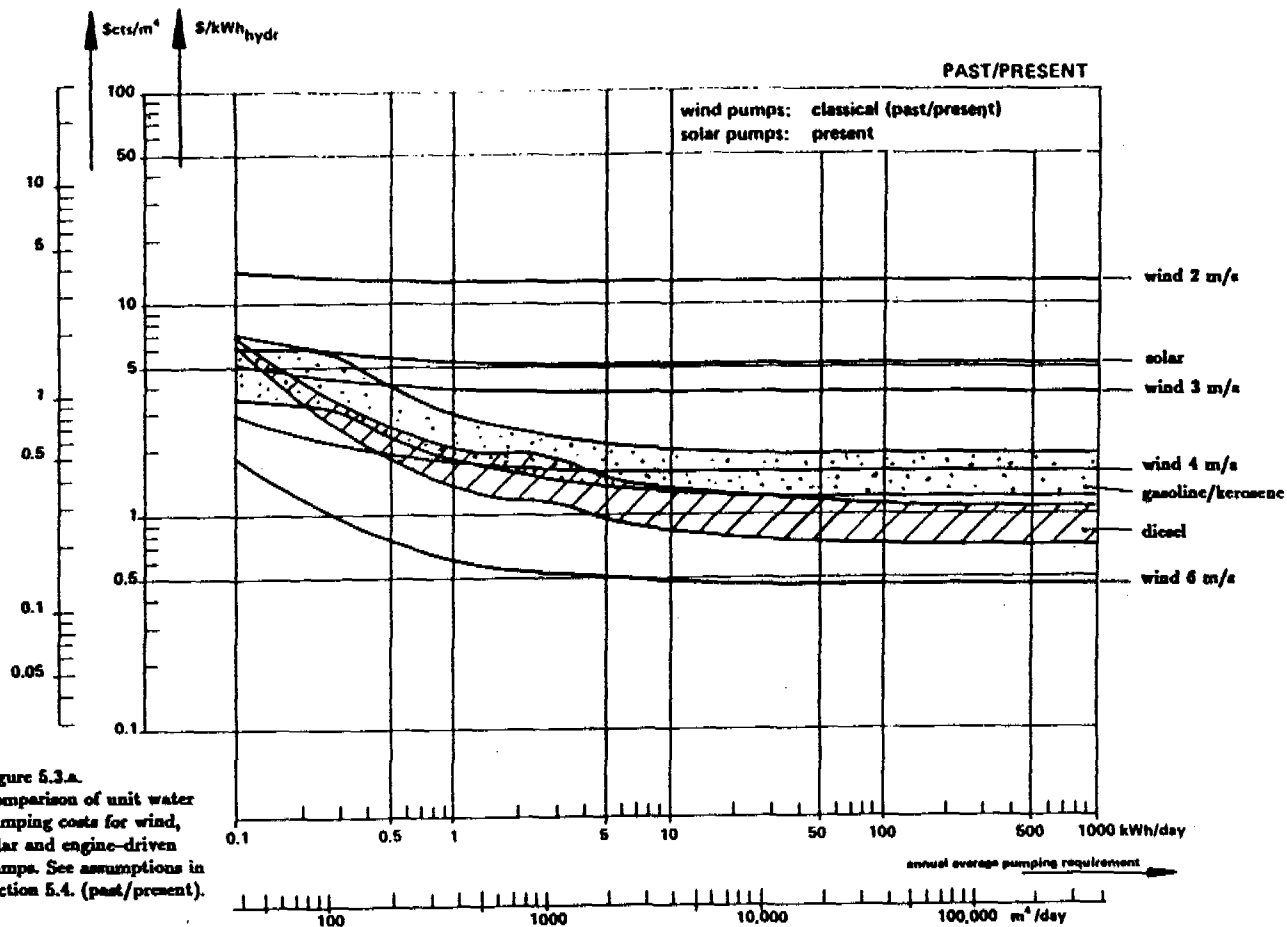


Figure 5.3.a.  
Comparison of unit water pumping costs for wind, solar and engine-driven pumps. See assumptions in Section 5.4. (past/present).

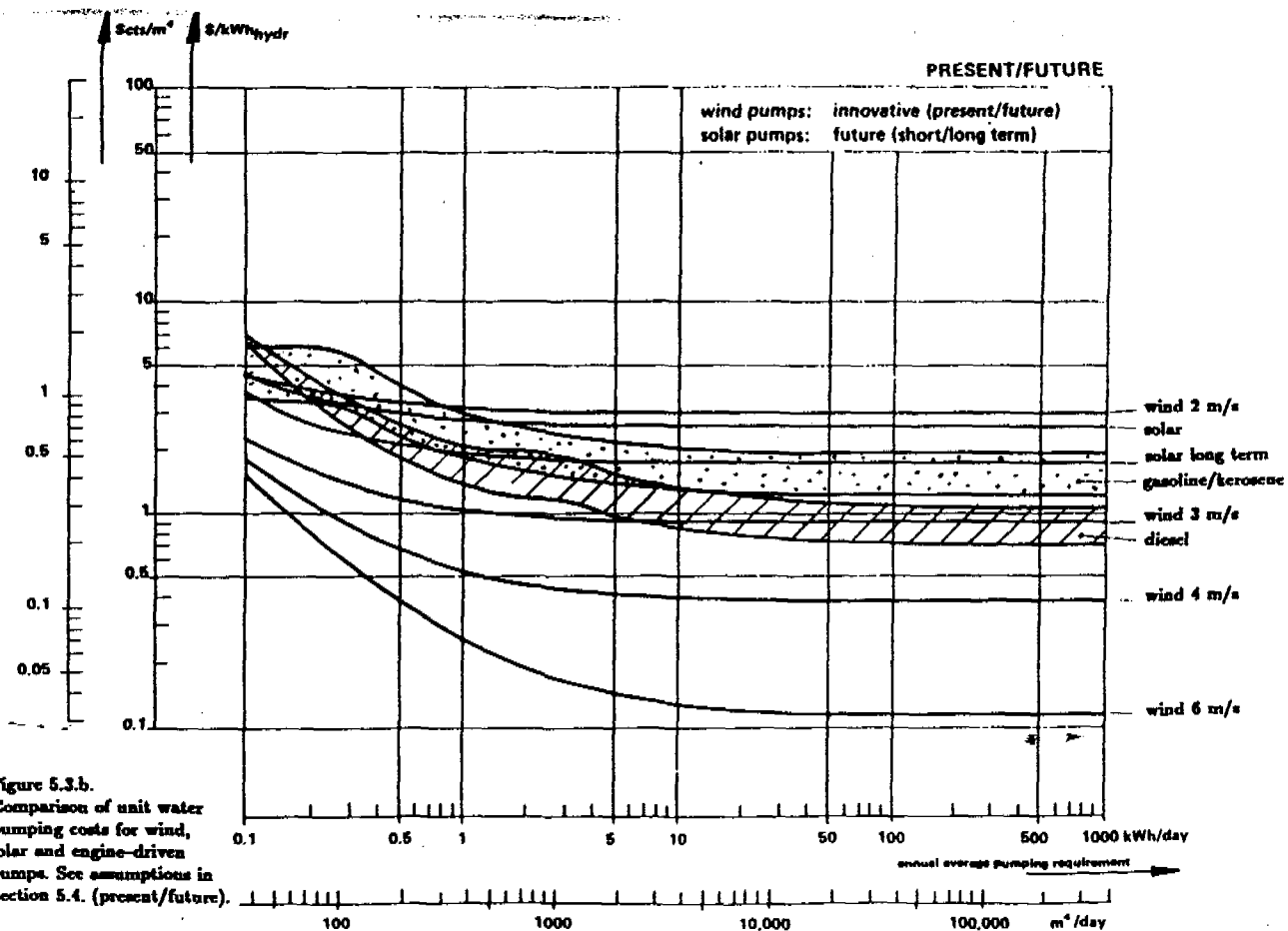


Figure 5.3.b.  
Comparison of unit water pumping costs for wind, solar and engine-driven pumps. See assumptions in Section 5.4. (present/future).

Note:  
Graphs are based on average values of investment costs, fuel costs, etc. Always make your own calculations based on prevailing costs in your situation.

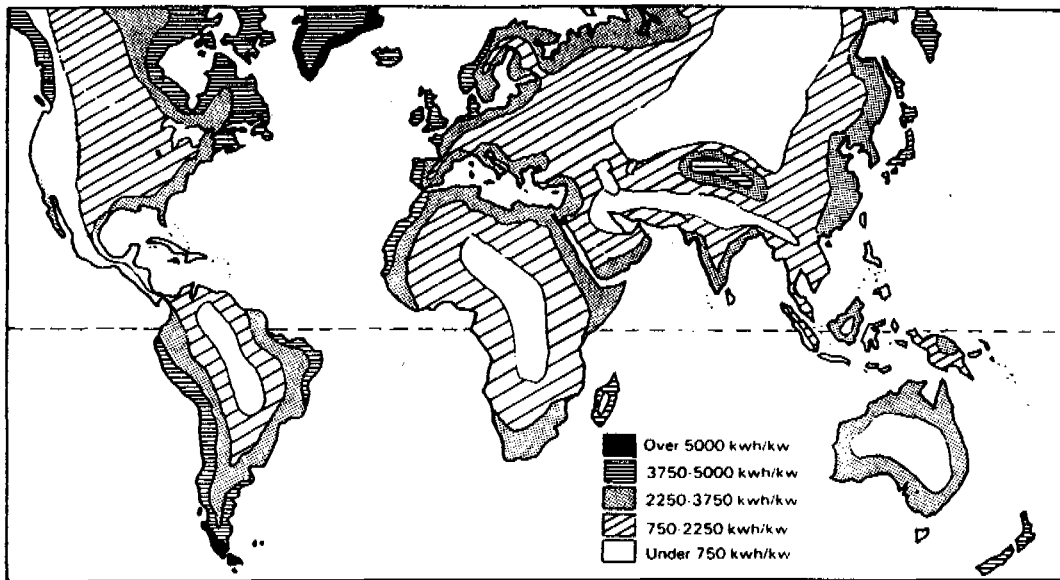


Figure 4.5 Vitesses de vent moyennes annuelles (indication approximative)  
(Source: "Water pumping devices" [9])

Les systèmes à énergie éolienne sont devenus plus fiables. Cependant, il faut toujours tenir compte d'une condition essentielle: ils demandent un entretien régulier et qualifié.

#### LE POTENTIEL

Dans les endroits ayant des vitesses du vent moyennes de plus de 3 m/s (calcul mensuel) pendant toute l'année, un système de pompage à éolienne peut être la meilleure solution. C'est le cas dans de nombreux pays en voie de développement situés sur la côte.

Cependant, bien que les systèmes de pompage à éolienne:

- \* soient non-polluant et utilisent une source d'énergie gratuite et propre;
- \* ne demandent que des technologies simples (un système mécanique linéaire);

on doit seulement s'attendre, à court terme, à une croissance limitée de la capacité installée dans les pays en voie de développement pour l'approvisionnement en eau potable.

L'auto-diffusion est hors de question, sauf en cas d'usage commercial privé. Cependant, elle n'est profitable qu'à de petites profondeurs: pour l'irrigation.

Les bailleurs de fonds et les projets de mise en oeuvre pourraient essayer de changer cette situation.

## LIMITATIONS

Le vent est une source d'énergie inconstante et limitée, nécessitant une force motrice supplémentaire (hybride), un réservoir d'eau ou une source d'eau alternative. La force du vent varie fortement avec le site. Les éoliennes ont besoin d'espace et d'un courant d'air libre. Le meilleur emplacement pour une éolienne n'est généralement pas le bon endroit pour un forage.

Là où les gens ne sont pas habitués aux systèmes de pompage à éolienne, on n'atteindra pas une utilisation à grande échelle. (Même là où c'était le cas, les éoliennes disparaissent.) Pourquoi?

- \* Les frais sont trop élevés pour les utilisateurs, surtout les frais d'entretien et de réparations (bien que les frais initiaux soient généralement plus faibles, en comparaison aux systèmes PV, et qu'ils soient à la charge des bailleurs de fonds);
- \* Sa durabilité décevante, à cause de:
  - \* du manque de discipline indispensable pour l'entretien;
  - \* du grand risque de dégâts et de pannes de longue durée à cause de:
    - de dégâts causés par une tempête: sensibilité aux tempêtes, en dépit des systèmes de protection;
    - de dégâts causés par la foudre: la sensibilité à la foudre, à cause de sa grande hauteur et de la construction en acier;
    - la sensibilité à l'entretien/aux interventions inexpert(es) (par exemple: le système de protection);
- \* Les alternatives sont trop alléchantes à cause de leur image moderne: diesel, solaire.

La présence d'un comité de gestion motivé et/ou des groupes d'adultes directement intéressés est une condition importante pour l'exécution d'un entretien (préventif) régulier. Sans cela l'éolienne risque d'être complètement ruinée. Il est probable que de nombreuses éoliennes tombent en panne parce que l'entretien nécessaire n'est pas effectué à temps. Les pannes sérieuses ne peuvent pas être réparées rapidement sur place, donc le système est hors service pendant un bon bout de temps. L'approvisionnement des pièces détachées reste problématique à cause du petit nombre d'éoliennes et du manque de standardisation.

N.B. Une éolienne est une technologie typiquement "mâle". Les femmes, qui forment en général le seul groupe directement intéressé "n'y connaissent rien". Elles ne peuvent pas grimper dans la tour pour se faire une image de la situation et donc elles dépendent complètement des hommes, qui souvent s'en fichent. En outre, les villageois dépendent du mécanicien, même s'ils n'ont pas confiance en lui, ou s'ils le trouvent incompetent.

Sans une inspection régulière, personne ne remarquera la panne, qui se développe lentement dans l'éolienne ou dans la pompe (au contraire, par exemple, d'une pompe à main). On n'appelle le mécanicien que lorsque le système a cessé de donner de l'eau et que le dégât est déjà considérable. L'importance de l'entretien préventif est souvent sous-estimée par le comité de gestion aussi bien que par le mécanicien. Mais même si le mécanicien propose de remplacer des pièces préventivement, le comité préfère attendre que le système soit réellement en panne (cessera de pomper de l'eau). Ils ont peur que le mécanicien veuille seulement se

remplir les poches! Il est triste de dire que les réparations sont souvent mal faites.

La gestion des fonds pour l'entretien et le futur remplacement est une tâche difficile.

Le transport du système est problématique: beaucoup de matériaux et une grande construction tridimensionnelle. Ceci est d'une grande importance en ce qui concerne le futur remplacement par le village.

Les pompes à piston avec un fonctionnement intermittent sont sensibles aux fréquences de résonance de la colonne d'eau. Celles-ci intensifient la charge de fatigue, qui peut aboutir à des fractures, surtout après des réparations inexpertes.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** une meilleure adaptation de la conception d'éolienne à la fabrication locale.

#### 4.4 MOTEURS A COMBUSTION: DIESEL

##### SITUATION ACTUELLE

Les moteurs diesel sont disponibles avec une capacité à partir d'environ 3 kW. Pour prévenir une usure prématurée la puissance du moteur est normalement limitée aux 2/3 de son maximum. Le plus petit moteur diesel est assez puissant pour les systèmes de pompage avec un "débit journalier multiplié par la profondeur" de 2000 m<sup>4</sup>. Pour de plus petites capacités, un fonctionnement de quelques heures par jour suffit. Un réservoir d'eau est nécessaire pour permettre de tirer de l'eau toute la journée. Le débit d'eau peut être adapté aux besoins, indépendamment des conditions atmosphériques (soleil/vent).

Les moteurs diesel stationnaires pour les systèmes de pompage de puits profond peuvent être subdivisés en:

- \* les moteurs à faible vitesse: lourds, durables (jusqu'à 20.000 heures), un maximum de 1200 tours/minute (par exemple "Lister");
- \* les moteurs à haute vitesse: compacts, moins chers à l'achat, moins durables (jusqu'à 8.000 heures), jusqu'à 3000 tours/minute;
- \* les moteurs à refroidissement à eau ou à courant d'air forcé (bruyants).

Le transport, l'installation et le remplacement d'un moteur diesel sont relativement simples.

Les efforts actuels sont principalement concentrés sur l'amélioration des technologies de production et sur la réduction du besoin d'entretien. Pour ces petits moteurs diesel stationnaires, les développements concernant la réduction du bruit et de la pollution de l'air et du sol sont minimes (excepté pour les effets secondaires).

La plupart des systèmes de pompage mécanisés sont "diesel-électriques": un générateur CA triphasés, directement accouplé au moteur, alimente en courant une motopompe centrifuge immergée. Dans les pays anglophones on emploie aussi des pompes à rotor hélicoïdal actionnées mécaniquement. Les deux systèmes requièrent peu d'espace. En grandes profondeurs (et pour des débits limités) on emploie aussi des pompes à piston actionnées mécaniquement, à cause de leur rendement total élevé.

L'aptitude et la fiabilité dépendent (sans parler de la qualité de l'installation) de:

- \* la disponibilité régulière du gasoil et de sa qualité;
- \* un contrôle adéquat et d'un entretien (préventif) fréquents, e.a. pour prévenir le grippement du moteur diesel et de la pompe; ceci dépend de l'opérateur, des mécaniciens, de l'approvisionnement en pièces détachées et en matériaux;
- \* des fonds pour couvrir les frais de fonctionnement: ceci dépend de la situation socio-économique et la gestion par le village.

Comparé au système PV ou à énergie éolienne, les frais d'investissement pour un système diesel sont généralement plus faibles. Ceci est dû au grand nombre de moteurs diesel vendus, et à la quantité limitée des pièces dont il est assemblé qui sont relativement bon marché. Par contre, les frais de fonctionnement d'un système diesel sont beaucoup plus élevés à cause du prix du carburant, de l'entretien et des réparations plus fréquents et de la nécessité d'avoir un opérateur. L'augmentation attendue du prix du carburant sur le marché mondial en conséquence d'une éventuelle pénurie n'a pas eu lieu. Le stock mondial des carburants fossiles n'est pas du tout épuisé, donc les systèmes diesel resteront compétitifs dans les temps à venir.

Dans les campagnes de nombreux pays en voie de développement, les moteurs diesel sont bien connus. Bien qu'un moteur diesel soit une pièce de technologie complexe, son entretien n'est pas forcément un problème si l'on utilise des moteurs de marques et de modèles bien connus. Il y a souvent un commerce actif de pièces détachées neuves et d'occasion et la révision n'est pas un problème. Dans plusieurs pays en voie de développement, les pièces détachées pour ces moteurs sont fabriquées localement.

Les moteurs diesel ont besoin d'un entretien régulier. Ils peuvent aussi fonctionner pendant longtemps même si l'entretien n'est pas fait à temps, mais leur capacité diminuera progressivement et la consommation de carburant pourra doubler. Cependant, un entretien en retard occasionnera généralement des grands dégâts au moteur.

## LE POTENTIEL

La croissance constante du nombre de systèmes de pompage au diesel va continuer. Pour le moment, les systèmes de pompage solaires et éoliennes ne forment souvent pas une alternative réelle. Provisoirement, l'augmentation des prix du carburant et les règlements stricts de l'environnement n'auront pas une influence négative.

Pour le village les moteurs diesel vrombissants sont une preuve claire du progrès, ceci soutient le comité de gestion dans sa tâche. La demande fréquente de moyens financiers (entre autres pour les frais de fonctionnement) stimule la participation du village, et cela peut aboutir à une gestion convenable des fonds (et de leur contrôle).

Le futur remplacement du système aux frais du village reste un maillon faible de la durabilité.

## LIMITATIONS

En général un système de pompage diesel veut dire:

- \* des frais de fonctionnement élevés à la charge des utilisateurs, et un cash flow négatif pour le village et le pays;
- \* une dépendance accrue de l'importation du carburant et des pièces détachées;
- \* une charge supplémentaire pour l'environnement.

Le fonctionnement d'un moteur diesel exige un opérateur motivé et compétent. Un moteur diesel exige beaucoup d'entretien et est sensible aux retards d'entretien, qui peuvent aboutir à de grands dégâts (désamorçage du moteur, court-circuit, etc.).

Si on utilise un générateur diesel de modèle peu courant, on court le risque d'une période hors service prolongée par manque des pièces de rechange.

A cause des frais de fonctionnement élevés, le village aura moins les moyens d'économiser pour le futur remplacement du système.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** Aucun.

## 4.5 SYSTEMES à TRACTION ANIMALE

### SITUATION ACTUELLE

Pour les petites profondeurs il existe plusieurs systèmes et mécanismes traditionnels d'exhaure. La plupart des systèmes pour les grandes profondeurs se composent rarement de plus d'une puisette (en cuir ou en caoutchouc), d'une corde et d'une poulie (système 'Delou'). Les animaux partent du puits et effectuent un va et vient en ligne droite. La corde de traction balaie de la saleté dans le puits et, par conséquent, l'eau du puits ne peut plus mériter le nom d'eau 'potable'. Pour un forage ce système est peu intéressant à cause de son débit limité. (N.B. D'un puits ouvert plusieurs femmes peuvent puiser de l'eau et/ou plusieurs systèmes à traction animale peuvent y opérer.)

Les rares systèmes modernes et avancés pour les grandes profondeurs ont un rendement total plus élevé, mais les investissements sont d'autant élevés. La capacité de ces systèmes est limitée à 1000 m<sup>4</sup> et se base habituellement sur un manège.

Un système à traction animale exige un ou deux opérateurs continuellement disponibles et plusieurs attelages: de réserve et/ou pour la relève. Les animaux doivent être bien soignés toute l'année.

Les frais de fonctionnement peuvent augmenter considérablement, même si le système a une capacité limitée, en particulier à cause des frais de l'opérateur et des animaux. Le rendement économique d'un système moderne n'est pas forcément meilleur que celui d'un système traditionnel (mis à part l'utilisation plus efficace du forage). D'autre part, ces fonds restent dans le village!

Dans les régions où les animaux ne sont pas employés traditionnellement pour l'approvisionnement en eau, les systèmes modernes à traction animale auront aussi peu de chance, à cause des barrières culturelles et de l'image peu

moderne que donne ce système. De nombreux systèmes à traction animale existants sont remplacés par des systèmes modernes entièrement mécanisés (diesel, ...).

Les systèmes à traction animale sont d'une technologie mécanique simple et non-polluante. Il y a habituellement assez de 'forces motrices' de réserve disponibles.

Les systèmes de pompage modernes communaux emploient probablement des animaux appartenant à des particuliers pour puiser l'eau. Autrement les animaux manqueraient probablement de repos et de soins. Cela pourrait aboutir à des tensions sociales et à la fermeture du système.

## LE POTENTIEL

Le nombre de systèmes de pompage moderne à traction animale pour l'approvisionnement communal en eau potable provenant de puits/forages profonds n'augmentera probablement pas beaucoup.

## LIMITATIONS

Un système avec un manège monopolise un très grand espace autour du puits/forage et limite ainsi le débit. La capacité est limitée à 1000 m<sup>3</sup> pour un système à traction animale.

Les frais de fonctionnement sont considérables et peuvent à peine être réduits. Les animaux ont besoin d'être soignés tout au long de l'année - cela demande: de la nourriture, des soins médicaux, le tarif de l'eau, de la connaissance et de la motivation.

Il y n'a que quelques conceptions de systèmes de pompage à traction animale efficaces pour les grandes profondeurs, ne demandant qu'un minimum d'entretien et pouvant être fabriqués localement.

Les systèmes à traction animale n'offrent pas une image moderne. Il est douteux que cette image puisse être améliorée.

## ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE: ?

### 4.6 HYBRIDES

#### SITUATION ACTUELLE

Des raisons éventuelles de choisir un hybride:

- \* augmenter la disponibilité de l'approvisionnement en eau potable en ajoutant une force motrice supplémentaire comme réserve;
- \* augmenter la capacité du système de pompage et du forage en pompant pendant plus d'heures par jour, par semaine ... (en l'absence du soleil ou du vent, ou pour compenser une demande momentanée plus grande);
- \* réduire les frais du système:
  - \* en se contentant d'un réservoir plus petit ou même en n'ayant pas de réservoir du tout, d'une plus petite éolienne ou de moins de panneaux PV;
  - \* en réduisant la nécessité d'une source d'eau alternative;



- \* il sert de filet de sécurité: si par manque de moyens (d'argent, de pièces détachées) la force motrice principale ne peut pas être réparée ou remplacée, le système peut continuer de fonctionner (pour éviter de perdre tout l'investissement).

N.B. Les frais de fonctionnement d'un système hybride peuvent être beaucoup plus élevés.

L'adjonction d'une deuxième force motrice compliquera le système.

Lors du choix du système, les conséquences pour les frais d'investissement initiaux (pour le bailleur de fonds) aussi bien que les frais de fonctionnement (pour les consommateurs) devraient être considérés.

Pour les grandes communautés et au cas où il n'y ait aucune autre source d'eau sûre, un hybride peut être indispensable.

Deux types d'hybrides (en ce qui concerne la force motrice) semble être techniquement viables:

- \* pour les grands systèmes (>1000 m<sup>4</sup>) comme un système PV ou un aérogénérateur: un groupe électrogène diesel comme réserve;
- \* pour les petits systèmes: un système de pompage (à main) actionné à traction solaire, éolienne, diesel ou animale, et éventuellement, si besoin est, actionné avec la force des bras.

D'autres combinaisons sont rares.

Les grands systèmes hybrides avec un système électrique (PV + diesel) permettent de brancher simplement les deux forces motrices (alternativement) à une seule motopompe immergée. S'il s'agit d'un système à traction mécanique cela est plus difficile et moins attrayant.

Il existe trois méthodes pour les petits systèmes:

- \* une pompe à main avec une traction à force motrice non-humaine, ou
- \* une pompe à main couplée avec une pompe à traction électrique/mécanique, ou
- \* un système de pompage à traction mécanique avec la possibilité de prêter la main ou de substituer (temporairement) la force motrice principale.

Quelques exemples:

- \* une pompe Volanta, actionnée par un petit moteur diesel au moyen d'une courroie plate;
- \* une pompe SWN, couplée avec une pompe immergée PV-électrique;
- \* une Pulsa-Solar, une Pulsa (une pompe à main/pied) munie d'un volant, actionnée par un système PV-électrique;
- \* une pompe Volanta, dont la superstructure est (temporairement) débrayée, actionnée par une éolienne.

Au point de vue de la gestion et de l'entretien, ces systèmes sont des améliorations relativement simples de la technologie des pompes à main. Au besoin, il est facile et pas du tout dramatique de revenir à la force musculaire. La capacité d'un forage et d'une pompe à main peut être augmentée sans trop de risques (une solution plus coûteuse(?) est l'installation d'un deuxième forage avec une pompe à main). En outre, le système offre plus de confort. En pratique, la profondeur maximum est d'environ 40 m. bien que les pompes à piston peuvent avoir une portée plus profonde.

Pour un système hybride, en partie basé sur la force musculaire humaine, il est probablement peu réaliste de compter sur plus de 300 Watt de puissance humaine brute par système—3 à 4 personnes pompant ensemble à la main. Deux

personnes pourraient déjà réaliser la même puissance en pédalant. Ces niveaux peuvent être produits pendant plusieurs heures, en pompant continuellement avec un système de relais.

En ce qui concerne le mécanisme d'actionnement, plusieurs pompes à main sont préparées à de plus grandes capacités. La puissance effectivement absorbée par d'autres pompes pourrait être adaptée en effectuant quelques changements au mécanisme d'actionnement et à le coup du piston ou bien son diamètre. Par conséquent, ces pompes ne peuvent plus être actionnées par une seule personne.

L'augmentation de la capacité de la pompe à main est probablement profitable à condition que la capacité volumétrique du puits ou du forage soit suffisante et que la pompe soit (mécaniquement) préparée et adaptée. Les hybrides basés sur une pompe à main ont des problèmes techniques comparables aux pompes à main normales (probablement même plus, car elles sont employées plus intensivement). L'entretien d'un tel système pourrait aussi être effectué par des mécaniciens locaux, s'ils ont été convenablement formés.

## LE POTENTIEL

Pour plusieurs grands systèmes il peut être indispensable d'ajouter un petit (générateur) diesel comme moteur de secours.

Pour les petites communautés à croissance rapide (<1000 personnes) augmenter la capacité de leur pompe à main en y ajoutant une force motrice (mécanique) peut être un bon compromis.

## LIMITATIONS

Les systèmes hybrides sont plus complexes et augmentent la dépendance de la technologie importée. Si une force motrice en panne n'est pas immédiatement réparée, l'effet de sa plus grande fiabilité est grande partie réduit. Ceci est trop souvent le cas.

Actionner mécaniquement une pompe à main ne peut augmenter le débit que de deux à trois fois. Sa capacité n'excédera pas 1000 m<sup>4</sup>.

Le développement des petits systèmes hybrides et des tests effectués sur le terrain sont en retard; ces systèmes n'ont donc pas encore fait leurs preuves.

**ARTICLES DE RECHERCHE TECHNIQUE:** le développement et des tests effectués sur le terrain de petits systèmes de pompages hybrides.

## 4.7 GESTION

Une gestion défectueuse, et non pas la technologie, est souvent la cause de la désintégration d'un approvisionnement en eau potable mécanisé. L'importance et la nature problématique d'une gestion convenable ont été longtemps sous-estimées.

Les tâches et les responsabilités de gestion d'un système de pompage mécanisé comporte, entre autres:

\* l'organisation et la supervision de l'opération, de l'utilisation

- correcte, de l'entretien et des réparations;
- \* de l'organisation des cotisations et de l'administration pour l'entretien, les réparations et le futur remplacement;
- \* la gestion des fonds.

Ces tâches et ces responsabilités ne sont pas forcément entre les mains d'une seule équipe de gestion. Il y a plusieurs options:

- \* la gestion par un service (semi-)gouvernemental;
- \* la gestion villageoise;
- \* la sous-traitance de la gestion du système.

Dans le premier cas le service (semi-)gouvernemental est propriétaire du système, dans le second, c'est généralement le village. La supervision de la sous-traitance peut être soit sous la responsabilité du gouvernement, soit sous celle du (comité du) village, le propriétaire respectif. Les responsabilités sont surtout divisées/déléguées dans les cas de sous-traitance. Chaque variante connaît ses propres problèmes et potentiels:

#### 1 Gestion par un service (semi-)gouvernemental:

- \* le service peut disposer de la capacité et des moyens nécessaires,

mais:

- \* la distance jusqu'au village est longue, ce qui aboutit à des problèmes de communication, à de longues durées de voyage, à des dépenses pour ces voyages, à l'implication minimale du service et donc à de longues périodes de rupture;
- \* le village dépend entièrement de la bureaucratie, les personnes responsables ne sont pas abordables, ou on ne peut pas leur demander de comptes, les équipes d'entretien peuvent facilement faire du chantage aux villageois;
- \* ceci est une solution coûteuse pour le pays: les personnes employées sont chèrement payées, les frais généraux et les frais de voyages sont élevés;
- \* dès que les moyens du service diminuent, tout une série du système s'effondre: "la peau est plus proche que la chemise";
- \* la disponibilité limitée du système finit par causer des problèmes avec le village: refus de payer, particulièrement si, en plus, le prix de l'eau augmente, cela aboutira à un mauvais entretien et le système se dégradera (davantage);
- \* si les consommateurs ne se sentent pas concernés par le système, il n'y aura pas de contrôle social en cas de mauvaise utilisation, de vol, de vandalisme, ...

La méthode officielle avec, par exemple un opérateur employé à plein-temps, payé selon les échelles officielles, aboutit souvent à un déficit du système.

#### 2 Gestion villageoise (VLOM):

- \* une participation importante du village dans leur système, il y aura un engagement et un contrôle social;

mais aussi des problèmes, dus à:

- \* un manque éventuel de capacités: pas de capacités de gestion, une gestion financière défaillante, un manque de connaissances techniques;
- \* des problèmes socio-culturels au niveau du village, menant au non-paiement, au sabotage et à des problèmes avec la nomination du comité de gestion;
- \* au bénévolat: en dehors des pressions morales il y a peu d'autres sanctions;
- \* une attitude expectative aussi bien que le manque des moyens financiers: importants en cas de calamité et de remplacement du

- système;  
 \* des influences extérieures comme la politique, l'économie et le climat.
- 3 Sous-traitance de la gestion à une entreprise commerciale:  
 \* l'entreprise agit dans un but intéressé: sa participation est basée sur l'intérêt financier (à court terme);  
 \* les responsabilités sont définies: deux parties, des accords commerciaux, pas de bénévolat, des instruments de sanction;  
 \* l'entreprise est habituée à prendre des initiatives pour améliorer l'exploitation;
- mais aussi:  
 \* sans accords et contrôles adéquats, la situation peut dégénérer: une hausse des prix, une négligence de l'entretien du système (intérêt à court terme), non-exécution des obligations (financières), abus, chantage mutuel, etc.

La tendance est de remettre plus de responsabilités aux utilisateurs: VLOM (gestion villageoise, soit entièrement effectuée par un comité, soit avec une sous-traitance commerciale de par exemple l'opération, la vente de l'eau et/ou l'entretien). Pour des petites communautés, souvent isolées, ceci est généralement la seule solution pratique, et pour le village comme pour le pays, c'est la seule abordable. Cependant, il n'est pas toujours réaliste de viser une VLOM comprenant aussi le futur remplacement du système à la charge du village. Les deux derniers types de gestion mentionnés offrent probablement le plus de possibilités aux plus bas prix.

Dans le cas d'une VLOM, la contribution du gouvernement devrait être:

- \* prendre l'initiative d'installer, réglementer, superviser, mais non pas: gérer, réparer ni équiper le système de pompage;
- \* soutenir (financièrement) temporairement le système en cas de problèmes majeurs (au niveau de la gestion, calamités);
- \* au besoin:
  - \* prendre l'initiative pour l'entretien du forage;
  - \* financer (ou recueillir des fonds) en vue de l'extension ou du futur remplacement du système.

#### L'implication des femmes et leurs rôles:

En dépit de leur contribution considérable à l'approvisionnement du village en eau, les femmes sont rarement impliquées dans la gestion du système de pompage, surtout pas lorsque la gestion est gouvernementale. Généralement, dans le cas d'une VLOM et d'une gestion sous-traitée, les femmes peuvent imposer leur participation en bloc, par exemple en se mettant en grève. Une participation directe des femmes dans le comité de gestion n'est souvent obtenue qu'avec une aide extérieure (par le gouvernement, les bailleurs de fonds, ou le projet de mise en oeuvre).

Quelquefois, en cas d'une crise de manque de confiance entre les hommes et les femmes du village, concernant la gestion des fonds, la solution est d'avoir deux caisses séparées.

A cause de la discrimination socio-culturelle, les femmes ont habituellement une compréhension insuffisante des aspects techniques du système. C'est pourquoi leur contribution au fonctionnement du système est généralement marginale: balayer le trottoir et éventuellement vendre l'eau à la borne-fontaine.

Il y a de grandes chances que se soit les femmes qui paient la note d'eau (qui provient du système) pour la consommation familiale. Ceci est spécialement le cas si l'eau est vendue au détail. Les femmes qui vendaient de l'eau dans le village, qu'elles puisaient dans les anciennes sources, vont perdre partiellement leur revenu.

#### L'exploitation du système et la gestion des fonds:

Les frais de fonctionnement du système mécanisé sont souvent beaucoup plus élevés que prévu au moment de l'installation. Les gains de la vente d'eau sont souvent décevants, par exemple parce que beaucoup de villageois continuent d'utiliser les anciennes sources pour la majeure partie de leur consommation d'eau (plus proche et moins chère, parce qu'elle a meilleur goût, par habitude). En outre, il est difficile de rendre un tel investissement réellement rentable. Pour l'horticulture, par exemple, l'eau est généralement trop coûteuse. En plus, une disponibilité réduite ou un débit limité créent plus d'handicaps.

Fixer un prix est un problème délicat, particulièrement quand il y a d'autres bonnes alternatives dans le village. Un prix trop élevé chassera les clients, cela pourra même aboutir à une augmentation générale des prix: spirale ascendante des prix. En outre, pendant la transition d'une pompe à main ou d'un puits vers "l'alternative" mécanique, il est souhaitable que les heures d'ouverture soient convenables et qu'une réduction d'introduction soit offerte pour attirer les clients.

La gestion et l'économie de fonds publics considérables provoquent souvent des problèmes. Ceci est causé par, entre autres: le manque d'expérience à gérer tant d'argent, la pression sociale qui pousse à payer pour d'autres besoins urgents et les "frais" élevés attachés à l'économie ou à l'exploitation des fonds, par exemple:

- \* en cas d'épargne sur un compte bancaire: l'inflation, les frais de voyage et de séjour, les frais d'épargne, la banqueroute de la banque;
- \* en cas de commerce/d'investissements en nature: les frais de transport, d'insecticide pour l'emménagement, les frais d'entreposage, les pertes/dépréciations/vols;
- \* en cas de prêts aux villageois: il y a de grandes chances pour que le débiteur ne puisse pas ou bien ne veuille pas rembourser.

Certains villages ont réalisés un surplus et ainsi un fonds pour les activités sociales dans le village. Dans la plupart des cas une dépendance chronique par rapport au gouvernement/bailleur a été créée: il sert de filet de sécurité en cas de calamité et de conseiller technique en cas de reconstruction et d'extension. Beaucoup de problèmes de gestion sont provoqués par un manque de sensibilisation et de formation de la population villageoise.

N.B. La gestion des anciennes sources reste une tâche importante, elles peuvent servir en cas d'une panne du système mécanique!

#### CONCLUSIONS

VLOM est très prometteuse pour les approvisionnements d'eau potable durables dans les petits villages, surtout une fois que les femmes y jouent un plus grand rôle. Pour atteindre ce but, un soutien venant de l'extérieur de village est nécessaire, surtout des projets de mise en oeuvre (sensibili-

sation et formation).

L'extension et le futur remplacement du système aux frais du village ont peu de chance de succès à cause des frais relativement élevés et des moyens limités du village. Un soutien technique et financier peut améliorer la situation.

#### 4.8 CONCLUSIONS + RÉSUMÉ

Au cours de la dernière décennie la technologie des différents systèmes de pompage d'eau mécanisés pour de grandes profondeurs s'est considérablement améliorée. Il est difficile de développer davantage ces systèmes au niveau technique, sauf pour les systèmes à traction animale et les petits systèmes hybrides dont le développement est retardé.

Les problèmes avec la gestion du système, avec l'approvisionnement en pièces détachées et avec le financement sont actuellement les principales obstructions pour une meilleure disponibilité. VLOM, avec ou sans sous-traitance commerciale de la gestion (quotidienne), offre les meilleures perspectives pour la gestion de ces systèmes.

Pour le moment, le futur remplacement à l'initiative et à la charge des utilisateurs restera une illusion dans la plupart des cas, sauf pour certaines pompes à main et les systèmes traditionnels à traction animale. La multiplication des systèmes ne sera réalisée qu'avec un soutien financier venant de l'extérieur car l'auto-dissémination n'est pas probable.

Les principaux facteurs qui jouent un rôle dans le choix d'un système sont: la disponibilité du soleil, du vent et du gasoil, la profondeur hydraulique totale et le débit, les frais initiaux et les frais de fonctionnement, l'expérience avec et l'image du système concerné. La pression politique nationale et bilatérale jouent aussi un rôle.

L'expérience indique que pour:

- \* les systèmes ayant un "débit journalier multiplié par la profondeur" de plus de 2000 m<sup>4</sup>: il faut utiliser le diesel;
- \* une vitesse de vent moyenne de moins de 3 m/s sur le mois le moins venteux: un système à éolienne n'est pas approprié;
- \* une radiation solaire quotidienne moyenne minimale de moins de 3 kWh/m<sup>2</sup>/jour durant le mois le plus sombre: un système PV n'est pas approprié.

Aucun système de pompage mécanique n'excelle à plusieurs des critères mentionnés ci-dessus. Il est donc impossible de faire une division ou une simple sélection basée sur, par exemple seulement la profondeur. Pour tous ces systèmes, il existe des versions pour des profondeurs allant jusqu'à 100 m (en principe). Pour les petits débits et les grandes profondeurs les pompes à piston peuvent être utilisées. Pour les grands débits seules les pompes centrifuges à étage (motopompes électriques immergées) sont applicables.

Des réductions limitées des frais initiaux et de fonctionnement ne peuvent être attendues que pour les systèmes PV. Progressivement, ceux-ci monopoliseront la majeure partie du marché des systèmes de pompes mécanisés.

Les principaux facteurs de sélection et de jugement des systèmes ont été résumés dans le tableau 4.2.

ASPECTS	POMPE à MAIN	POMPES SOLAIRES	POMPE à EOLIENNE	POMPES à DIESEL	POMPES à TRACTION ANIMALE	SYSTEMES HYBRIDES	
						Pompe à main + ...	Solaire/vent+diesel
Frais initiaux	limités	très élevés	élevés	moyens - limités	moyens	moyens	élevés
Frais d'opération							
- opération	limités	zéro	zéro	moyens	élevés	limités	limités - moyens
- carburant	zéro	zéro	zéro	élevés	zéro	zéro	moyens
- entretien	limités	limités - moyens	limités - moyens	élevés	moyens	moyens	élevés
Installation:							
- force motrice	-	compliquée	compliquée	moyenne	facile, quotidien.	moyen - compliquée	compliquée
- unité de pompage	facile	moyenne - facile	facile	moyenne	moyenne	facile	moyenne
Opération	continue	sans surveillance	sans surveillance	intermittente	continue		intermittente
Débit maximal	très limité	moyen	moyen	illimité	limité	limité	élevé
Stockage d'eau	inutile	essentiel	essentiel	essentiel	besoin limité	besoin limité	essentiel
Profondeurs hydraul.	< 100 m	< 100 m	> 100 m	> 100 m	> 100 m	< 100 m	> 100 m
Débit journ * profond.	< 400 m4	< 1000 m4	< 1000 m4	illimité	< 1000 m4	< 800 m4	< 2000 m4
Durée estimée:							
- force motrice	-	très longtemps	longtemps	brève	brève	moyenne	longtemps et brève
- unité de pompage	brève - moyenne	longtemps	moyen - longtemps	moyen - longtemps	brève - moyenne	brève	moyen - longtemps
Réparations	faciles	compliquées	moyennes	compliquées	moyennes	moyen - compliqué	compliquées
Sensibilité de:							
- manque d'entretien	limitée	limitée	élevée	élevée	moyenne	moyenne	élevée
- mauvaise réparation	limitée	élevée	élevée	élevée	moyenne	moyenne	élevée
- calamités	limitée	élevée	élevée	limitée	moyenne	moyenne	élevée
- vol	limitée	élevée	limitée	moyenne	moyenne	élevée	élevée - moyenne
Durabilité	élevée	médiocre	limitée	médiocre	élevée	médiocre	limitée
Limitations	débit limité	très couteux	vent, entretien	fr.de fonct,gasoil	fr.de fonct,image	couteux	couteux
Potentiel	bon	médiocre	limité	médiocre	limité	médiocre	limité
Perspectives de VLOM	bonnes	médiocres	limitées	médiocres	bonnes	médiocres	limitées
Pollution	aucune	aucune	aucune	oui	aucune	?	médiocre
Remplacement par vill.	réaliste	illusion	illusion	imaginable	réaliste	imaginable	illusion
Participatn des femmes:							
- opération	oui	oui	non	non	non	oui	non
- maintenance	oui	oui	non	non	non	oui	non
- réparations	exceptionnelles	non	non	non	non	non	non
Disponibilité	raisonnable	très bien	raisonnable	raisonnable	bien	raisonnable	bien
Potentiel de réduction	-	soleil -> diesel	vent -> main	aucun	animale -> main	seulement à main	abandonner une fm
Image du système	neutre	moderne	douteuse/moderne	moderne	douteuse	moderne	moderne

## 5 CONCLUSIONS FINALES

Le but de l'étude de bureau était de réaliser un inventaire des problèmes concernant les systèmes de pompage pour l'approvisionnement en eau potable pour des communautés rurales dans les pays en voie de développement: des villages ayant de 300 à 2000 habitants où l'eau doit être pompée à partir de niveaux phréatiques assez profonds (20 à 100 mètres de profondeur). Des pompes à main ont été comparées avec des systèmes "autonomes" ayant une "force motrice" basée sur l'énergie solaire ou éolienne, diesel ou animale, ou une combinaison de celles-ci ("hybrides").

- 1 L'étude n'apportait que quelques nouvelles données (de terrain). Une évaluation fiable et une comparaison justifiée des différents systèmes ont donc été impossibles à réaliser, en particulier en ce qui concerne la réelle disponibilité des systèmes et les frais. Les résultats sont surtout de valeur qualitative et donc l'objectif n'a-t-il été que partiellement atteint.
- 2 La fiabilité des pompes s'est considérablement accrue au cours de la dernière décennie. Cependant, à des grandes profondeurs d'installation, la fiabilité diminue fortement, cela est surtout dû à la fatigue. De plus, il n'y a que seulement quelques types de pompes à main ayant un tuyau de refoulement en plastique qui sont adéquates pour les très grandes profondeurs, à cause des débits fortement réduits. Beaucoup de fabricants ne garantissent donc leur pompe que pour des profondeurs allant jusqu'à environ 50 mètres.
- 3 La disponibilité des pompes à main modernes est actuellement surtout limitée par:
  - \* la gestion inadéquate et le contrôle de qualité défectueux lors de la fabrication (locale) des pompes;
  - \* une préparation et mauvaise exécution de la mise en oeuvre;
  - \* les villageois, non-préparés à gérer et à entretenir la pompe, à cause d'un manque de formation et de sensibilisation convenables;
  - \* le manque d'un réseau de distribution de pièces détachées et le manque de mécaniciens;
  - \* les problèmes avec le forage;
  - \* le manque de moyens pour remplacer la pompe à main (à temps).Il y a des solutions pour la plupart de ces problèmes. Une exécution sérieuse des différentes tâches satisfera généralement au besoin.
- 4 La technologie des différents systèmes de pompage pour les grandes profondeurs s'est considérablement améliorée. Il sera difficile de développer davantage ces systèmes au niveau technique, sauf pour les systèmes à traction animale et les petits hybrides car leur développement est retardé.  
Des problèmes avec la gestion du système, avec l'approvisionnement en pièces détachées et avec le financement, sont actuellement les principales obstructions pour une meilleure disponibilité.
- 5 VLQM, avec/sans une sous-traitance commerciale de la gestion (quotidienne), offre les meilleures perspectives pour la gestion de ces systèmes, surtout dès que les femmes peuvent jouer un plus grand rôle. Pour atteindre cette situation, un soutien de l'extérieur du village est nécessaire, surtout des projets de dissémination (sensibilisation



et formation).

- 6 L'extension et le futur remplacement des systèmes de pompage à la dépense du village a pour le moment peu de chance de succès à cause des frais relativement élevés et les moyens limités du village, sauf pour certains systèmes de pompe à main et à traction animale. La multiplication des systèmes ne sera réalisée qu'avec un soutien financier venant de l'extérieur car l'auto-dissémination n'est pas probable.
- 7 Les principaux facteurs qui jouent un rôle en choisissant un système, sont: la disponibilité locale du soleil, du vent et du gasoil, la profondeur hydraulique totale et le débit, les frais initiaux et de fonctionnement, l'expérience avec et l'image du système concerné. La pression politique nationale et bilatérale jouent aussi un rôle.
- 8 L'expérience avec des systèmes de pompage mécaniques indique que pour:
  - \* les systèmes ayant un "débit journalier multiplié par la profondeur" de plus de 2000 m<sup>4</sup>: il faut utiliser un système diesel;
  - \* une vitesse de vent moyenne de moins de 3 m/s sur le mois le moins venteux: un système à éolienne n'est pas approprié;
  - \* une radiation solaire quotidienne moyenne minimale de moins de 3 kWh/m<sup>2</sup>/jour durant le mois le plus sombre: un système PV n'est pas approprié.
- 9 Aucun système de pompage mécanique n'excelle à plusieurs des critères mentionnés ci-dessus. Il est donc impossible de faire une division ou une sélection simplement basée sur, par exemple seulement la profondeur. De tous les systèmes considérés, il y a des versions pour des profondeurs allant jusqu'à 100 m (en principe). Pour les petits débits et les grandes profondeurs les pompes à piston peuvent être appliquées. Pour les grands débits seules les pompes centrifuges à étage (motopompes immergées électriques) sont applicables.
- 10 Dans l'avenir des réductions limitées des coûts initiaux et de fonctionnement ne peuvent être attendues que pour les systèmes PV. Ceux-ci monopoliseront progressivement une majeure partie du marché des systèmes de pompage mécanisés.
- 11 Des problèmes exigeant des recherches techniques (éventuellement avec un soutien de DGIS):
  - \* le développement d'un moyen simple pour examiner les forages;
  - \* comment réduire radicalement le prix de revient des pompes à main;
  - \* le développement de joints durables pour les tuyaux de refoulement en PVC<sup>21</sup>;
  - \* le développement de petits systèmes hybrides.La plupart des autres problèmes techniques sont traités par les fabricants de divers systèmes et des instituts de recherche indépendants.
- 12 Un article de recherche non-technique important: une évaluation des expériences récentes avec la gestion villageoise de ces systèmes.

---

<sup>21</sup> CRL est en train de l'examiner.

## RÉFÉRENCES

- 1 Arlosoroff, S., Tschannerl, G., Grey, D., Journey, W., Karp, A., Langenegger, O. and Roche, R. (1987)  
**Community Water Supply: The Handpump Option.**  
The World Bank, Washington, USA. ISBN 0-8213-0850-5
- 2 Besselink, J., Grupa, J., Smulders, P., (1990)  
**Behaviour of deepwell handpumps with PVC rising mains**  
InterAction Design, Arnhem and Wind Energy Group, Laboratory of Fluid Dynamics and Heat Transfer, Faculty of Physics, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands ISBN 90-6618-544-9
- 3 Bruno, M. (1988)  
**Maintenance des pompes dans le Departement de Tillabery**  
Projet Maintenance de pompes dans le Liptako, Ministère des Ressources Animales et de l'Hydraulique, Niger
- 4 Diluca, C.  
**Les pompes à main en hydraulique villageoise**  
Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), Ouagadougou, Burkina Faso
- 5 **Thème 3: Les dispositifs d'exhaure**  
Programme d'Hydraulique Villageoise du Conseil de l'Entente, (1987), Abidjan et Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH)
- 6 **Les énergies de pompage**  
Dossier Technologie et Développement, Institut Technologique Dello, GRET
- 7 Anthony Derrick, Catherine Francis, Varis Bokalders (1988, 1991)  
**Solar photovoltaic products: a guide for development workers**  
I.T.Power Ltd, Beijer Institute, Swedish Missionary Council  
Intermediate Technology Publications Ltd, London, UK ISBN 1-85339-002-X
- 8 E.H. Hofkes, J.T. Visscher (1986)  
**Renewable energy sources for rural water supply**  
Technical Paper 23, International reference Centre for Community Water Supply and Sanitation, The Hague, The Netherlands ISBN 90-6687-007-9
- 9 Peter Fraenkel (1986)  
**Water-pumping devices**  
Irrigation and Drainage papers, FAO ISBN 0 946688 85 0
- 10 Joop van Meel, Paul Smulders (1989)  
**Wind pumping handbook**  
Consultancy Services Wind Energy Developing Countries (CWD), The Netherlands and The World Bank
- 11 Jonathan Hodgkin, Richard McGowan and Ron D. White (1989)  
**Small-scale water pumping in Botswana Volume I: Comparisons**  
WASH Field Report No. 328

- 12 Erich Baumann (1989)  
AFRIDEV deep well handpump specification  
SKAT Publication
- 13 Meridian Corporation, U.S.A. and IT Power Ltd. United Kingdom (1990)  
Learning from Success, Photovoltaic-Powered Water Pumping in Mali  
U.S. Committee on Renewable Energy Commerce and Trade, U.S. Department  
of Energy

**ANALYSE FINANCIERE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE  
DES SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE**

Une étude de bureau traitant des aspects financiers et socio-économiques  
des pompes à main pour puits profonds et des petits systèmes alternatifs  
d'approvisionnement en eau potable.

Ferry van Wilgenburg

Août 1991

Économie de l'Implantation Humaine

INSTITUT ÉCONOMIQUE NÉERLANDAIS

## SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION . . . . .	1
2.	ASPECTS FINANCIERS . . . . .	3
2.1.	Remarques générales . . . . .	3
2.2.	Pompes à main (pour puits profonds) . . . . .	4
2.3.	Pompes diesel . . . . .	6
2.4.	Énergie solaire: photovoltaïque . . . . .	8
2.4.1.	Caractéristiques générales . . . . .	8
2.4.2.	Frais périodiques et frais de capital . . . . .	8
2.5.	Énergie éolienne . . . . .	9
2.5.1.	Remarques générales . . . . .	9
2.5.2.	Frais périodiques et frais de capital . . . . .	10
2.6.	Traction animale . . . . .	18
3.	ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES . . . . .	12
4.	ASPECTS D'ORGANISATION ET DE RÉCUPÉRATION DES FRAIS . . . . .	14
4.1.	Participation communautaire . . . . .	14
4.2.	Aspects institutionnels . . . . .	14
4.3.	Récupération des frais . . . . .	15
4.3.1.	Établissement des prix . . . . .	16
4.3.2.	Financement . . . . .	16
4.4.	Systèmes comparés . . . . .	17
5.	REMARQUES CONCLUSIVES . . . . .	20
	RÉFÉRENCES . . . . .	21
	APPENDICE I: Glossaire . . . . .	23
	APPENDICE II: UN EXEMPLE D'UNE COMPARAISON DE COÛT . . . . .	24

## 1. INTRODUCTION

En plus d'une analyse technique des systèmes d'approvisionnement en eau potable dans les pays en voie de développement, une analyse financière et socio-économique est nécessaire, afin de pouvoir considérer les impacts pour toutes les parties concernées (par exemple: les utilisateurs, les autorités locales/ nationales). L'appréciation des projets d'approvisionnement en eau (avant et après l'exécution) est accomplie au moyen d'une analyse de la rentabilité des coûts. L'analyse décrite dans cette section comprend une partie financière et une partie socio-économique.

L'approche financière est une analyse d'un point de vue personnel (c'est-à-dire du promoteur du projet). L'analyse financière typique établit un rapport entre les recettes et sorties de caisse, pour voir si un projet peut satisfaire à ses exigences annuelles en espèces (= l'analyse de liquidité), et pour voir si les différentes sources de finance impliquées rapporteront un rendement financier acceptable (= l'analyse de rentabilité). En outre, l'analyse financière prend en considération des aspects tels que les revenus et les dépenses, les frais pour les consommateurs et la récupération des frais.

L'analyse socio-économique se place du point de vue de la nation dans sa totalité. Elle tient compte du fait que les revenus et les dépenses (décrits dans l'analyse financière) sont souvent une mesure incomplète des bénéfices du projet et des dépenses de la société. Elle diffère de l'analyse financière en ce qui concerne les types d'effets pris en compte (des effets externes, des effets de liaison, etc.) et de la détermination de leur valeur (établissement des prix, en tenant compte du taux d'escompte).

Les principaux sujets de ce rapport sont:

- a) la comparaison des pompes à main pour puits profond et des petits systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau (diesel, énergie solaire, énergie éolienne et traction animale) par rapport aux aspects financiers et économiques;
- b) l'évaluation des impacts organisationnels, financiers et socio-économiques de ces systèmes d'approvisionnement en eau sur les parties concernées tels que les consommateurs de l'eau, les comités d'eau et les autorités.

Le rapport se concentre sur l'approvisionnement en eau à partir des nappes phréatiques à de grandes profondeurs.

Les aspects financiers des pompes à main pour puits profond et leur alternatives sont discutées au chapitre 2. Les frais et bénéfices socio-économiques éventuels des systèmes d'approvisionnement en eau sont passés en revue au chapitre 3. Les aspects d'organisation et de récupération des frais sont accentués au chapitre 4. Les résultats des chapitres 2 à 4 sont résumés au chapitre 5, dans lequel quelques remarques conclusives sont faites sur certains aspects des pompes à main pour puits profond et des petits systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau. Les termes techno-économiques employés dans ce rapport seront expliqués dans l'appendice I. Dans l'appendice II, un exemple du résultat d'une analyse de rentabilité des coûts et d'une analyse de sensibilité sont décrits.

Etant donné a) la grande portée des systèmes d'approvisionnement en eau traités, en tenant compte de leur emplacement et de leur caractère spécifique

selon le projet, et b) la disponibilité limitée des données sur le pompage à partir de puits profonds et de leur caractère contradictoire, les chiffres et conclusions présentés dans ce rapport ne devraient être considérés qu'à titre indicatif.

## 2. ASPECTS FINANCIERS

### 2.1. Remarques générales

L'analyse financière est utilisée afin de pouvoir comparer différents systèmes. L'analyse financière des frais et bénéfices montre quel projet est justifié au point de vue financier, en comparant les entrées et les sorties en cash flow actualisé. Par contre, l'analyse de la rentabilité des coûts financiers est appliquée pour sélectionner l'option la moins chère en considérant seulement les frais des différents systèmes. L'analyse de la rentabilité des coûts doit être appliquée aux sites où un certain niveau de production est nécessaire (par ex. à cause de la consommation per capita). En calculant les frais actualisés par m<sup>3</sup> d'eau livrée, il est possible de classer les systèmes.

Afin de comparer les frais par m<sup>3</sup> des différents systèmes d'approvisionnement en eau, on doit distinguer entre les frais de capital (l'investissement initial) et les frais de fonctionnement et d'entretien (F&E), ou les frais périodiques. Le tableau 2.1 montre une vue générale des composants généraux des deux.

Tableau 2.1: Frais de capital et de F&E d'un système de pompage d'eau

Frais de capital:	le terrain la préparation du site les fondations l'équipement de pompage le réservoir l'équipement énergétique la force motrice (par ex. un moteur diesel, un moteur électrique) la tuyauterie et les accessoires l'installation et le montage (par ex. le transport, le main-d'oeuvre)
Frais de F&E:	les denrées consommables (par ex. du carburant, des lubrifiants, du fourrage) les salaires les pièces détachées et de rechange

Source: Hofkes, E.H. e.a. (1986), p.31

Pour établir une approche de durée de vie, les frais de fonctionnement et d'entretien devront être actualisés sur la durée de vie économique du système, afin de les rendre comparables aux frais de capital; puisque les frais périodiques apparaissent dans l'avenir, on ne peut pas les comparer directement aux frais de capital. En actualisant les frais périodiques, grâce au taux d'escompte<sup>1</sup>, leur valeur actuelle est calculée. De cette façon, ils sont comparables aux frais de capital. En combinant les frais totaux et de F&E escomptés et le débit du système, on peut calculer les frais par m<sup>3</sup>.

En traitant les aspects financiers des pompes à main (pour puits profond) et de leurs alternatives à petite échelle, nous supposons que les frais de forage (à la main ou à la foreuse) seront plus ou moins les mêmes pour les

<sup>1</sup> Le taux d'intérêt réel (c'est-à-dire ajusté à la dépréciation monétaire) courant et spécifique du projet peut être utilisé comme le taux d'escompte. Généralement, la Banque Mondiale considère des taux d'escompte entre 8 et 15% pour les pays en voie de développement.



pompes à main et pour leurs alternatives. Ces frais ne sont donc pas pris en considération dans ce rapport.

Tableau 2.2: La comparaison des aspects d'investissement initial et de F&E des différents systèmes d'approvisionnement en eau

Source d'énergie	Type de pompe	Fréquence <sup>2</sup> des besoins d'entretien	Habilités techniques <sup>3</sup>	Fréquence de soutien technique exigée <sup>4</sup>	Degré de soutien technique exigé <sup>5</sup>	Frais de capital	Frais de F&E
énergie humaine	pompe à main de puits profond <sup>6</sup>	moyenne/ élevée	moyennes	moyenne/ élevée	moyen/ élevé	moyens	élevés
gasoil	moteur diesel	moyenne	moyennes	moyenne	élevé	moyens	élevés
énergie solaire	photovoltaïque solaire	limitée	élevées	limitée	élevé	élevés	limités/ moyens
énergie éolienne	fabriquée commercialement	limitée	moyennes	limitée	élevé	élevés	limités
	fabriquée au niveau du village	élevée	limités	limitée	limité	limités	moyens
énergie animale	traction animale	élevée	limitées	moyenne	moyen	limités/ moyens	moyens

Source: Hofkes, E.H. (1986)

Dans le tableau 2.2. les différences entre les aspects d'investissement initial et de F&E des pompes à main (pour puits profond) et des petits systèmes d'approvisionnement en eau alternatifs sont présentées. Ce tableau peut être vu comme un résumé approximatif des paragraphes 2.2 - 2.6.

## 2.2 Pompes à main (pour puits profonds)

Les caractéristiques communes des pompes à main sont qu'elles sont faciles à installer et à faire fonctionner et qu'elles sont bon marché. Il y a quelques décennies les pompes à main employées dans les pays en voie de développement étaient des copies de celles utilisées dans le monde occidental. A cause de problèmes comme la fatigue (la corrosion, l'usage intensif), les frais de

<sup>2</sup> Limité, une fois par mois; moyen, une fois par semaine; élevé, journellement

<sup>3</sup> Limité, des villageois formés localement; moyen, des opérateurs formés (mécaniciens, menuisiers, forgerons locaux); élevé, des techniciens qualifiés

<sup>4</sup> Limité, une fois par an; moyen, une fois chaque 3-4 mois; élevé, une fois par mois

<sup>5</sup> Limité, mécanicien local; moyen, mécanicien formé spécialement; élevé, technicien qualifié

<sup>6</sup> Donné l'état actuel de technologie

capital et les frais périodiques élevés, des initiatives ont été prises afin de développer des pompes à main appropriées: des pompes durables et peu chères, exigeant peu d'entretien. Plusieurs pays (par ex. l'Inde, le Bangladesh) ont développés leurs propres pompes à main (India Mark, Tara) afin d'offrir une alternative à un prix modeste aux pompes à main conçues dans les pays occidentaux. Comparées aux pompes "occidentales", cette production locale a considérablement réduit les frais de capital pour les pompes à main - à cause du design, des salaires et des prix peu élevés des ressources locales -, mais l'entretien est toujours une question difficile. En impliquant les utilisateurs (par ex. au niveau communautaire ou villageois) dans la planification, la construction et l'opération réelles, les frais d'entretien élevés, souvent dus à la négligence et l'inexpérience, pourraient être réduits.

Les problèmes surgissent quand l'eau doit être pompée à partir des grandes profondeurs. Ceci peut être nécessaire à cause des circonstances géographiques/naturelles (des déserts), ou à cause d'une baisse de niveau de la nappe phréatique (une longue période de sécheresse, une consommation d'eau excessive). L'approvisionnement en eau à partir de puits profonds sera plus coûteux que celui de puits peu profonds. Il y a plusieurs raisons pour cette augmentation de frais:

A) Le débit ( $m^3$ /heure) qu'une personne moyenne peut tirer d'un puits est indiqué dans le tableau 2.3. Le débit diminue avec la profondeur croissante à une puissance d'alimentation égale. Le débit d'exhaure d'eau en litres par minute ( $Q_{pm}$ ) est influencée par la puissance d'alimentation  $W^p$  (50 Watt), par le rendement mécanique de la pompe  $E$  (50%) et par la profondeur  $H$ :  
 $(Q_{pm} = 6W^p E/H)$ .

Tableau 2.3: Le débit ( $m^3$ /heure) tiré d'un puits par une personne moyenne

Niveau dynamique d'eau (m)	5	10	20	30	40	50
Débit ( $m^3$ /heure)	1.8	0.9	0.45	0.3	0.22	0.18

Source: WRAP (1989)

Parce que l'énergie humaine disponible pour actionner la pompe est limitée, le temps qu'une personne doit dépenser pour pomper de l'eau augmente avec la profondeur, cela est démontré dans le tableau 2.4.:

Tableau 2.4: Le temps nécessaire pour pomper de l'eau

Profondeur (m)	Temps nécessaire(heures) pour pomper			
	2m <sup>3</sup>	3m <sup>3</sup>	4m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>
5	0.7	1.1	1.5	1.8
10	1.5	2.2	2.9	3.7
20	2.9	4.5	5.9	7.4
30	4.5	6.7	8.9	
40	5.9	8.6		
50	7.4			

Puissance générée par les utilisateurs de la pompe: 50 W (en moyenne)

Rendement de pompage: 50%

Nombre d'heures d'opération effectives par jour: 8

Source: Hofkes, E.H. (1986)

En combinant les données présentées dans les tableaux 2.3 et 2.4, il devient évident que la contribution humaine (l'énergie, le temps) doit considérablement augmenter pour obtenir une certaine quantité d'eau à une profondeur croissante. Cela signifie, particulièrement dans les plus grandes communautés, que le nombre de pompes à main devra augmenter afin que toute la communauté puisse avoir de l'eau. Il est évident que ceci influence aussi bien les frais de capital que les frais périodiques pour l'approvisionnement en eau.

B) Le pompage d'eau à de grandes profondeurs avec une pompe à main peut influencer négativement le temps de fonctionnement effectif de la pompe. La pompe est extrêmement sensible aux pannes à cause de l'usure accrue des pièces comme les paliers, la tringlerie et le tuyau de refoulement. Ceci aboutit à des frais périodiques élevés, puisque de nombreuses réparations devront être effectuées et, éventuellement, à des frais de capital élevés en cas d'un renouvellement prématuré de la pompe. Des pompes à main très solides peuvent offrir une solution pour les profondeurs allant jusqu'à 40 mètres (par ex. l'India Mark II, développée dans les années 1980), mais à de plus grandes profondeurs, les problèmes restent les mêmes.

A) ainsi que B) indiquent que l'approvisionnement en eau à partir d'un puits profond à l'aide d'une pompe à main peut être coûteuse, soit parce que plusieurs pompes 'normales' doivent être installées afin d'obtenir assez d'eau (avec toujours le problème de l'usure accrue des pièces), soit parce qu'une pompe mécanisée, capable de pomper à partir d'une grande profondeur, doit être installée.

### 2.3. Pompes diesel

L'investissement initial pour une pompe diesel est généralement plus élevé que pour une pompe à main. Pour le pompage à partir des grandes profondeurs, un moteur diesel plus une pompe actionnée mécaniquement ou bien un groupe électrogène diesel plus une pompe immergée électrique (par ex. une pompe à

<sup>7</sup> Voir aussi: Besselink, J. e.a. (1990)

turbine à étages) est nécessaire. Le prix de la pompe diesel dépend de la profondeur et la demande en eau journalière des utilisateurs. Étant donné la large gamme des pompes diesel, importées ou fabriquées localement, une indication des frais de capital n'est pas donnée.

Les frais périodiques comprennent les frais de main d'oeuvre pour un opérateur, les frais de carburant, de lubrifiants et des denrées de consommation. La consommation de carburant et de lubrifiant d'un moteur diesel constituent une partie significative de ses frais de fonctionnement. Pour un moteur, une pompe et des conditions de site donnés, la consommation de carburant par mètre cube d'eau pompée dépendra de la charge. A une charge partielle (= une mesure de la puissance demandée du moteur, proportionnelle à la puissance maximale estimée qu'il est capable de produire), le moteur consommera plus de carburant par unité d'eau pompée. Une alternative est d'utiliser un moteur plus petit (3 kW minimal) à une charge partielle plus élevée. Dans ce cas, de l'argent serait économisé sur les frais de capital pour l'équipement, mais l'usure augmenterait probablement ce qui aboutirait à des frais de fonctionnement, d'entretien et de renouvellement (éventuel) du moteur plus élevés.

Les frais annuels d'énergie pour une pompe diesel sont en fonction de la profondeur hydraulique, de la demande d'eau de la communauté, du rendement du moteur et de la pompe, et des frais de gasoil.

Les estimations des frais de service et d'entretien, le carburant et la main d'oeuvre non compris, varient probablement de \$ 0.15 à \$ 0.25 par mètre cube d'eau fournie. Ce chiffre peut être plus élevé ou plus bas selon l'habileté de l'opérateur, de la qualité de l'équipement et d'autres facteurs.

Ces frais constituent entre 25 et 75% des frais initiaux du moteur ou 5 à 15% des frais de capital du système installé (qui comprend non seulement le moteur, mais aussi la pompe, le trottoir, la transmission et d'autres accessoires).

La durée de vie normale d'un moteur est de 2 à 3 ans pour les moteurs de qualité inférieure, utilisés intensivement et/ou mal entretenus, jusqu'à 20 ans ou plus pour les systèmes d'une qualité supérieure, étant raisonnablement bien entretenus et révisés à intervalles réguliers. La durée (heures de service) varie de moins de 5.000 à plus de 50.000 heures. 20.000 heures environ est une approximation raisonnable pour la planification et l'estimation des frais.

Dans beaucoup de pays en voie de développement l'approvisionnement en gasoil peut être retardé; il est donc judicieux d'acheter un réservoir supplémentaire pour stocker une réserve de gasoil. En outre, il est conseillé d'inclure dans le plan un réservoir de stockage d'eau, ayant une capacité suffisante pour 1 - 2 jours, afin d'avoir une réserve en cas de réparations du moteur ou de la pompe.

Le tableau 2.5. présente une indication des frais de capital par m<sup>3</sup> de capacité des réservoirs de stockage (1986 US \$, les prix peuvent diverger considérablement par pays). Une indication des frais de capital du réservoir peut être calculée en fonction de la demande d'eau quotidienne (m<sup>3</sup>) et du nombre de jours de stockage nécessaires.

Tableau 2.5: Indication de coût des types de réservoirs de stockage

Type de réservoir de stockage	Coût par m <sup>3</sup> de capacité (en \$ US)
Banquette	5 - 10
Sol compacté avec revêtement en ciment	8 - 20
Briquetage avec revêtement en ciment	12 - 25
Ferro-ciment	15 - 30
Béton	20 - 30
Acier	60 - 80

Source: Hofkes, E.H. (1986)

## 2.4. Énergie solaire: photovoltaïque

### 2.4.1. Caractéristiques générales

L'énergie de la radiation solaire, captée par des systèmes de pompage photovoltaïques, est transformée en électricité par des cellules solaires interconnectées en modules, qui sont disposés de façon à former un déploiement. Si la puissance doit être augmentée (par ex. à cause de la profondeur), le panneau solaire peut facilement être étendu en ajoutant d'autres modules de photopiles. L'application des pompes photovoltaïques peut être limitée par la radiation solaire moyenne annuelle et par un facteur de clarté; les zones entre les tropiques du Cancer et du Capricorne sont les mieux appropriées.

La recherche et le développement continuel des pompes solaires ont permis de réduire leur prix et leur entretien. Ceci rend l'énergie solaire plus apte à être utilisée dans les pays en voie de développement. Cependant, il faut toujours un technicien pour les réparations. Il y a la possibilité de fabriquer localement ces pompes solaires, les réparations pourraient éventuellement être moins chères, puisque des techniciens locaux seraient disponibles.

### 2.4.2. Frais périodiques et frais de capital

Le tableau 2.6. donne une indication des frais de capital, englobant les panneaux photovoltaïques et l'unité de motopompe, pour les systèmes de pompage de différentes tailles.

Tableau 2.6: Indication des frais de capital pour les pompes photovoltaïques

	Grandeur du système de pompage, mesure de déploiement (W <sup>c</sup> : Watt crête)	Échelle des frais (\$ US par W <sup>c</sup> )
Petit	moins de 500	20 - 25
Moyen	500 - 3000	15 - 20
Grand	plus de 3000	10 - 15

Source: Hofkes, E.H. (1986)

Les frais de pompes solaires dépendent premièrement de deux composants: des dimensions du panneau et de l'unité de pompage. Le prix du panneau solaire forme généralement 60 à 85 % des frais du système total. Les unités de pompage (c'est-à-dire une pompe et un moteur) conçues pour être utilisées en combinaison avec les systèmes PV varient en prix de 1000 à 3000 \$ US. Les pompes immergées CA sont généralement les plus coûteuses, car en plus de la pompe et du moteur, il faut un onduleur afin de transformer la puissance CD en CA. Les prix plus élevés de ces unités sont souvent largement compensés par leur plus grande fiabilité et, par conséquent, par des frais périodiques plus bas.

Le système photovoltaïque, en particulier le panneau, devrait être le plus petit possible, afin d'être rentable. Le prix du panneau est corrélé à la capacité de la puissance crête. Puisque ces frais forment une grande partie des frais de capital totaux, la capacité de la puissance crête devrait être choisie en fonction des facteurs de demande.

Les systèmes photovoltaïques exigent peu d'entretien; un nettoyage régulier de la surface des panneaux et la vérification du panneau de contrôles électriques par les membres de la communauté ou par un responsable modeste-ment rémunéré (frais de salaire!).

Puisque la disponibilité de l'énergie solaire est sensible aux variations (par ex. à cause des nuages), le stockage de l'eau est nécessaire afin de garantir un approvisionnement continu. En fonction de ces variations une capacité de stockage de 2 à 4 jours pourrait être nécessaire (pour les frais de capital: voir tableau 2.5.). On peut trouver une alternative avec les pompes à énergie solaire ayant et pouvant être employées comme des pompes à main. Le choix entre le stockage et une pompe ayant un usage optionnel comme pompe à main dépend des facteurs suivants: des frais de capital de chaque alternative et de l'importance actuelle et future de la demande en eau.

Les expériences pratiques montrent que la durée de vie réelle d'un système solaire peut être considérablement écourtée par la corrosion des circuits électriques, un fonctionnement défectueux de l'onduleur CD-CA ou la réduction de la durée de vie de la pompe (par ex. à cause du sable dans l'eau).

## 2.5. Énergie éolienne

### 2.5.1. Remarques générales

L'usage de l'énergie éolienne est connu depuis des siècles (par ex. les moulins à vent hollandais). L'énergie éolienne est utilisée dans de nombreux pays pour l'irrigation et le drainage. L'usage de l'énergie éolienne pour l'approvisionnement en eau augmente, puisque c'est une source d'énergie renouvelable et librement disponible. Dans une étude de la Banque Mondiale<sup>9</sup>, 20 pays en voie de développement ont été identifiés où 40% des terres avaient des vitesses du vent moyennes annuelles de plus de 3.5 m/s. Ceci est une

<sup>8</sup> CD: Courant direct - courant électrique dont la direction est constamment la même.  
CA: Courant alternatif - courant électrique dont la direction est renversée à intervalles fréquents.

<sup>9</sup> Blake, S. (1978)

indication de la vitesse du vent à laquelle les pompes éoliennes peuvent être rentables (voir aussi l'appendice II).

Puisque le vent ne souffle pas en permanence, le système doit être combiné soit avec une pompe à main (ou diesel) soit avec un réservoir de stockage - ayant une capacité de 5 à 7 jours.

### 2.5.2. Frais périodiques et frais de capital

Les pompes éoliennes peuvent grossièrement être divisées en deux sortes; les pompes éoliennes de haute technologie importées et les pompes éoliennes fabriquées localement. Les frais de capital des pompes éoliennes importées varient de \$300 - \$750/m<sup>2</sup> (m<sup>2</sup> est une mesure de la zone balayée par le rotor), les pompes éoliennes fabriquées localement varient de \$100 - \$250/m<sup>2</sup>. Le réservoir de stockage doit être installé près de la pompe éolienne.

Les frais périodiques des pompes éoliennes importées seront généralement plus bas que de ceux des pompes fabriquées localement. Les frais périodiques comprennent généralement le salaire d'un responsable local (s'il y en a un), et les frais de fonctionnement et d'entretien pour le système de pompage éolienne (la tour, les rotors, la pompe, la tuyauterie etc.) et du réservoir de stockage. Les réparations - qui ne se produisent pas régulièrement si l'installation est entretenue convenablement - devront être entreprises par des techniciens à un prix relativement élevé. Les frais périodiques des pompes éoliennes de haute technologie importées comprennent entre 3% et 6% des frais de capital de la pompe éolienne; les frais périodiques du réservoir de stockage et de la tuyauterie sont estimés à environ 2% des frais de capital du réservoir.

La durée de vie d'une pompe éolienne est estimée à 15 ans, mais les expériences sur le terrain montrent que c'est une estimation optimiste.

### 2.6. Traction animale

Les pompes à traction animale sont utilisées dans les petites communautés rurales, où les animaux font partie de la vie traditionnelle. Les animaux sont généralement utilisés avec des dispositifs à mouvement lent (par ex. les pompes à chapelet, les roues hydrauliques, le seau et la corde) pour puiser de l'eau destinée à l'irrigation. Les pompes à traction animale ne sont pas souvent utilisées pour approvisionner la communauté en eau potable, probablement parce que les animaux appartiennent à des particuliers.

Puisque la puissance produite par des animaux est cinq à dix fois plus grande que celle produite par une personne, la quantité d'eau (m<sup>3</sup>/heure) puisée d'un puits peut être considérablement plus grande que celle puisée avec une pompe à main. Cependant, les pompes à traction animale sont souvent extrêmement inefficaces: 80% de la puissance introduite est perdue. L'inefficacité augmente avec la profondeur à cause du frottement. Cependant, l'approvisionnement en eau avec une pompe à traction animale peut être faisable quand, dans une communauté, on peut se mettre d'accord avec les personnes qui possèdent des animaux pour que ceux-ci soient utilisés pour actionner la pompe.

Les frais de capital: le système de pompage à traction animale comprend des animaux (source d'énergie) et un dispositif de pompage. Le prix d'un animal

(une vache, un buffle, un âne) varie d'une région à l'autre et ne peut pas être généralisé. Le dispositif de pompage peut comprendre des éléments tels que des pompes à chapelet, des roues hydrauliques ou un seau et une corde, qui peuvent être achetés localement à bas prix. Comme le débit est relativement grand (m<sup>3</sup>/heure), il peut être profitable d'avoir un réservoir pour l'eau qui n'est pas (directement) consommée. La capacité du réservoir n'a pas à être nécessairement grande.

Les frais périodiques: un composant majeur des frais de F&E est le fourrage nécessaire pour les animaux. En outre, le revenu du responsable, prenant soin du dispositif et des animaux durant le pompage, et les frais de matériaux et de main d'oeuvre, nécessaires pour l'entretien et les réparations, doivent aussi être considérés.

En pratique l'usage des pompes à traction animale pour puiser de l'eau potable est rare, en partie à cause de l'importance (relative) des frais périodiques.



### 3. ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Une appréciation socio-économique est effectuée afin de déterminer l'impact total du projet sur l'économie du pays. La connexion du projet avec l'économie nationale est d'une importance cruciale. Une appréciation socio-économique limite la gamme des spécifications des projets alternatifs à celui qui contribue le plus aux objectifs de développement du pays. L'appréciation socio-économique tient donc compte des effets (aussi bien les bénéfiques que les dépenses) qui ne sont pas reflétés dans l'analyse financière.

En ce qui concerne les projets d'approvisionnement en eau, les effets positifs suivants - les bénéfiques - doivent être considérés:

- A) Les économies de dépense: les frais occasionnels d'une source supplémentaire pour l'approvisionnement en eau à laquelle on a renoncé (par ex. les fontainiers) grâce au projet sont considérés comme un bénéfice. Une autre source d'économie de dépense peut être trouvée dans la nécessité réduite de faire bouillir l'eau avant de la consommer, grâce au nouvel approvisionnement en eau.
- B) Les économies de temps: si le nouveau système d'approvisionnement en eau (la situation "après le projet") permet aux gens, généralement les femmes, de consacrer moins de temps à la corvée d'eau, comparé à l'ancienne situation ("sans le projet") ils peuvent employer ce "gain de temps" d'une façon productive. Les femmes peuvent utiliser le temps économisé pour s'occuper des enfants, pour effectuer des activités à la maison ou des activités rémunératrices. L'estimation de l'importance et la valeur de ces activités rémunératrices sur le total des bénéficiaires, donne une indication des bénéfiques totaux de l'économie de temps.
- C) L'amélioration de la santé: le but fondamental des projets d'approvisionnement en eau est de fournir aux gens de l'eau potable et facilement accessible. Par conséquent, la santé générale des utilisateurs s'améliorera; les dermatoses, liées à l'usage de l'eau contaminée, et les infections de l'estomac/l'intestin peuvent diminuer: les gens peuvent donc être plus productifs (moins de "jours perdus") en comparaison à l'ancienne situation. L'amélioration de la santé ne dépend pas seulement de la qualité de l'eau, mais également de l'endroit de la source d'eau améliorée; si la source d'eau est proche des gens, ils se laveront (leurs enfants aussi) plus fréquemment, ce qui aboutira probablement à une amélioration générale de la santé<sup>10</sup>.
- D) Les bénéfiques socio-économiques indirects ou secondaires: certains bénéfiques pourraient résulter du projet, ces bénéfiques sont des "effets secondaires" du projet. Le système d'approvisionnement, nouveau ou amélioré, peut jouer un rôle catalyseur pour le développement économique (ultérieur) de la région concernée; dans les zones urbaines, par exemple, il peut attirer de (petites) industries. Dans le cas d'un tel développement, des emplois sont créés au profit des non-bénéficiaires du système d'approvisionnement en eau.

<sup>10</sup> Source: Black, M. (1990), p. 113 - 115: "The study concludes that reducing the distance to the water supply is more important than improving its quality for making an impact on (child) health."  
[L'étude conclut qu'une réduction de la distance vers la source d'eau est plus importante que l'amélioration de sa qualité pour l'impact sur la santé (d'enfants).]

Les effets négatifs (des coûts) aux dépens de la société devraient aussi être considérés:

- E) Les utilisateurs vont devoir consacrer du temps à ce nouveau mode d'approvisionnement en eau, ou à l'approvisionnement amélioré. Quand les gens sont supposés participer à l'évaluation des besoins, à la planification, à la construction réelle et à l'entretien du système d'approvisionnement en eau, ils perdent du temps qui aurait pu être employé de façon productive et rémunératrice. Le renoncement à une production, comme l'économie de temps, concerne surtout les femmes. En outre, les utilisateurs du système d'approvisionnement en eau doivent souvent faire face à quelques difficultés pour payer leur factures (par ex. la longue distance à parcourir à pied jusqu'au poste d'encaissement dans les zones rurales).
- F) Dans les grandes zones métropolitaines en particulier, l'augmentation de la consommation d'eau peut aboutir à un rabattement du niveau phréatique, cela peut avoir des conséquences sur l'approvisionnement en eau, l'hygiène et l'environnement.

Les effets socio-économiques dépendent du projet et de l'endroit. Il est donc difficile de comparer les effets socio-économiques des projets de pompes à main (pour puits profond) aux projets de petits systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau. Cependant, on peut faire certaines remarques générales:

- Même si les systèmes alternatifs sont situés à quelque distance des utilisateurs d'eau, l'eau peut être amenée chez bénéficiaires grâce à une tuyauterie (se terminant par un branchement dans chaque maison ou par un robinet central dans une cour). De cette façon chaque système peut faire faire des économies de temps aux utilisateurs.
- Puisque les systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau peuvent amener l'eau (relativement) près des utilisateurs, il peut y avoir une augmentation du bien-être général grâce à l'amélioration de la santé.
- Les systèmes alternatifs permettent éventuellement une utilisation supplémentaire de l'eau pompée (en dehors de l'eau de consommation et à usage domestique): l'irrigation à petite échelle. Il est impossible de faire des remarques généralement valables sur la faisabilité de l'irrigation. Seule une étude effectuée sur le terrain peut fournir une indication. Si l'irrigation est faisable, elle peut être le catalyseur du développement économique dans une région.

## 4. ASPECTS D'ORGANISATION ET DE RÉCUPÉRATION DES FRAIS

### 4.1. Participation communautaire

La communauté, le voisinage ou le quartier où le système d'approvisionnement en eau doit être installé, peuvent être impliqués dans toutes les phases du projet; l'estimation de la demande et la sélection d'un système en coopération étroite avec la communauté peut prévenir une sur- ou sous-estimation du projet, et cela stimule leur participation. Ce n'est que lorsque les membres de la communauté sont convaincus des bénéfices du nouveau réseau d'eau, qu'ils sont susceptibles de l'utiliser au lieu de continuer d'utiliser /de retourner à leur source d'eau traditionnelle. S'ils participent activement à toutes les phases du projet, ils seront convaincus des bénéfices.

Les aspects de récupération des frais sont liés étroitement à la participation communautaire. D'abord la sélection du bon système contribue à la capacité de récupération des frais. Deuxièmement, la participation des membres de la communauté à toutes les phases du projet influencera probablement leur bonne volonté à payer d'une manière positive. Troisièmement, leur participation peut considérablement réduire les frais, puisqu'ils apportent des ressources à coût modeste (tel que la main d'oeuvre et les matériaux). La communauté peut prendre soin de l'encaissements des revenus, de l'entretien et du financement, ce qui réduit encore les frais.

Une attention spéciale devrait être prêtée au développement des comités locaux pour contrôler la participation locale. La participation communautaire devrait aller de pair avec la formation des comités, du personnel d'entretien du système et des utilisateurs.

La participation communautaire est actuellement considérée comme un élément indispensable pour le succès d'un projet d'approvisionnement en eau.

### 4.2. Aspects institutionnels

Le contrôle de l'approvisionnement en eau effectué jusqu'ici par les agences du gouvernement central passe maintenant dans les mains des autorités locales, ou d'entreprises privées, ce changement est visible dans tous les pays en voie de développement. Cependant, les agences du gouvernement central sont toujours nécessaires afin d'accomplir un rôle principal dans l'approvisionnement en eau: aider à/soutenir l'introduction de la participation communautaire, former/enseigner et équiper les parties concernées (par ex. les autorités locales, les utilisateurs, le personnel d'entretien), inventorier l'approvisionnement national d'eau (où/quels projets).

Ce changement dans le contrôle de l'approvisionnement en eau du gouvernement central vers les autorités locales ou des entreprises privés rencontre assez souvent des problèmes, puisque ces institutions sont mal équipées, et qu'elles manquent de personnel bien formé et compétent. Une décentralisation devrait donc aller de pair avec la formation et l'approvisionnement de ressources - aussi bien financières que matérielles; les bailleurs de fonds peuvent/devraient encourager un tel processus.

Un problème important dans les aspects financiers des systèmes d'approvisionnement en eau est la capacité administrative des autorités locales ou des entreprises privées.

Dès que le système est en fonction, des données concernant la production et l'utilisation de l'eau actuelles, les fuites éventuelles (aussi bien réelles qu'"administratives"), le genre (un ménage ou une entreprise commerciale) et le nombre de bénéficiaires et les revenus à percevoir, sont à rassembler et à mettre à jour. Les institutions doivent être capable de percevoir les revenus et de les administrer. Si les autorités ne contrôlent pas la perception des revenus, les mauvais payeurs ne seront pas sanctionnés. Il est conseillé de sanctionner les mauvais payeurs en leur coupant l'approvisionnement en eau. La politique de la Banque Mondiale encourage la privatisation de l'approvisionnement en eau, liée étroitement à la participation communautaire.

#### 4.3. Récupération des frais

La récupération des frais a été longtemps un aspect négligé des systèmes d'approvisionnement en eau. D'habitude l'eau était fournie gratuitement aux bénéficiaires, subsidiée par les autorités ou les bailleurs de fonds. Cette politique mettait en danger la capacité de reproduction des projets, laquelle devrait être un premier but, puisque les montants nécessaires étaient trop élevés pour être financés par les agences du gouvernement ou des bailleurs de fonds. Donc, afin de garder le projet durable du point de vue financier, il est nécessaire que les utilisateurs contribuent à la récupération des frais.

La politique de la Banque Mondiale<sup>11</sup> est: de récupérer les frais de capital ainsi que les frais d'entretien par le biais des utilisateurs. Quand on permet aux utilisateurs de choisir un système dans lequel ils ne contribuent qu'à la récupération des frais de F&E, ils vont probablement opter pour un système avec des frais périodiques (relativement) bas - ce qui amène souvent à des frais de capital considérables (par ex. l'énergie solaire et éolienne). Cependant, quand le gouvernement ou le bailleur de fonds sélectionne un système, ils tendent à réduire leurs dépenses et à faire passer autant que possible la récupération des frais - les frais de F&E - à la charge des bénéficiaires. Si cela est le cas avec une communauté pauvre ceci peut aboutir à un effacement prématuré du système, par manque d'entretien. Dans les villages pauvres en Afrique et en Asie le montant que les villageois sont supposés de payer devrait être subventionné par les autorités jusqu'à ce que les gens puissent eux-mêmes payer leur part.

Quelques remarques sur la politique de la Banque Mondiale concernant la récupération totale des frais peuvent être faites.

Premièrement, les utilisateurs évaluent le nouveau système d'approvisionnement en eau selon leur propres critères, dans lesquels les économies de temps, l'amélioration de la santé, etc sont probablement inclus. En fonction de ces bénéfices, ils sont prêts à payer une certaine somme pour utiliser l'eau. Tant qu'il y a une différence positive entre ce que les gens veulent payer et ce qu'ils doivent réellement payer (surplus du consommateur), ils ne retourneront pas à leur source traditionnelle.

Deuxièmement, les bénéfices résultants du nouvel approvisionnement ne sont pas souvent (directement) convertis en productivité supplémentaire (donc des revenus supplémentaires). Ceci veut dire que même quand les utilisateurs sont prêts à payer pour utiliser l'eau, ils ne le peuvent pas toujours.

<sup>11</sup> Churchill, A.A. (1987), p. 39

Une politique généralement acceptée est la récupération d'au moins les frais de fonctionnement et d'entretien, et là où c'est possible, des frais totaux.

#### 4.3.1. Etablissement des prix

Étant donné que les bénéficiaires d'un système d'approvisionnement en eau doivent être taxés pour l'utilisation de l'eau, plusieurs types de prix ont été établis.

Dans les systèmes où la consommation est mesurée par un compteur, les utilisateurs sont taxés selon un tarif par litre consommé. Les tarifs varient selon l'usage de l'eau (par ex. domestique ou non-domestique) et la quantité d'eau consommée. Cependant, beaucoup de projets d'approvisionnement en eau - en particulier ceux dans les zones rurales - n'ont pas de branchements à compteur. Dans les projets où des compteurs sont installés, ils ne fonctionnent souvent pas, ou ils ne sont pas lus convenablement. Dans les systèmes sans compteur, où les gens doivent payer pour la quantité consommée, les utilisateurs peuvent être taxés au moment où ils tirent l'eau d'un robinet de cour. Un désavantage important est la présence nécessaire d'un percepteur de revenu près du robinet.

Dans de nombreux cas, un forfait, indépendant de la consommation d'eau réelle, sera perçu à travers la communauté. Cette taxe d'eau peut varier selon le niveau du revenu et la grandeur du ménage. Là où l'eau est fournie par une pompe à main ou par un robinet de cour, une utilisation d'eau excessive par un individu n'est pas vraisemblable à cause de la pression sociale. Des gens, en particulier les plus pauvres de la société, peuvent contribuer en nature, en fournissant de la main d'oeuvre.

Il faut éviter de compter sur l'application répandue des "cross-subsidies" (voir l'appendice I). Les politiques d'approvisionnement en eau sont souvent basées sur les "cross-subsidies"; c'est à dire le financement de projets ruraux en utilisant les bénéfices des projets urbains. Ceci n'est faisable qu'avec des sommes relativement petites, pour que les tarifs d'eau urbains restent dans les limites du pouvoir d'achat des utilisateurs.

En outre, la technologie appliquée dans les zones rurales devrait être conforme aux moyens financiers de ses utilisateurs (pas de sur-dimension), afin de garantir l'entretien à long terme, indépendamment d'autres sources financières.

#### 4.3.2. Financement

Il existe plusieurs politiques concernant le financement des systèmes d'approvisionnement en eau. L'une d'elle est: laisser la communauté financer le projet en empruntant les fonds nécessaires. Ceci peut être réalisé grâce à un fonds permanent au niveau local ou national avec l'aide des autorités ou de (petits) intermédiaires financiers. Cependant, en pratique il est difficile d'intéresser des (petits) firmes d'investissement à servir d'intermédiaire financier, particulièrement dans les régions rurales où ils sont les plus nécessaires.

Une autre politique est: encourager l'utilisation de systèmes d'approvisionnement en eau ayant des frais de F&E modiques - en particulier dans les parties les plus pauvres du monde - afin de permettre aux communautés de récupérer au moins les frais de F&E. Comme il a été dit dans le chapitre 2,

les systèmes ayant des frais périodiques modiques ont généralement des frais de capital considérables (par ex. les systèmes photovoltaïques et les pompes éoliennes). Ces frais de capital sont pris en charge (pour la plus grande partie) par les agences dites de soutien extérieur - souvent des bailleurs de fonds étrangers.

Il y a aussi des programmes, tel que le projet de pompe à main et de puits au Burkina Faso où la communauté non seulement paie et exécute tout l'entretien au niveau communautaire, mais elle met également des réserves de côté pour le remplacement ou l'extension du système d'approvisionnement en eau du village. Seuls les coûts de construction sont entièrement financés par les bailleurs de fonds qui soutiennent les différents programmes régionaux d'approvisionnement en eau du pays. La partie réelle que la communauté doit rembourser dépend des circonstances économiques locales. Le restant est une allocation de l'état et des bailleurs de fonds internationaux, bilatéraux ou nationaux. Le paiement d'une partie des coûts de construction en main-d'oeuvre au lieu d'argent rend le système plus abordable pour un grand nombre de ménages.

#### 4.4. Systèmes comparés

Dans ce chapitre les aspects financiers et organisationnels importants des systèmes d'approvisionnement en eau ont été traités. Ces aspects encadrent une comparaison indicative entre les différents systèmes d'approvisionnement en eau, qui est présentée dans le tableau 4.1. et 4.2.

Les comparaisons indicatives présentées dans le tableau 4.1. et 4.2. sont basées sur les suppositions suivantes:

- L'eau est puisée à des profondeurs de 50 mètres ou plus.
- Les frais des inspections géologiques et du forage (ou du creusage à la main ne sont pas compris dans la comparaison.
- Chaque système est capable de satisfaire la demande d'eau.

Puisque l'approvisionnement rural en eau diffère de celui des régions urbaines, les deux types d'approvisionnement en eau vont être passés en revue séparément; le tableau 4.1. concerne l'approvisionnement en eau rural, le tableau 4.2. concerne l'approvisionnement en eau urbain.

Les pompes à main pour puits profond et leurs petites alternatives sont comparées en fonction de trois aspects:

- A) Le financement: basé sur 4.3.2. les alternatives de financement sont distinguées:
- la communauté est responsable du financement du projet, grâce à un fonds permanent ou un crédit. La communauté doit donc financer les frais de capital ainsi que les frais de F&E.
  - une agence de soutien extérieur prend en charge la totalité ou une grande partie des frais de capital, encourageant ainsi l'utilisation de systèmes ayant des frais de F&E modiques.
- B) L'organisation: la responsabilité de l'organisation du système d'approvisionnement en eau est soit locale, soit nationale. Selon le

lieu du système d'approvisionnement en eau, rural ou urbain<sup>12</sup>, cette différence au niveau de l'organisation influence la disponibilité supposée et le niveau d'assistance technique. Dans des circonstances rurales il a été supposé que les habiletés techniques sont faibles et que l'assistance technique prend beaucoup de temps. Dans les vastes régions urbaines l'habileté technique est disponible.

- C) La récupération des frais: ici on suppose deux politiques:
- les utilisateurs d'eau ont à récupérer les frais totaux.
  - Les utilisateurs doivent récupérer les frais de F&E.

Pour chaque système d'approvisionnement en eau, une indication est donnée de la faisabilité relative de chacun des domaines décrits: le financement, l'organisation et la récupération des frais.

Une indication de l'appréciation est donnée par '+', 'o', et '-':  
 '+' indique une appréciation positive  
 'o' indique une appréciation neutre  
 '-' indique une appréciation négative

Table 4.1: L'approvisionnement en eau rural

financement organisation récupération des frais	communauté				bailleur de fonds			
	locale		nationale		locale		nationale	
	totale	F&E	totale	F&E	totale	F&E	totale	F&E
type de pompe								
pompe à main pour puits profond	o-o	o--	o+o	o+-	+o	++	++o	+++
pompe diesel	o-o	o--	o+o	o+-	+o	++	++o	+++
pompe photovoltaïque	---	--+	-+-	-++	+o	++	+++	+++
pompe éolienne fabr.commercial.	---	--+	-+-	-++	+o	++	+++	+++
fabr.villageoise	+++	++o	+++	++o	++o	++o	++o	++o
pompe à traction animale	+++	+++	+++	+++	++o	+++	++o	++o

Tableau 4.2: L'approvisionnement en eau urbain

financement organisation récupération des frais	communauté				bailleur de fonds			
	locale		nationale		locale		nationale	
	totale	F&E	totale	F&E	totale	F&E	totale	F&E
type de pompe								
pompe à main pour puits profond	ooo	oo-	o+o	o+-	++o	+++	++o	+++
pompe diesel	ooo	oo-	o+o	o+-	++o	+++	++o	+++
pompe photovoltaïque	---	--+	-+-	-++	++o	+++	+++	+++
pompe éolienne fabr.commercial.	---	-o+	-+-	-++	++o	+++	+++	+++
fabr.villageoise	+++	++o	+++	++o	++o	-+o	-+o	++o
pompe à traction animale	++o	+++	+o	+++	++o	-++	-+o	+++

<sup>12</sup> Nous supposons que les villes dans les régions rurales ont les mêmes caractéristiques d'approvisionnement en eau, quant aux habiletés techniques, que les villages dans les régions rurales.

N.B. Les régions urbaines veut dire les vastes régions métropolitaines.

Comment utiliser le tableau: comment une pompe photovoltaïque est-elle évaluée dans une situation où un village rural est responsable du financement du projet, du fonctionnement et de l'entretien du système et où les utilisateurs sont supposés récupérer les frais totaux? Une indication de l'appréciation est donnée dans la première colonne de la rangée "pompe photovoltaïque" dans le tableau 4.1 (approvisionnement en eau rural): '---'. Étant donné les frais de capital élevés d'une pompe photovoltaïque, on suppose un rapport négatif avec le financement communautaire, ainsi qu'avec le F&E au niveau villageois (étant donné les faibles habiletés techniques) et un rapport négatif avec la récupération des frais totaux. Dans la situation où un bailleur de fonds prend en charge les frais de capital, un rapport '+--' est indiqué (cinquième colonne dans la rangée "pompe photovoltaïque"); une pompe solaire est abordable, puisque seuls les frais de F&E sont à payer. Étant donné ces circonstances une récupération des frais totaux par les utilisateurs est plus avantageuse.



## 5. REMARQUES CONCLUSIVES

L'étude comparative des pompes à main (pour puits profond) et leurs petits systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau, sur les aspects financiers, socio-économiques et organisationnels ne peut être à ce stade, étant donné les données limitées et la courte durée de l'étude, qu'exploratoire et indicative. Les caractéristiques et les frais de n'importe quel système d'approvisionnement en eau sont fortement déterminés par des variables spécifiques au lieu (par ex. géographiques, géologiques, techniques, démographiques, financiers et socio-économiques), et il est donc difficile de les comparer dans le cadre d'une étude rapide de bureau.

Malgré le fait qu'aucune politique uniforme concernant le financement, l'organisation et la récupération des frais des systèmes d'approvisionnement en eau (et des aspects apparentés) n'est tracée et/ou développée, un rapport indicatif entre chaque système d'approvisionnement en eau considéré dans ce rapport et les politiques actuelles est présenté dans les tableaux 4.1. et 4.2.

Une analyse comparative plus détaillée des pompes à main (pour puits profond) et des petits systèmes alternatifs d'approvisionnement en eau n'est faisable que dans le cadre d'une étude beaucoup plus vaste; de préférence, une étude de bureau approfondie combinant, par exemple, les données des dossiers des projets de DGIS avec des études comparatives effectuées sur le terrain dans différentes parties du monde.

## RÉFÉRENCES

- Arar, A. (1986)  
**Short Report on Cost of Irrigation Water and Irrigation Water Charges in some Arab Countries**  
 FAO, Rome
- Bastemeyer, T., and Visscher, J.T.  
**Maintenance Systems for Rural Water Supplies**  
 IRC, The Hague
- Besselink, J. (1990)  
**Inventory Mission: Niger/Burkina Faso/Ghana/Kenya**  
 IAD, Arnhem
- Besselink, J., Grupa, J., and Smulders, P. (1990)  
**Behaviour of Deepwell Handpumps with PVC Rising Mains**  
 IAD, Arnhem
- Black, M. (1990)  
**From Handpumps to Health: the evolution of water and sanitation programmes in Bangladesh, India and Nigeria**  
 Unicef, New York
- Bridger, G.A., and Winpenny, J.T. (1983)  
**Planning Development Programmes: A practical guide to the choice and appraisal of public sector investments**  
 ODA, London
- Churchill, A.A., de Ferranti, D., Roche, R., Tager, C., Walters, A.A., and Yazer, Y. (1987)  
**Rural Water Supply and Sanitation: time for a change**  
 World Bank Discussion Papers, Washington
- Healy, J.M. (1988)  
**Appraisal of Projects in Developing countries: a guide for economists**  
 ODA, London
- Hofkes, E.H., and Visscher, J.T. (1986)  
**Renewable Energy Sources for Rural Water Supply**  
 IRC, The Hague
- Saunders, R.J., Warford, J.J., and Mann, P.C. (1977)  
**Alternative Concepts of marginal Cost for Public Utility Pricing: Problems of Application in the Water Supply Sector**  
 World Bank Staff Working Paper, Washington
- Whittington, D., Mu, X., and Roche, R. (1990)  
**Calculating the Value of Time Spent Collecting Water: Some Estimates for Ukundu, Kenya**  
 in 'World Development', Vol. 18, No.2, pp. 269-280, 1990

Whittington, D., Briscoe, J., Mu, X., and Barron, W. (1990)  
Estimating the Willingness to Pay for Water Services in Developing  
Countries: A Case Study of the Use of Contingent Valuation Surveys in  
Southern Haiti  
University of Chicago, Chicago

Whittington, D., Mujwahuzi, M., McMahon, G., and Choe, K. (1989)  
Willingness to Pay for Water in Newala District, Tanzania: strategies for  
cost recovery  
Wash Field Report No. 246, Washington

WHO (1988)  
Community Water Supply and Sanitation: managerial and financial principles  
for water supply and sanitation agencies  
Report on the fourth Consultation on Institutional Development Working Group  
on Cost Recovery, Geneva

Wrap (1989)  
District Water Development Plan 1993-2013: Samburu District  
Ministry of Water Development, Kenya

## APPENDICE I: Glossaire

**Surplus du consommateur (Consumers' surplus):** les bénéfices qu'un consommateur a quand il/elle obtient un bien ou un service à un prix plus bas que celui qu'il/elle paierait volontiers. Il est supposé que ce genre d'aspects est inclus dans le prix que les consommateurs veulent bien payer.

**Analyse des frais et des bénéfices (Cost-benefit analysis):** une méthode pour évaluer des projets qui consiste à déterminer les frais et les bénéfices, à les exprimer en circulations monétaires annuelles pour la durée du projet, et à actualiser les entrées annuelles nettes qui en ressortent, afin d'obtenir une valeur actuelle.

**Analyse de la rentabilité des coûts (Cost-effectiveness analysis):** une méthode d'appréciation qui consiste à définir les objectifs du projet et à choisir la solution qui diminue les frais de capital actualisés totaux et les frais périodiques.

**Subvention croisée (Cross-subsidization):** l'utilisation des revenus d'un service public, qui proviennent de ses parties profitables, pour continuer à fournir ce service aux utilisateurs là où il serait autrement peu fructueux.

**Effets directs (Direct effects):** ces effets concernent les entrées et les sorties matérielles d'un projet et découlent généralement des caractéristiques techniques du projet. Ils aboutissent aux recettes et dépenses dans les marges du projet et ils sont donc importants pour l'analyse financière.

**Taux d'escompte (Discount rate):** le taux d'amortissement (analogue à un taux négatif d'intérêt) des futures circulations des frais et des bénéfices.

**Effets indirects ou secondaires (Externalities):** les frais et les bénéfices nets pour l'économie, qui proviendront de l'exécution du projet en considération, mais qui n'influencent pas les partis directement impliqués dans le projet. Ces effets ne sont donc pas reflétés dans la bonne volonté du consommateur de payer pour le service du projet.

**Taux interne de revenu (Internal rate of return):** le taux d'escompte pour lequel la valeur actuelle nette d'un projet devient égale à zéro.

**Valeur actuelle nette (Net present value):** une règle générale de décision de l'appréciation d'un projet, le résultat de l'addition de la différence actualisée entre les frais et les bénéfices, pour chaque année de la durée du projet.

**Coûts occasionnels (Opportunity costs):** la valeur d'une ressource dans sa meilleure application alternative. Les frais, définis en termes de bénéfices prévus (la productivité marginale), sont donc les coûts occasionnels.

## APPENDICE II: Un exemple d'une comparaison de coût

Il est donné dans cet appendice un exemple d'une comparaison de trois systèmes d'approvisionnement en eau potable. Le but de cet exemple n'est pas réellement de comparer des systèmes, il sert simplement à illustrer la difficulté de comparer des systèmes dans une étude générale de bureau.

Tableau II.1: Une comparaison des frais d'une pompe éolienne, d'une pompe solaire et d'une pompe diesel pour un lieu particulier

Données de lieu:

Le besoin en eau	27 m <sup>3</sup> /jour
La profondeur	30 m
La vitesse de vent moyenne annuelle	4 m/sec.
La durée critique des périodes calmes	5 jours
La radiation moyenne mensuelle (pendant le mois critique)	14 MJ/m <sup>2</sup> /jour (4 kWh/m <sup>2</sup> /jour)
La durée critique des périodes nuageuses	3 jours
La plus petite taille de moteur diesel disponible	3 kW puissance estimée
Le coût d'une pompe diesel de 3 kW	4500 \$
Le prix du gasoil	0.50 \$/litre
Le coût d'une pompe éolienne	350 \$/m <sup>2</sup> de zone balayée par le rotor
Le coût d'un système de pompage photovoltaïque	22 \$/Watt de puissance de crête installée
Le coût par unité d'un réservoir de stockage	30 \$/m <sup>3</sup>
Le taux d'escompte	8%

Adapté de: Hofkes, E.H. (1986)

Les résultats de la comparaison des coûts sont présentés dans le tableau II.2. Étant donné les conditions du tableau II.1., une pompe éolienne est le système d'approvisionnement en eau le plus rentable. En changeant certaines suppositions, des résultats différents (classifications) sont créés:

- si le prix du gasoil est augmenté de \$ 0.50/litre à \$ 0.85/litre, le coût par m<sup>3</sup> pour les pompes diesel augmente de \$ 0.23 à \$ 0.27, indiquant qu'un changement majeur du prix de gasoil n'a qu'un effet minime sur les frais unitaires.
- si la vitesse du vent moyenne annuelle est 3 au lieu de 4 m/sec, un rotor plus grand serait nécessaire, les frais de capital s'élèveraient alors à \$ 17000. Le coût unitaire par m<sup>3</sup> monterait de \$ 0.16 à \$ 0.27.

Ce qui est mentionné ci-dessus indique que l'analyse de rendement des coûts est liée à un endroit et une situation particulière, et qu'une règle ou indication universelle est difficile à donner.

Tableau II.2

	pompe diesel	pompe éolienne	pompe photovoltaïque
Puissance hydraulique nécessaire	2,25 kWh/jour	2,25 kWh/jour (= 821 kWh/an)	2,25 kWh/jour
Taille du moteur diesel	(plus petit disponible) 3 kW puissance estimée		
Zone balayée par le rotor E hydr: 0,9 V <sup>3</sup>		0,21/0,9V <sup>3</sup> = 14,25 m <sup>2</sup>	
Frais capital (3kW puissance estimée)	\$ 4500	14,25 * 350 = \$ 5000	
Frais du système de pompage solaire (installé)			1700 * 22 \$/Wc = \$15400
Puissance électrique nécessaire			5,63 kWh/jour
Capacité en Watt crête du système			1700 Wc
Puissance nominale	2 kW		
Rendement du moteur plus la pompe			40%
Rendement de la pompe	40%		
Puissance hydraulique du moteur	0,8 kW		
Débit de l'eau	4,1 l/sec		
Heures de fonctionn. nécessaires par jour	1,83 heures		
Rendement du moteur	15%		
Consommation de gasoil par heure de fonctionnement	1,34 l/heure		
Consomm. de gasoil par an	895 litres/an		
Capacité réservoir nécessaire	approx. d'un jour = 27 m <sup>3</sup>	5+1 = 6 jrs d'approx. = 160 m <sup>3</sup>	3+1 = 4 jrs d'approx. = 110 m <sup>3</sup>
Frais capital réservoir	\$810	\$4800	\$3300
Durée de vie du réservoir	20 ans	20 ans	20 ans
Durée de vie du moteur	5 ans		
Durée de vie pompe diesel	10 ans		
Durée de vie pompe éolienne		15 ans	
Durée de vie pompe solaire			15 ans
Frais de capital annuels:			
- moteur et pompe	\$960	\$650	\$2010
- réservoir	\$95	\$560	\$390
Frais gasoil annuels; 895 litres à 0,50 \$/l	\$450		
Frais annuels de F&E:			
- moteur et pompe (5% des frais capitaux)	\$225	\$250	\$310
- réservoir (2% des frais capitaux)	\$15	\$100	\$65
Frais annuels d'opérateur	\$500		
Frais annuels totaux	\$2240	\$1560	\$2775
Débit annuel de l'eau	9850 m <sup>3</sup>	9850 m <sup>3</sup>	9850 m <sup>3</sup>
Frais unitaires par m <sup>3</sup>	0,23 \$/m <sup>3</sup>	0,16 \$/m <sup>3</sup>	0,28 \$/m <sup>3</sup>

# InterAction Design

---

LOUIS VAN GASTERENSTRAAT 204, 7558 SZ HENGELO, HOLLAND

research and design for  
small scale industry,  
project study and support

Tel: +31 (0)74 777.304

Fax: +31 (0)74 777.631

ABN BANK: 54.39.35.051

K.v.K-Hengelo: 55.718

IRC  
T.a.v. de bibliothecaris/-resse  
Postbus 93190  
2509 AD Den Haag

Betreft: rapport 'Petits systèmes d'approvisionnement en eau potable  
pour puits profond'

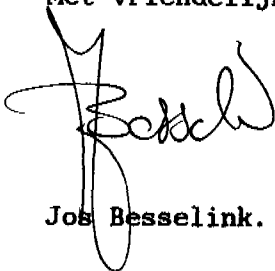
Datum : 21 september 1992

Geachte bibliothecaris/-resse,

Hierbij treft U een exemplaar aan van ons rapport 'Petits systèmes d'approvisionnement en eau potable pour puits profond' tbv uw bibliotheek.

Mocht U op- of aanmerkingen hebben, dan verneem ik dat graag.

Met vriendelijke groeten,



Handwritten signature of Jos Besselink, consisting of a stylized 'J' and 'B' followed by a horizontal line and a vertical stroke.

Jos Besselink.