

# Le coût et la rentabilité de l'eau solaire

## L'exemple du Mali

Bernard Gay, mars 1999

---

*collection Études et travaux*

Programme Solidarité Eau  
Éditions du Gret • Ministère des Affaires étrangères

## Remerciements

**N**ous remercions M. Roland Louvel de son aimable autorisation à utiliser son étude pour réaliser cet ouvrage. Il est en effet à l'origine de ce document suite à son travail pendant six ans de collecte et d'analyse d'informations sur le pompage solaire au Mali. Il a pleinement contribué à l'amélioration de l'organisation et de la gestion de systèmes d'approvisionnement en eau par le solaire. Nous remercions M. Bernard Gay pour son travail d'analyse, de synthèse et d'écriture du présent ouvrage. Nous remercions également M. Mahamadou Sidibé, directeur national de l'Hydraulique et de l'Énergie au Mali, M. Hervé Châtelet, coopérant et conseiller du directeur de la DNHE au Mali, et M. Seydou Keïta, responsable de la Cellule solaire au Mali pour leur contribution et leur soutien. Enfin nous remercions Didier Allély et Huguette Bernardi du programme Solidarité Eau pour leur travail de coordination et de relecture.

Le financement de l'ouvrage a été assuré par le ministère français des Affaires étrangères, Service de coopération et d'action culturelle de l'Ambassade de France au Mali que nous remercions pour sa bienveillance et sa patience. ■

# Sommaire

9	<b>Introduction</b>
11	<b>Premier chapitre. Les pompes solaires au Mali.</b>
11	Combien de pompes solaires au Mali ?
11	De quoi est constituée une station de pompage solaire ?
12	Quel est le volume d'eau fourni ?
15	<b>Deuxième chapitre. Le prix de l'eau solaire au Mali.</b>
15	L'eau solaire n'est pas gratuite !
16	L'impact de la dévaluation
17	Les éléments qui constituent le coût de l'eau solaire
23	Coût annuel d'une station de pompage solaire
24	Coût du m <sup>3</sup> d'eau solaire
31	<b>Troisième chapitre. Rentabilité des pompes solaires selon les usages.</b>
31	Usage domestique
33	Abreuvement du bétail
34	Irrigation
39	Pisciculture
41	<b>Quatrième chapitre. Les pratiques actuelles de vente de l'eau solaire.</b>
41	La vente de l'eau domestique
43	La vente de l'eau pour le bétail
44	La vente de l'eau d'irrigation
44	La vente de l'eau pour la pisciculture
45	<b>Cinquième chapitre. Comparaison entre pompes solaires, diesel et manuelles.</b>
45	Étude ITVV/PRS (1995)
46	Étude J. Billerey (1991)
48	Adduction d'eau dans quatre centres secondaires (1995)
49	Tarifs de l'eau distribuée par Énergie du Mali
50	<b>Conclusion. Les meilleurs usages des pompes solaires.</b>
55	<b>Annexes</b>
57	Références bibliographiques
59	Liste des sigles

# Introduction

**L**es systèmes de pompage par énergie solaire se sont considérablement développés et répandus au cours de ces vingt dernières années. Autour de cette technologie, considérée par beaucoup comme une des solutions les plus adaptées pour le développement des régions sub-sahariennes, les projets et programmes d'hydraulique rurale ou semi-urbaine se sont multipliés. Le Mali possède le plus grand parc d'équipements de pompage solaire en Afrique de l'Ouest. En effet, plus de 400 pompes de ce type y ont été installées depuis 1977, date de la première implantation ; un grand nombre d'entre elles ont maintenant plus de quinze ans d'existence. Ainsi, nous disposons aujourd'hui de suffisamment de recul sur l'utilisation des pompes solaires pour pouvoir en tirer un bilan.

Dans le cadre de sa fonction de conseiller auprès du directeur national de l'Hydraulique et de l'Énergie, pour la Cellule solaire, Roland Louvel, coopérant français jusqu'en 1997, a rassemblé et dépouillé de nombreuses études<sup>1</sup> conduites au Mali dans le domaine du « pompage solaire ». Suite aux résultats de ce travail, la Direction nationale de l'hydraulique et de l'énergie (DNHE) du Mali, avec l'appui du ministère français

des Affaires étrangères et en lien avec le programme Bassin du fleuve Sénégal du programme Solidarité Eau (pS-Eau), a souhaité publier les résultats de cette capitalisation. La rédaction de cet ouvrage a été confiée par le pS-Eau à Bernard Gay, du Gret, qui, à partir de l'étude de Roland Louvel, a repris les données, les a harmonisées et les a structurées en une analyse plus générale des pompes solaires au Mali.

L'objet de cette publication est de faire le point sur les résultats obtenus au Mali, de présenter les avantages et les limites de cette technologie, tout en donnant des ordres de grandeur du prix de l'eau solaire dans ce pays. Il est à noter que les chiffres présentés dans ce document constituent des moyennes, des installations existantes au Mali. Il convient donc d'être prudent et d'étudier l'environnement de chaque site avant de chercher à transposer ces résultats à un site particulier au Mali ou dans d'autres pays. La démarche de calcul et de questionnement pourra cependant être reprise pour toute situation. ■

*Le programme Solidarité Eau*

<sup>1</sup> Ces différentes études sont présentées dans la bibliographie p. 57.

**Programme Solidarité Eau (pS-Eau)**

32 rue Le Peletier

75009 Paris, France

E-mail : [pseau@gret.org](mailto:pseau@gret.org)

**Direction nationale de l'hydraulique et de l'énergie (DNHE)**

BP 66 Bamako, République du Mali

# Les pompes solaires au Mali

## ● Combien de pompes solaires au Mali ?

Le Mali compte aujourd'hui plus de 400 pompes solaires. La toute première pompe fut installée en 1977, il y a vingt ans. La plupart des installations ont été réalisées dans le cadre de deux programmes : Mali Aqua Viva et le Programme régional solaire (PRS).

L'association Mali Aqua Viva a joué les pionniers et a installé plus d'une centaine de pompes. La Coopération française a fortement contribué à ce programme (32 millions de francs), que ce soit par le cofinancement des investissements, le financement de l'animation (CFD) ou de l'appui technique (Ademe). La France a supporté, depuis 1986, la Cellule d'entretien des équipements solaires (CEES), cellule rattachée à la direction nationale de l'Hydraulique et de l'Énergie. Cette équipe, appuyée par des assistants techniques français, a contribué à organiser la gestion des systèmes solaires de pompage après les premiers gros programmes d'investissement. Elle n'existe toutefois plus aujourd'hui.

Le PRS, programme du Cilss financé par l'Union européenne, a assuré l'installation, de 1991 à 1997, de 151 pompes solaires et 33 équipements d'électrification de froid ou d'éclairage. Le groupe français Total/Photowatt et son représentant local la Somimad, en ont été les fournisseurs.

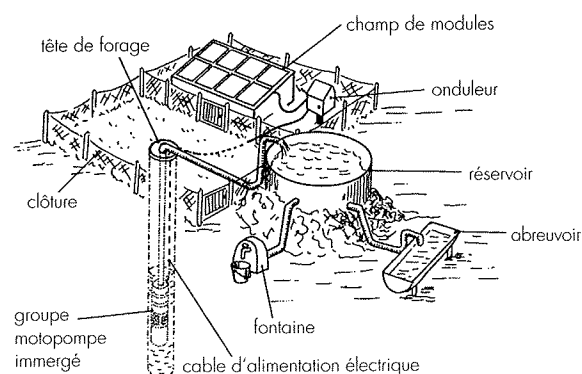
Le PRS a initié une démarche nouvelle visant à mettre en place une maintenance privée et à la pérenniser. L'impact est si important que l'on peut parler d'un avant et d'un après PRS ! En effet, le PRS a une forte valeur d'exemple : un contrat de maintenance est mis en place pour cinq ans. Des provisions de re-

nouvellement se constituent. Le PRS a également consolidé l'activité de réels acteurs professionnels : la Somimad assure les prestations de maintenance. Enfin, ce programme a fixé des ordres de grandeur : 250 000 Fcfa par exemple pour le contrat d'entretien annuel d'une pompe solaire. Le PRS n'a cependant pas résolu toutes les questions : d'une part, le coût d'entretien reste relativement élevé, et d'autre part le renouvellement des systèmes solaires est un problème ardu qui se posera fortement dans quelques années.

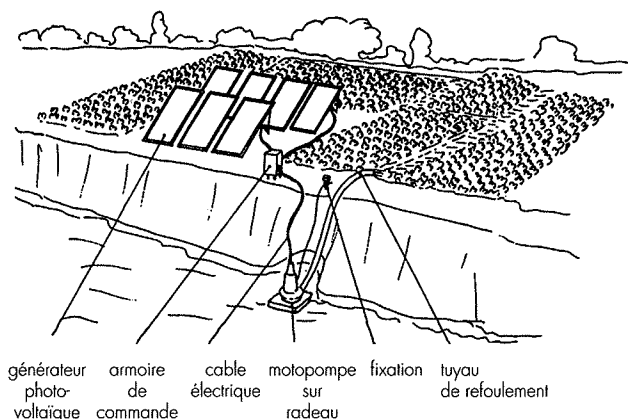
## ● De quoi est constituée une station de pompage solaire ?

Une station de pompage solaire comprend classiquement les éléments qui sont indiqués sur les figures 1 (ci-dessous) et 2 (page suivante).

**Figure 1**  
Système solaire de pompage installé sur forage



**Figure 2**  
Système solaire de pompage installé sur le fleuve



### Le forage

Pour l'approvisionnement en eau potable, l'eau est pompée dans un forage. Il s'agit d'un puits profond de diamètre étroit, souvent de 6 pouces (15 cm). Les pompes solaires ne sont pratiquement jamais installées sur des puits de grand diamètre, car ces derniers exploitent généralement des nappes superficielles peu productives et leur débit est souvent insuffisant. Le point d'eau doit disposer d'un débit d'au moins 5 m<sup>3</sup>/h pour être exploitable.

Pour l'irrigation, des pompes solaires ont été installées au bord du fleuve. Toutefois, comme nous le verrons plus loin, leur rentabilité est difficile à atteindre.

### La pompe solaire

Elle se décompose en trois grandes parties : le générateur, c'est l'ensemble des panneaux photo-voltaïques montés sur des supports métalliques ; les

équipements électroniques de contrôle comprenant généralement un onduleur spécifique ; la pompe centrifuge immergée et sa tuyauterie.

### Les infrastructures annexes (le génie civil)

Ces infrastructures dépendent de l'usage qui est fait de l'eau. Classiquement, elles comprennent un réservoir de stockage, une borne-fontaine, un abreuvoir, une aire de lavage, un puisard, etc.

Certaines pompes solaires alimentent des mini-réseaux de distribution d'eau. Dans ce cas, le génie civil est plus important : châteaux d'eau, conduites de distribution, plusieurs bornes-fontaines.

### ● Quel est le volume d'eau fourni ?

La quantité d'eau fournie par une pompe solaire au Mali dépend de la taille du générateur et de la profondeur de l'eau.

La taille du générateur est facilement modulable : chaque panneau a une puissance d'environ 50 Watts crête (Wc). On rajoute facilement des séries de panneaux. Pour simplifier, le PRS a défini quatre types de pompes solaires, de P3 à P6, couvrant la gamme des besoins que le solaire peut satisfaire. Cette classification permet de fixer les ordres de grandeur.

Pour une taille de générateur donnée, c'est la profondeur de l'eau qui détermine le débit journalier de la pompe solaire. Le débit est inversement proportionnel à la profondeur. On peut *grosso modo* considérer que lorsque la profondeur double, le débit de la pompe est divisé par deux.

Cf. tableau 1 ci-dessous et graphique 1 ci-contre.

**Tableau 1**  
Les pompes solaires classées en quatre types par le PRS

Catégories de pompes du PRS	Puissance	Profondeur exploitable	Débit à 20 m de profondeur	Débit à 30 m de profondeur	Débit à 50 m de profondeur
P3	720 Wc	15 à 45 m	20 m <sup>3</sup> /j	13 m <sup>3</sup> /j	–
P4	1 440 Wc	15 à 60 m	40 m <sup>3</sup> /j	27 m <sup>3</sup> /j	16 m <sup>3</sup> /j
P5	2 520 Wc	15 à 75 m	65 m <sup>3</sup> /j	43 m <sup>3</sup> /j	26 m <sup>3</sup> /j
P6	3 600 Wc	15 à 100 m	110 m <sup>3</sup> /j	73 m <sup>3</sup> /j	44 m <sup>3</sup> /j

### La distribution journalière

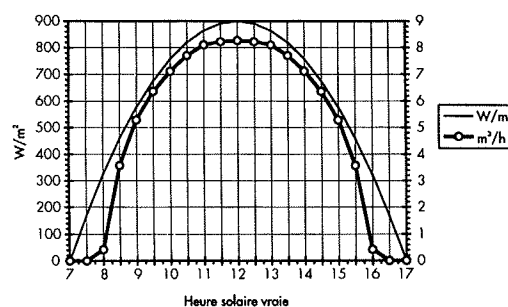
Une pompe solaire ne fonctionne que lorsque le soleil est suffisamment haut dans le ciel. Quand les rayons du soleil sont trop rasants, les piles photovoltaïques ne délivrent pas de courant électrique. Aussi, l'eau n'est produite que de 10 h à 16 h environ, soit 6 heures par jour. Cf. graphique 2, ci-contre.

Ceci a deux conséquences : le débit de la pompe en milieu de journée est relativement important (plusieurs  $\text{m}^3/\text{h}$ ), obligeant à dimensionner les installations en fonction de ce débit. L'autre effet concerne le besoin de stockage : l'eau est produite quand on en a le moins besoin (à midi). Un réservoir est alors indispensable pour ne pas gaspiller l'eau et pour qu'elle puisse être utilisée le matin et le soir. Ce réservoir entraîne des coûts d'installation supplémentaires.

### Graphique 2

#### Le débit d'une pompe solaire tout au long de la journée

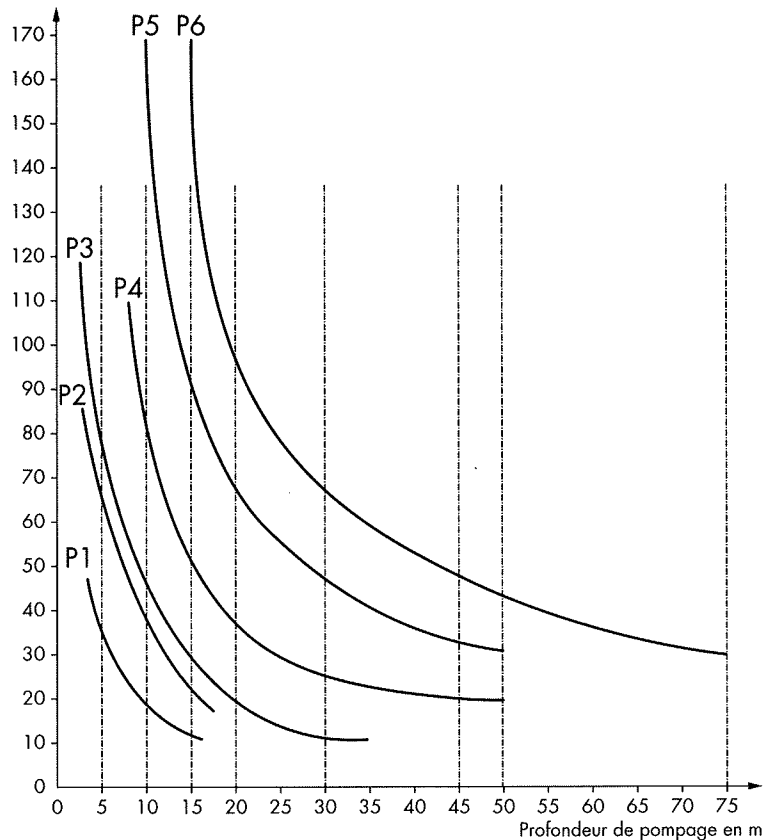
Pompe solaire HMT 10 m : performances instantanées (journées avec  $E_i = 6 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{jour}$ )



### Graphique 1

#### Exemple de pompes photovoltaïques : le cas du PRS

Débit  $\text{m}^3/\text{jour}$



P1 = 300 Wc  
P2 = 700 Wc  
P3 = 700 - 800 Wc  
P4 = 1400 - 1600 Wc  
P5 = 2700 Wc  
P6 = 3600 Wc

Le graphique 1 ci-contre donne, pour différentes tailles de pompe (de 300 Wc à 3 600 Wc), la relation entre débit journalier et profondeur de pompage. Par exemple, une pompe P4 (1 400 Wc) donne 40  $\text{m}^3/\text{jour}$  à 20 mètres de profondeur et 30  $\text{m}^3/\text{jour}$  à 30 mètres de profondeur.





---

# Le prix de l'eau solaire au Mali

---

---

## L'eau solaire n'est pas gratuite !

---

C'est à tort que certains parlent d'énergies gratuites en se référant aux énergies renouvelables. Toutes les énergies, renouvelables ou non, sont gratuitement disponibles dans la nature. Toutefois, les équipements permettant de les rendre disponibles pour l'utilisateur ont un coût d'achat et un coût de maintenance. L'ensemble de ces coûts constitue le coût de l'énergie ainsi disponible.

L'eau solaire a donc un coût que nous allons tenter d'estimer dans cet ouvrage. Il se compose de trois éléments principaux :

### ● Le coût d'achat des équipements

Le plus souvent, les stations de pompage solaire sont financées par l'aide internationale sous forme de dons. Au terme de leur durée de vie, les différents composants devront être renouvelés. Une provision annuelle est donc à constituer dans cet objectif. Ce coût correspond à l'amortissement du matériel.

Il s'agit d'un coût fixe annuel. En effet, les matériels s'usent à peu près aussi vite, qu'on les utilise ou non. Seule la pompe immergée présente une durée de vie proportionnelle à sa durée de fonctionnement. Le reste de l'équipement – les panneaux photovoltaïques, le forage, le génie civil, les canalisations – vieillit avec le temps, quel qu'en soit l'usage.

### ● Le coût de l'entretien technique

Une surveillance est à assurer régulièrement. De petites réparations sont à faire. Certains éléments de courte durée de vie sont à changer. On dispose de peu de données sur les fréquences des pannes. La Cellule d'entretien des équipements solaires (CEES) compte une intervention tous les deux ans, mais cela dépend évidemment de l'âge de la pompe solaire !

Pour les pompes du PRS, cet entretien se fait forfaitairement dans le cadre d'un contrat de maintenance. En réalisant une visite systématique par an pour des pompes neuves, ce programme propose un service de maintenance de luxe. Le PRS avait en effet pour objectif de démontrer la viabilité du solaire. Pour les installations des autres programmes, l'entretien se fait au coup par coup avec un nombre d'interventions beaucoup plus réduites.

### ● Le coût de la gestion au niveau du village

Il s'agit du gardiennage de la station de pompage solaire qui devient obligatoire au vu des vols et des dégradations enregistrés ces dernières années. Il s'agit également des coûts de gestion liés au recouvrement de l'argent pour le financement des charges de l'installation.

## L'impact de la dévaluation

Le franc CFA a été dévalué de 50 % le 12 janvier 1994. Or, la plupart des études économiques disponibles sont antérieures à cette date et portent donc sur des coûts avant dévaluation. Nous allons tenter d'estimer l'impact de la dévaluation sur les coûts liés aux systèmes de pompage solaire.

### ● Une hausse des prix du solaire qui reste limitée

Du fait de la dévaluation, la hausse moyenne des prix au Mali a été de 30 % pour l'année 1994. Toutefois, les différents éléments des systèmes solaires en ont été affectés très différemment :

♦ **Les charges d'entretien** n'ont pratiquement pas varié pour l'utilisateur.

Le montant du contrat d'entretien de la Somimad est resté fixe pour les pompes du PRS (même valeur en francs CFA avant 1994 et après), la rémunération du personnel villageois, fontainiers, gardiens, n'a pas suivi la hausse modeste des salaires en milieu urbain. Seul peut être affecté le coût des réparations sur les équipements annexes et le génie civil, mais dans une faible proportion.

On peut donc considérer que le coût d'entretien des installations, du point de vue de l'utilisateur, n'a pratiquement pas varié. Il aurait plutôt baissé du fait de la non-révision de la prime des contrats d'entretien.

♦ **Le coût des matériels importés** a finalement faiblement augmenté.

La hausse due à la dévaluation est très forte : environ 70 % ! Ceci aurait eu une incidence importante sur le coût de l'eau solaire car la provision de renouvellement de la pompe serait à multiplier par 1,7. Néanmoins, deux phénomènes tempèrent cette hausse :

– la détaxation du matériel solaire importé, suite au décret du 6 juin 1994 portant suspension pour cinq ans des droits et taxes d'importation. Auparavant comprises entre 40 et 60 %, ces taxes sont aujourd'hui réduites à 6 % ;

– l'effort commercial consenti par Total/Photowatt, principal fournisseur. Certaines pièces détachées, notamment l'onduleur, sont désormais proposées à des prix beaucoup plus abordables dans le cadre d'un

échange standard, pratiquement à leur valeur nominale avant dévaluation.

En définitive, les prix des matériels importés ont augmenté de 20 à 30 % du fait de la dévaluation. Toutefois, un rétablissement des taxes induirait une sérieuse augmentation de prix !

### ● Le maintien du revenu des populations rurales

La dévaluation aurait dû avoir un effet bénéfique sur le revenu des paysans. C'est bien ce qui s'est passé : une augmentation de 20 à 40 % des revenus en francs CFA a été constatée. Toutefois, pour les cultures nécessitant des intrants, ce gain est annulé par la hausse du coût de ces intrants. Pour les paysans utilisant peu d'approvisionnement externe, l'augmentation est réelle. Elle compense toutefois l'augmentation générale des prix et permet à cette population rurale de conserver son pouvoir d'achat, à l'inverse de la plupart des urbains.

Dans les zones céréalières, l'impact est favorable : en un an, de novembre 1993 à novembre 1994, le prix de vente du mil a augmenté de 20 %, celui du sorgho et du maïs de 40 %. De même, les éleveurs s'en tirent avec une augmentation de 30 % de leurs revenus en francs CFA. En zone cotonnière en revanche, c'est le *statu quo* : le prix d'achat du coton est passé de 95 F/kg en 1993 à 115 F/kg en 1994 et 125 F/kg en 1995. Cette augmentation compense juste la hausse du coût des intrants. Effet identique pour les producteurs de riz de l'Office du Niger, malgré une augmentation de 30 % du prix de vente de leur production.

Globalement, le monde rural a donc subi moins durement le choc de la dévaluation que les populations urbaines. Son pouvoir d'achat ne s'en est pas accru pour autant. Au mieux, il s'est maintenu.

### ● La rémunération de l'épargne est plus faible

Depuis la dévaluation, les conditions du marché de l'argent sont déterminées par la BCEAO. Elles se traduisent par une faible rémunération de l'é-

pargne : 4,5 % à la BNDA et 3 % dans les autres banques maliennes. Ce taux couvre à peine l'inflation. L'épargne n'est donc plus rémunératrice. Il s'agira de trouver de nouveaux moyens de conserver l'é-

pargne des villages destinée au renouvellement des installations. Il conviendra en particulier de ne plus immobiliser d'importantes sommes d'argent qui ne font que se déprécier.

## Les éléments qui constituent le coût de l'eau solaire

### ● Le coût des équipements<sup>1</sup>

#### *Le coût du forage*

Deux facteurs déterminent le coût d'un forage : les frais de mise en route qui sont à amortir sur le nombre de forages réalisés, et le taux de réussite (68 % à l'échelle nationale au Mali). Ce taux de réussite dépend de la nature des roches en sous-sol et de la caractéristique des nappes. Il varie donc fortement d'une région à l'autre. Ainsi, une campagne de plusieurs dizaines de forages avec un taux de réussite acceptable conduit à un coût unitaire du forage positif ( $> 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) de l'ordre de 4 MFcfa (40 000 FF).

La réalisation d'un forage seul peut coûter le double de ce prix, voire bien davantage dans le cas de zones isolées et difficiles d'accès. La profondeur influe relativement peu. En revanche, le diamètre du forage est également un facteur sensible. On parle ici en général de forages en 4" (100 mm).

#### *Le coût du génie civil (châteaux d'eau, réservoirs, canalisations, bornes-fontaines)*

Ces coûts sont très variables. Bien entendu, ils dépendent du volume des travaux : capacité de stockage demandée, taille du réseau de distribution. Ils dépendent aussi des solutions techniques retenues et du choix des opérateurs. Chaque site nécessite un devis spécifique. À défaut, nous avancerons l'ordre de grandeur de 15 MFcfa (150 000 FF), sachant que des coûts de 25 MFcfa sont possibles.

Une valeur moyenne provenant de différentes études situe l'ensemble « génie civil + forage » entre 15 et 25 MFcfa<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Nous nous plaçons après la dévaluation. Les coûts annoncés sont soit des données actuelles, soit des données estimées avant dévaluation et réactualisées.

<sup>2</sup> Nous avons ajouté 20 % à des moyennes datant d'avant la dévaluation.

#### *Le coût de la pompe solaire (générateur + pompe)*

Il existe de fortes différences entre les tarifs annoncés et les prix pratiqués selon les clients. Le PRS constitue une référence solide, mais chère. Dans ce projet, l'Union européenne a choisi de privilégier les critères de service et de fiabilité technique. Aussi les prix sont-ils élevés, le fournisseur incluant dans ses tarifs d'autres prestations de recherche ou de service après-vente. Les fournisseurs n'ayant pas répercuté directement l'effet de la dévaluation, ces prix « PRS » d'avant la dévaluation sont aujourd'hui équivalents à ceux du marché standard (après la dévaluation). Cf. tableau 2, page 18.

Du fait de la modularité du photovoltaïque, le coût du Watt crête installé est relativement constant (7 à 8 000 Fcfa/Wc), excepté pour les pompes P3 qui sont de petite taille et représentent de ce fait un surcoût (elles sont peu répandues).

Le coût du générateur seul est de l'ordre de 4 000 Fcfa par Wc installé.

#### *Le coût total d'une installation solaire*

C'est la somme des coûts précédents : forage + pompe solaire + ouvrages de stockage et de distribution de l'eau. Une valeur moyenne est représentée par une pompe P4 de type PRS (cf. tableau 3, page 18).

Le génie civil pour la distribution de l'eau domestique représente la moitié du coût d'une installation complète de pompage solaire ! Les modules photovoltaïques représentent 20 %. Dans une telle installation, la part du matériel directement importé est de 30 % du coût total (module 21 %, onduleur et hydraulique 7 %). Elle est plus importante si l'on prend en compte les matériaux importés déjà disponibles localement (ciment, fer, tubes PVC, etc.).

Cf. graphique 3, page 18.

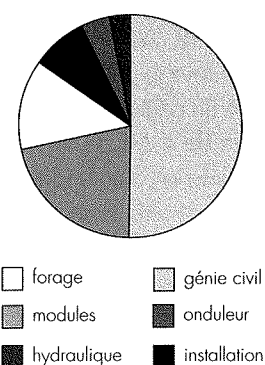
**Tableau 2**  
Coût des pompes solaires nues

Catégories PRS	Puissance	Prix avant dévaluation		Prix après dévaluation	
		CAF BKO	Installation	Total	Prix du Wc
	Wc	MFcfa	MFcfa	MFcfa	Fcfa/W
P3	720	4,0	1,7	7,4	10 310
P4	1 440	6,1	2,6	11,2	7 764
P5	2 520	10,2	3,3	17,5	6 938
P6	3 600	13,8	4,3	23,4	6 500

**Tableau 3**  
Coût complet d'une installation (exemple d'une pompe P4)

	Forage	Génie civil	Pompe solaire	Total
<b>Fcfa</b>	4 000 000	15 000 000	11 000 000	30 000 000
<b>FF</b>	40 000	150 000	110 000	300 000
<b>Fcfa/Wc</b>	2 778	10 417	7 639	20 834
<b>FF/Wc</b>	28	104	76	208

**Graphique 3**  
Répartition des coûts  
par postes (pompe P4)



Dans le tableau 4 ci-dessous sont indiqués quelques coûts constatés au Mali, depuis 1983.

Ces chiffres sont des valeurs réellement constatées avant la dévaluation. En « réactualisant » grossièrement ces coûts, on constate que le

prix du Watt crête est compris entre 100 et 200 FF/Wc, selon le volume des investissements de génie civil.

**Tableau 4**  
Coûts réels observés sur quelques installations au Mali avant la dévaluation

Projet/bailleur	Année installation	Coût total installé (avec génie civil)	Coût du Wc (avant dévaluation)		Remarques
		MFcfa	Fcfa/Wc	FF/Wc	
Douala / Pnud	83	21,0	17 675	177	
Koumi / FED	84	22,4	13 330	133	
Kamona / MAV	90	10,0	8 695	87	génie civil très réduit
Tienguenina / PMR FED	90	15,0	8 330	83	génie civil très réduit
Appel d'offres PMR FED	90	11,4	7 920	79	génie civil très réduit
Pompe P4 du PRS	93	19,6	13 610	136	génie civil important

## ● Le coût de l'entretien

L'évaluation rigoureuse d'un coût annuel d'entretien d'une installation de pompage solaire au Mali se heurte aux difficultés suivantes :

- ♦ Sur le territoire malien, coexistent des programmes et des structures d'intervention financés par différents bailleurs de fonds : les tarifs pratiqués sont largement subventionnés et ne reflètent pas les coûts réels de fonctionnement. Le secteur privé est appelé à prendre en charge, progressivement, l'ensemble de la maintenance, mais cette transition s'effectue actuellement par le biais du PRS dont les coûts de contrats de maintenance obligatoires sont liés à la vente de matériels. Aucun opérateur privé ne travaille actuellement dans les conditions d'un marché non protégé.

- ♦ Malgré son importance numérique, le parc de pompes solaires ne constitue pas, statistiquement parlant, un échantillon homogène suffisamment ancien pour établir avec certitude la durée de vie des composants et la fréquence moyenne des pannes. Le parc est en effet constitué de matériels dont les plus anciens ont plus de quinze ans, et qui appartiennent à différentes générations d'équipements dont la fiabilité n'est pas comparable. Cette disparité fausse la fréquence statistique des pannes même si globalement, du fait de l'impact du PRS, on s'achemine vers une certaine standardisation aux normes du PRS.

- ♦ Dans les contrats PRS, le coût d'entretien est difficile à distinguer du coût de renouvellement dans la mesure où la maintenance, dans le cadre de la garantie constructeur, prévoit le remplacement éventuel d'un certain nombre de pièces (onduleur et groupe électropompe) qui relèvent normalement de l'amortissement.

Pour se rapprocher des conditions réelles de maintenance et de prise en charge sur le terrain, on classera comme pièces d'usure « consommables », donc relevant de l'entretien, tous les éléments dont la durée de vie est inférieure à dix ans (onduleurs et groupes électropompes).

Malgré ces difficultés, une estimation du coût annuel d'entretien peut être avancée en combinant trois sources de données complémentaires :

- les dispositions prévues par le PRS ;
- l'expérience de la Cellule d'entretien des équipements solaires (CEES) ;
- les conditions et les tarifs proposés par le secteur privé.

## Les dispositions financières du PRS

Le PRS prévoit la signature d'un contrat d'entretien avec l'installateur de la pompe pour une durée de cinq ans, en contrepartie d'une garantie totale des installations et d'une obligation de dépannage dans un délai de deux à quatre jours suivant l'éloignement. Le montant de la prime annuelle du contrat est fixé en fonction du type de pompe :

### Montant des primes du contrat d'entretien (PRS)

P3	.....249 300 Fcfa
P4	.....258 900 Fcfa
P5	.....340 000 Fcfa
P6	.....360 000 Fcfa

Ces prix sont octroyés dans le cadre d'un système global comprenant l'achat des équipements d'une part et des provisions de renouvellement d'autre part, le tout au sein d'un marché important en volume, captif et relativement regroupé.

## La pratique de la CEES

La Cellule d'entretien des équipements solaires (CEES), rattachée à la DNHE, a assuré le suivi et la maintenance des premières pompes solaires installées au Mali, de 1986 à 1993. Structure administrative subventionnée, la CEES ne facturait que ses coûts directs d'intervention, à l'exclusion des charges fixes, en appliquant le barème suivant :

- déplacement : 100 Fcfa par kilomètre ;
- main-d'oeuvre : forfait de 15 000 Fcfa par journée de travail de l'équipe ;
- pièces détachées : prix coûtant (hors taxes).

## Les tarifs du secteur privé

La Somimad, attributaire du marché du PRS, applique le barème suivant (au 30/06/93) pour ses interventions sur le parc ancien (hors PRS) :

- déplacement : voiture : 220 Fcfa/km ; moto : 100 Fcfa/km ;
- main-d'oeuvre : forfait journalier : 37 500 Fcfa ;
- pièces de rechange : prix de revente TTC ;
- taxes : TVA (17 %) sur les frais de déplacement et sur les prestations.

La différence, par rapport à la CEES, s'explique par l'imputation de la totalité des charges, par la

marge bénéficiaire de l'entreprise et par les taxes légales. Le décret n° 94-199/P-RM du 05/06/94 suspend toutes les taxes sur les équipements solaires pour une durée de cinq ans, à l'exception de la CPS (5 %) et du PCS (1 %).

Cette exonération est provisoire. Nous n'avons toutefois pas tenu compte d'un rétablissement des taxes d'importation dans nos estimations de coût de la maintenance. Une décision de rétablir les taxes alourdirait considérablement le budget de maintenance des pompes solaires.

### Comparaison PRS/CEES/secteur privé

Sur les bases ci-dessus et compte tenu de la fréquence observée pour les principales pannes (cf. bibl. n° 2, page 57), le coût annuel d'entretien d'une pompe P4 se décompose comme indiqué dans le tableau 5 ci-dessous. Les coûts de la Somimad sont les plus élevés. Ceci est normal en comparaison de la CEES qui ne facture pas tous ses coûts. À première vue, le contrat en garantie totale du PRS est le système le moins cher. On compare toutefois des services qui ne sont pas vraiment comparables :

- le coût du contrat PRS est celui des cinq premières années. Il augmentera ensuite. Il faudrait donc

comparer les coûts de la Somimad avec une moyenne « PRS » sur une longue période ;

- le contrat PRS inclut la garantie constructeur et une subvention ; ces coûts sont financés lors de la vente des pompes au CILSS. Il n'inclut pas le renouvellement systématique de l'onduleur ni celui de la pompe, comme cela est calculé pour les autres types de contrats. En effet, il est demandé aux comités de gestion des pompes PRS de provisionner séparément pour financer le renouvellement de ces équipements au-delà de la période de cinq ans de garantie. Ce provisionnement fait doubler le coût annuel de la maintenance et ramène le contrat PRS au même prix que le coût annuel de la Somimad hors contrat ;

- le nombre de pannes est estimé à une panne tous les deux ans. Il est possible de rencontrer de meilleurs taux de bon fonctionnement lors des cinq premières années de vie des pompes solaires. Dans ce cas, le coût d'une maintenance hors contrat s'avérerait plus avantageux.

Le contrat PRS n'est donc pas avantageux. Il correspond à un niveau de prix similaire à celui de l'intervention au cas par cas, voire à un prix plus élevé. Dans le cas du PRS, les villages n'ont cependant pas le choix : le contrat est obligatoire !

**Tableau 5 : Coût annuel de la maintenance d'une pompe P4**

Interventions	Coût moyen annuel		
	PRS Fcfa	CEES Fcfa	Somimad Fcfa
<b>Amortissement de l'équipement « vie courte »</b>			
onduleur (taux 2 %)		182 032	220 645
pompe (taux 2 %)		84 364	112 485
<b>Petit matériel</b>		50 000	75 000
<b>Frais de déplacement</b>			
500 km x 0,5 intervention par an		25 000	55 000
<b>Main d'oeuvre</b>			
3 jours x 0,5 intervention par an		22 500	56 250
<b>Taxes</b>			
TVA (17 % sur MO et dépl.)			18 913
CPS (5 %) et PCS (1 %) sur matériel			24 488
<b>Contrat annuel forfaitaire</b>	258 900		
<b>Total</b>	<b>258 900</b>	<b>363 896</b>	<b>562 781</b>

*Incidence de la dévaluation du CFA sur le coût du matériel : 30 %.*

En résumé, le recoupement des données précédentes permet de retenir un ordre de grandeur et d'estimer le coût moyen annuel d'entretien d'une pompe à environ 550 000 Fcfa par an. Ce coût, établi pour une pompe de type P4 (1 440 Wc), varie assez peu en fonction de la puissance de la pompe. À noter que la localisation des sites a une incidence importante sur le coût. La distance retenue dans la tableau ci-dessus, de 500 km aller/retour, est tout à fait arbitraire.

### ● Le coût du renouvellement

Le renouvellement des éléments dont la durée de vie est inférieure à dix ans (onduleur et groupe électropompe) est assimilé à une charge de maintenance, et son coût a donc été incorporé dans le coût annuel d'entretien. Dans le cas des contrats PRS, ce renouvellement s'ajoute au contrat annuel de maintenance. Reste à provisionner le renouvellement du générateur,

du génie civil et du forage. Une large partie des experts et des hommes politiques considère que l'imputation de la totalité des coûts de l'eau excède les capacités financières de la population rurale. Il est souvent admis aujourd'hui que le coût des infrastructures incombe à la collectivité nationale. Une étude Unicef/OMS (cf. bibl. n° 3, page 57) montre d'ailleurs que les gouvernements subventionnent aujourd'hui davantage l'eau des villes que celle du milieu rural – tant pour les investissements que pour les charges de fonctionnement.

Il serait irréaliste de demander aux villages de prendre en charge, en totalité, le renouvellement des équipements. Ceux-ci sont simplement sollicités au cas par cas pour payer les panneaux volés, ce qui représente parfois des sommes importantes.

La charge de l'amortissement sera néanmoins calculée dans la mesure où elle devra bien être couverte, d'une manière ou d'une autre, que ce soit par le budget national, par les subventions de bailleurs de fonds, ou par les usagers eux-mêmes.

Calculer un renouvellement demande de considérer un taux d'actualisation de l'argent. Il ne s'agit pas de compenser l'inflation, car on suppose que tous les calculs sont faits en francs constants et qu'une fois les montants annuels arrêtés, ceux-ci seront augmentés chaque année afin de suivre l'inflation. Il s'agit de considérer une rémunération de l'argent. Deux cas sont possibles : soit l'argent vient d'une banque (ou d'un bailleur assimilé) qui en demande une rémunération standard (6 à 8 % sur le long terme), soit l'argent vient de dons ou du budget de l'État, et dans ce cas un taux faible est pratiqué (2 %) correspondant aux pratiques en matière d'investissements sociaux.

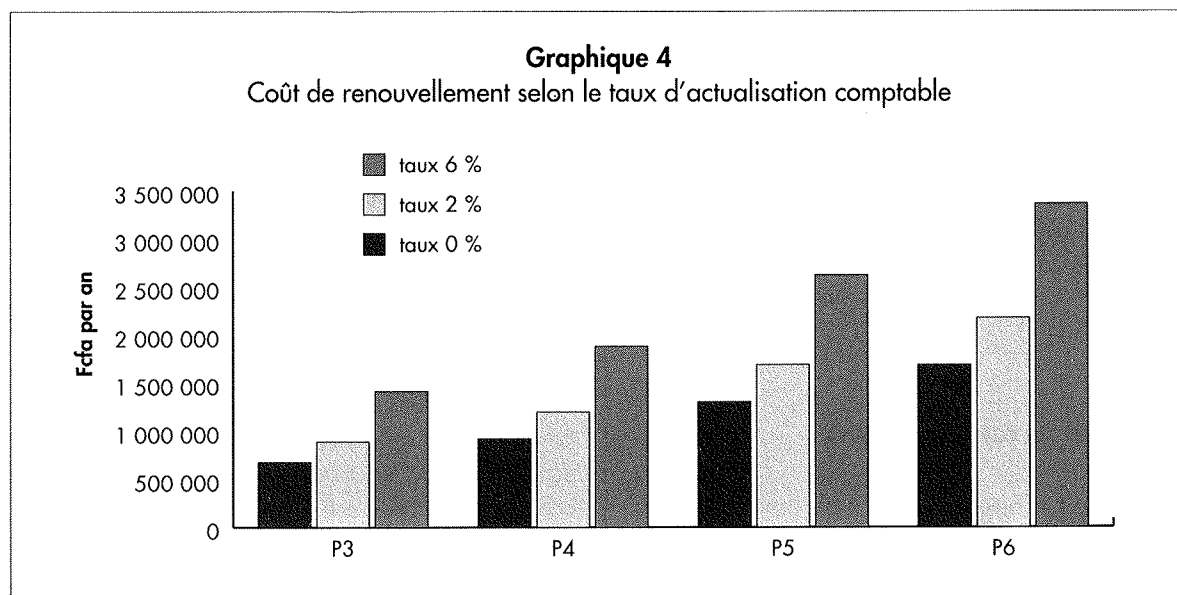
Les coûts de renouvellement des systèmes de pompage solaire sont indiqués dans le tableau 6 ci-contre et le graphique 4, page 22.

Pour une P4 (1 440 Wc), le coût de renouvellement est de l'ordre de 1 200 000 Fcfa par

**Tableau 6**  
Coût de renouvellement d'un système de pompage solaire

	Coût des infrastructures (de longue durée de vie)		
	Générateur PV	Génie civil	Forage
Type de pompe			
P3 / 720 Wc	2 880 000 Fcfa	12 000 000 Fcfa	4 000 000 Fcfa
P4 / 720 Wc	5 760 000 Fcfa	15 000 000 Fcfa	4 000 000 Fcfa
P5 / 720 Wc	10 080 000 Fcfa	20 000 000 Fcfa	4 000 000 Fcfa
P6 / 720 Wc	14 400 000 Fcfa	25 000 000 Fcfa	4 000 000 Fcfa
Durée de vie	20 ans	30 ans	30 ans
	Annuités de renouvellement		
	0 %	2 %	6 %
Taux actualisation			
Type de pompe			
P3	677 333 Fcfa	890 530 Fcfa	1 413 474 Fcfa
P4	921 333 Fcfa	1 200 611 Fcfa	1 882 512 Fcfa
P5	1 304 000 Fcfa	1 688 058 Fcfa	2 622 394 Fcfa
P6	1 686 667 Fcfa	2 175 504 Fcfa	3 362 276 Fcfa
Écart selon le taux d'actualisation	100	131	209





an (12 000 FF). Il équivaut à plus du double du coût de la maintenance.

#### **Le taux d'actualisation**

On constate une très grande différence des estimations selon le choix du taux de réactualisation. Un taux de 6 % au lieu de 0 % fait augmenter les annuités de 100 % ! On voit l'importance de ne pas emprunter sur les marchés privés pour investir en matière d'eau potable solaire.

Nous retiendrons dans la suite de ce texte un taux d'actualisation de 2 % qui se situe, selon nous, au plus proche de la réalité.

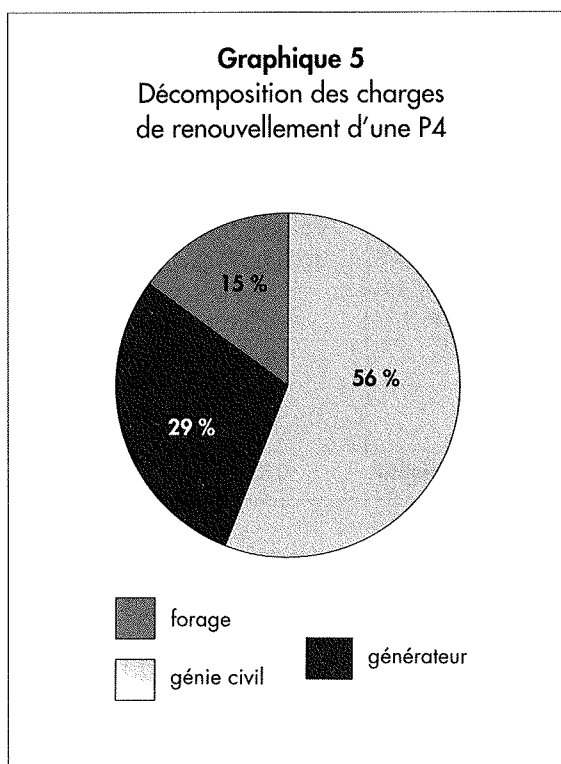
#### **L'État saura-t-il renouveler les stations de pompage solaire ?**

Comme nous l'avons déjà précisé, le coût du renouvellement des équipements doit être le plus souvent supporté par l'État ou par les bailleurs de fonds. Il est très important. Il faut donc bien savoir que le budget de l'État (ou l'aide extérieure) finance l'eau solaire. La question est de savoir si l'État aura la capacité d'assurer ces renouvellements.

Cette question reste en suspens. Elle n'est pas propre au solaire, car les systèmes d'adduction d'eau diesel posent la même question. Dans le cas du solaire, la structure de prix donne toutefois plus de poids au renouvellement des équipements, donc accentue davantage la charge qui revient à l'État. Par contre-coup, le solaire réduit la charge laissée aux popu-

lations. En conclusion, le solaire est une technologie qui, par rapport au diesel, transfère davantage de coûts à l'État, au bénéfice des populations ou des collectivités locales.

À titre d'exemple, voici la part propre aux panneaux solaires dans le renouvellement des installations :



## ● Le coût de la gestion

### Le gardiennage

Le gardiennage des pompes solaires s'impose en raison de l'accroissement constaté des vols de panneaux et des dégradations. Ce coût est estimé à 60 000 Fcfa par an.

### Les fontainiers

La distribution payante de l'eau au volume est génératrice de coûts de vente : il faut placer des fontainiers dont le travail est de vendre l'eau. C'est un moyen coûteux dont les petits villages peuvent se dispenser en collectant le coût de l'eau sous forme de taxes (par cotisations). La collecte de ces taxes est souvent bénévole. Si elle devait être rémunérée, son coût serait assez faible.

Dans les centres plus importants ou les petites villes, la collecte par taxe devient difficile. La vente de l'eau au volume est la règle avec un coût de gestion important. Ce coût est estimé à 120 000 Fcfa par an (pour deux bornes-fontaines). Il peut évidemment devenir beaucoup plus important.

### La gestion

La gestion générale du point d'eau est assurée gratuitement par les comités. Cette solution utilisée actuellement n'est peut-être que provisoire, car ce travail bénévole est de plus en plus difficilement bien tenu. La tendance est de conserver la gestion politique de l'eau aux comités, tout en sous-traitant la gestion technique et « commerciale » (collecte de l'argent). Dans ce cas, des coûts de gestion, supplémentaires au coût des fontainiers, seront à prendre en compte.

## Coût annuel d'une station de pompage solaire

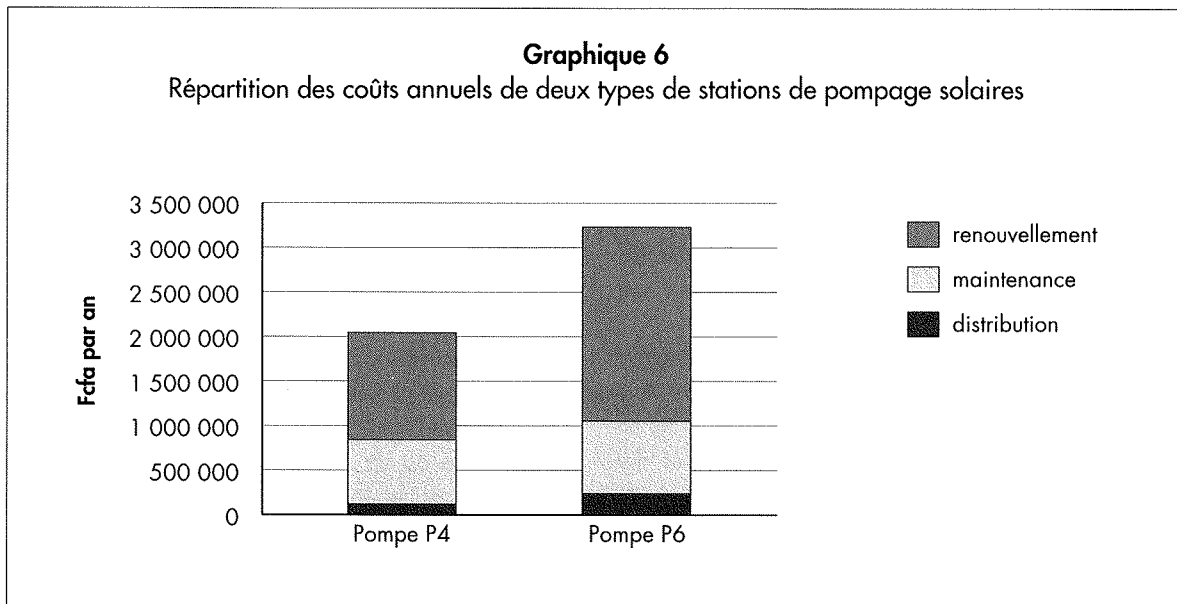
En réunissant les différents coûts détaillés ci-dessus, on peut évaluer le coût annuel d'une station de pompage solaire. Nous avons fait un calcul type pour deux tailles de pompe (P4 et P6) [cf. tableau 7 et graphique 6]. Une P4 coûte 2 millions de francs CFA par an

(20 000 FF) et une P6 coûte 3,2 millions (32 000 FF).

Les usagers qui ne payaient jusqu'à présent que les coûts de maintenance et de distribution contribuent pour 30 à 40 % de cette somme selon les cas. L'État est censé assurer la différence.

**Tableau 7**  
Coût annuel de stations de pompage solaire P4 et P6

APRÈS LES CINQ PREMIÈRES ANNÉES		
	Pompe P4 (1 440 Wc)	Pompe P6 (3 600 Wc)
<b>Charges supportées par l'État</b>		
Coûts de renouvellement (équipements durée de vie > 15 ans)	1 200 611	2 175 504
<b>Charges supportées par les collectivités</b>		
Équipements durée de vie < 7 ans	408 129	448 942
Prestations et déplacements	154 650	154 650
Gardiennage	60 000	60 000
Fontainiers	120 000	240 000
Frais d'entretien des aménagements	100 000	150 000
<b>Sous-total collectivités</b>	<b>842 780</b>	<b>1 053 593</b>
<b>TOTAL CHARGES ANNUELLES</b>	<b>2 043 391</b>	<b>3 229 097</b>
Part supportée par les collectivités	41 %	33 %



## Coût du m<sup>3</sup> d'eau solaire

### ● Paramètres à prendre en compte pour calculer le coût du m<sup>3</sup>

On ne peut parler d'un coût de revient du m<sup>3</sup> sans préciser :

- sur le plan technique, les paramètres propres à chaque site et en particulier la profondeur de pompage, le coût du m<sup>3</sup> produit étant, par exemple, quasiment proportionnel à la hauteur manométrique totale (HMT) ;

- sur le plan économique, il est nécessaire de distinguer le m<sup>3</sup> produit, le m<sup>3</sup> utilisé et le m<sup>3</sup> payé.

#### *La profondeur et l'ensoleillement déterminent le coût du m<sup>3</sup>*

Les données techniques des sites vont nous permettre de déterminer le « productible journalier », c'est-à-dire la quantité d'eau pompée chaque jour, sans arrêt de la pompe solaire. Il faut prendre en compte les caractéristiques :

- du forage : niveaux statique et dynamique, débit du forage ;

- du site : conditions locales d'ensoleillement moyennes et leurs variations saisonnières.

Les données statistiques sur les forages au Mali font apparaître les caractéristiques moyennes suivantes :

Profondeur du forage	Niveau statique	Niveau dynamique	Débit du forage
65 m	15 m	25 m	6,5 m <sup>3</sup> /h

Dans la région de Ségou, où les pompes solaires sont les plus nombreuses, les essais de pompage sur 843 forages établissent un niveau dynamique moyen de 24,85 m, d'où une hauteur manométrique totale (HMT) d'au moins 30 m.

Une majorité d'études repose sur des productibles correspondant à une HMT de 20 m et ne représente donc pas le cas le plus général au Mali. C'est pourquoi, dans nos calculs, nous adopterons comme valeur moyenne une HMT de 30 m.

Au Mali, nous considérons une irradiation moyenne de 6 kWh/m<sup>2</sup>/jour et une durée moyenne de fonctionnement de huit heures par jour. À noter qu'un encrassement des panneaux par la poussière ou le sable réduit la puissance produite. Sous les tropiques, les panneaux sont peu inclinés. Un nettoyage régulier des panneaux (une fois par semaine) est donc nécessaire.

Ces caractéristiques de base étant fixées, voici dans le tableau 8 ci-dessous une estimation des productions journalières des pompes solaires.

***L'eau produite n'est pas toute utilisée, et encore moins vendue !***

L'eau produite n'est jamais utilisée dans sa totalité. Il est très difficile d'ajuster le volume de consommation au volume de production ! Et ce, tout au long de l'année ! Une pompe solaire a un débit à peu près fixe, tandis que la demande en eau est variable. Plusieurs explications peuvent être données à ce phénomène :

- la pompe solaire n'est jamais exactement dimensionnée pour les besoins. Afin de couvrir toute la demande de manière certaine, elle est en général surdimensionnée ;
- les consommations varient selon les saisons. Il existe toujours des saisons où les besoins sont plus faibles. Les hommes et les animaux consomment davantage en saison sèche, la population migre selon les saisons, l'irrigation ne se fait que six mois par an, etc. ;
- des gaspillages ont toujours lieu : fuites dans les installations (ce sont les « pertes techniques »), gaspillages aux points de distribution de l'eau.

Ainsi, une partie de l'eau produite n'est pas utilisée. La pompe solaire est en général équipée de capteurs qui arrêtent le fonctionnement de la pompe quand le réservoir est plein.

Quelle est la part d'eau non utilisée ? Les données manquent. Par ailleurs, les situations sont très variables, certains villages parvenant à des taux de consommation beaucoup plus élevés que d'autres.

Concernant la vente de l'eau, là aussi il faut considérer que toute l'eau consommée ne sera pas

**RAPPEL**

**Niveau statique** : niveau de l'eau au repos dans le forage, par exemple après une nuit entière sans pompage.

**Niveau dynamique** : niveau de l'eau durant le pompage. Quand on pompe, le niveau baisse car le réapprovisionnement du forage n'est pas aussi important que le débit de pompage.

**Débit du forage** : débit maximum que l'on peut appliquer à un forage sans risquer de le détériorer.

**Hauteur géométrique** : différence d'altitude entre le niveau de l'eau dans le forage et le niveau de sortie de l'eau pompée.

**HMT (hauteur manométrique totale)** : hauteur géométrique lors du pompage (c'est-à-dire en considérant le niveau dynamique de l'eau dans le forage) à laquelle on ajoute les pertes de charges (les frottements) dans la tuyauterie ; ces derniers sont souvent de l'ordre de 10 %.

totale payée par les usagers. Les taux de recouvrement sont très variables suivant les villages, les saisons et les usages. Les administrations se placent souvent en dehors des règles et consomment sans payer. Il existe aussi, comme partout, des mauvais payeurs chroniques. Durant les années difficiles où la récolte est mauvaise en milieu rural, les agriculteurs ne peuvent payer l'eau. D'où la nécessité de prendre en compte un taux probable d'impayés et de prévoir une provision pour créances irrécouvrables. Ceci renchérit d'autant le coût de revient du m<sup>3</sup> effectivement payé.

Dans la pratique, on constate des taux de recouvrement ne dépassant pas 50 % : on ne vend que la moitié de l'eau réellement utilisée ! Dans ce cas, le prix de vente doit être doublé afin de couvrir les charges.

**Tableau 8**  
Quantités d'eau pompées par les pompes solaires

Catégorie de la pompe	Puissance du générateur	HMT = 20 mètres		HMT = 30 mètres	
		Productible journalier	Productible annuel	Productible journalier	Productible annuel
	Wc	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
P4	1 440	42	15 330	28	10 220
P5	2 520	75	27 375	50	18 250
P6	3 600	104	37 778	69	25 185

Nous proposons de considérer les taux moyens suivants (tableau 9 ci-contre) :

Le calcul du prix de revient de l'eau doit tenir compte de ces taux.

Il est nécessaire, dans un calcul économique, de faire une distinction entre :

- le coût du m<sup>3</sup> produit ;
- le coût du m<sup>3</sup> utilisé ;
- le coût du m<sup>3</sup> payé.

### **Le prix de vente est supérieur au prix de revient**

N'oublions pas *in fine* que toutes les données présentées ici concernent le coût de l'eau. Le prix de vente du m<sup>3</sup> d'eau devra être supérieur afin de prévoir les aléas qui ne manqueront pas de survenir, et de dégager éventuellement un bénéfice.

### ● Le coût du m<sup>3</sup>

Voici quelques ordres de grandeur, sachant qu'il ne peut s'agir que d'une estimation très grossière,

**Tableau 9**  
Taux d'utilisation et de paiement de l'eau

Usage de l'eau	Taux d'utilisation	Taux de paiement
Domestique	70 à 90 %	50 à 80 %
Pastoral	50 à 100 %	80 à 90 %
Irrigation	50 à 60 %	80 à 100 %

tant le nombre de paramètres peut changer d'une situation à l'autre. La profondeur est ici de 30 mètres, proche de ce que l'on constate fréquemment ; le coût des investissements inclut le forage et le château d'eau, chaque cas étant évidemment particulier. Le taux d'actualisation est ici de 2 %.

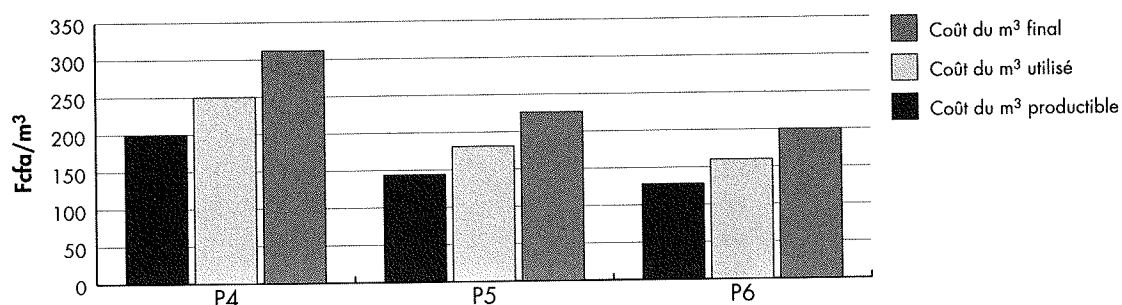
Après lecture du tableau 10 (ci-dessous) et du graphique 7 (page suivante), on constate que le coût du m<sup>3</sup> d'eau est de l'ordre de 200 à 300 Fcfa par m<sup>3</sup> pour une pompe P4 de 1,4 kW. Plus la pompe est grosse, plus le coût du m<sup>3</sup> se réduit. Pour une grosse pompe P6, le coût du m<sup>3</sup> est de 125 à 200 Fcfa par m<sup>3</sup>.

**Tableau 10**  
Le coût de revient du m<sup>3</sup> d'eau solaire

		P4	P5	P6
<b>Puissance</b>	Wc	1 440	2 520	3 600
<b>Productible annuel (HMT = 30 m)</b>	m <sup>3</sup> /an	10 220	18 250	25 185
<b>Taux d'utilisation</b>	%	80 %	80 %	80 %
<b>Taux de paiement</b>	%	80 %	80 %	80 %
<b>Volume d'eau réellement utilisé</b>	m <sup>3</sup> /an	8 176	14 600	20 148
<b>Volume d'eau payé</b>	m <sup>3</sup> /an	6 541	11 680	16 118
		P4	P5	P6
<b>Coût annuel de production</b>	Fcfa/an	2 043 391	2 636 244	3 229 097
<b>Coût du m<sup>3</sup> productible</b>	Fcfa/an	200	144	128
<b>Coût du m<sup>3</sup> utilisé</b>	Fcfa/m <sup>3</sup>	250	181	160
<b>Coût du m<sup>3</sup> final</b>	Fcfa/m <sup>3</sup>	312	226	200

Hypothèse : taux d'actualisation = 2 %

**Graphique 7**  
Coûts du m<sup>3</sup> d'eau solaire par type de coûts et par type de pompes



### ● La décomposition du prix du m<sup>3</sup> d'eau

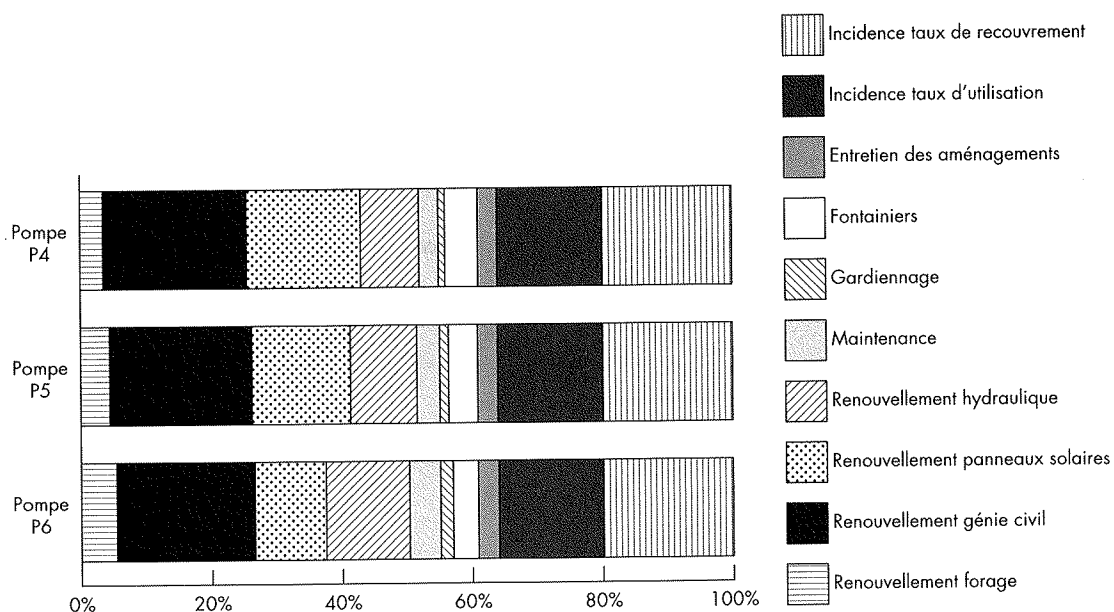
L'ensemble des données sont reprises dans le graphique 8 ci-dessous qui montre la part de chacun des postes de dépenses dans l'établissement du prix de l'eau (cf. tableau 11).

– Les provisions pour renouvellement représentent

une très grosse part du coût. Le coût du génie civil est aussi très important : de 44 à 66 Fcfa le m<sup>3</sup>, soit 20 %. L'amortissement des panneaux solaires est d'un coût fixe : 35 Fcfa le m<sup>3</sup>, représentant 10 à 20 % du coût selon la taille de la pompe.

– La maintenance ne représente qu'une petite part : 5 %.

**Graphique 8**  
Décomposition du coût du m<sup>3</sup> d'eau solaire



**Tableau 11**  
Décomposition du coût du m<sup>3</sup>

		Pompe P6	Pompe P5	Pompe P4
Renouvellement forage	Fcfa/m <sup>3</sup>	7	10	17
Renouvellement génie civil	Fcfa/m <sup>3</sup>	44	49	66
Renouvellement panneaux solaires	Fcfa/m <sup>3</sup>	35	34	34
Renouvellement hydraulique	Fcfa/m <sup>3</sup>	18	23	40
Maintenance	Fcfa/m <sup>3</sup>	6	8	15
Gardiennage	Fcfa/m <sup>3</sup>	2	3	6
Fontainiers	Fcfa/m <sup>3</sup>	10	10	12
Entretien des aménagements	Fcfa/m <sup>3</sup>	6	7	10
Incidence taux d'utilisation	Fcfa/m <sup>3</sup>	32	36	50
Incidence taux de recouvrement	Fcfa/m <sup>3</sup>	40	45	62
<b>Coût total</b>	<b>Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>200</b>	<b>225</b>	<b>312</b>

### ● Quelle part supportent les usagers, quelle part supporte l'État ?

Nous opposons les charges supportées par l'État à celles qui sont réclamées aux populations. Quand on parle de populations, il s'agit le plus souvent des usagers qui cotisent régulièrement pour financer la maintenance et le petit renouvellement, ou qui achètent l'eau au seau ou à la bassine. Nous avons aussi utilisé le vocable de « collectivités » pour désigner ces usagers qui sont organisés en général sous la forme de comités de points d'eau, forme basique de collectivité locale. Ce terme ne désigne pas les « com-

munes » actuelles ou en création, qui ne sont généralement pas encore concernées par la vente de l'eau.

Il est fait l'hypothèse que les coûts qui ne sont pas réclamés aux populations sont supportés par l'État (amortissement des panneaux solaires et des gros investissements).

Les usagers supportent moins de la moitié du coût de l'eau : 30 à 40 % du coût de l'eau sont à leur charge, le reste représente des coûts d'amortissement à long terme qui sont pris en charge par l'État.

Cf. le tableau 12 ci-dessous et le graphique 9 page suivante.

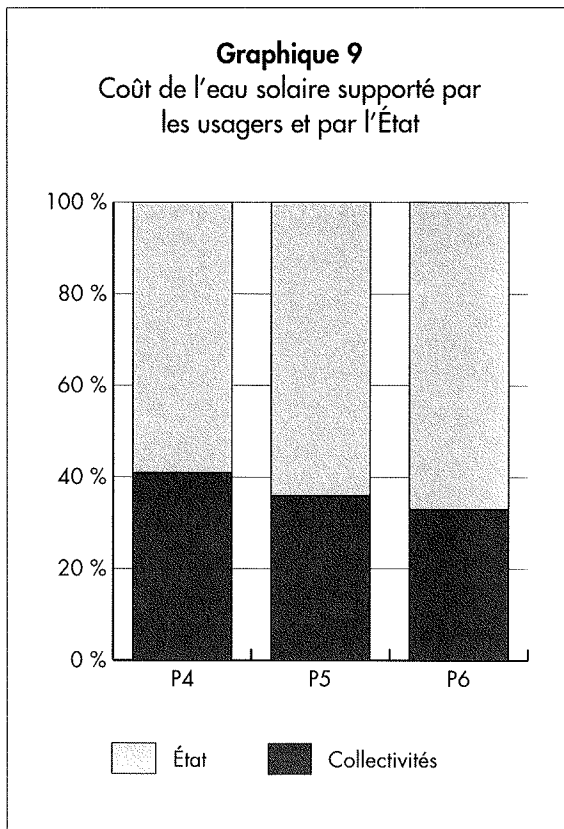
Les chiffres précédents ont été calculés pour un

taux d'actualisation de la monnaie de 2 %, c'est-à-dire dans le cas de prêts à taux bonifiés. Lorsque l'État emprunte à des taux plus élevés, c'est-à-dire à des taux ordinaires du marché financier, le coût de l'eau augmente.

C'est essentiellement la part de l'État qui est en hausse. En effet, ce sont les annuités de remboursement des matériels à forte durée de vie qui augmentent considérablement.

**Tableau 12**  
Coût de l'eau solaire supporté par les usagers et l'État

		P4	P5	P6
Part supportée par l'État	Fcfa/m <sup>3</sup>	184	145	135
Part supportée par les collectivités	Fcfa/m <sup>3</sup>	129	81	65
<b>Total</b>	<b>Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>313</b>	<b>226</b>	<b>200</b>
	État	59 %	64 %	67 %
	Collectivités	41 %	36 %	33 %

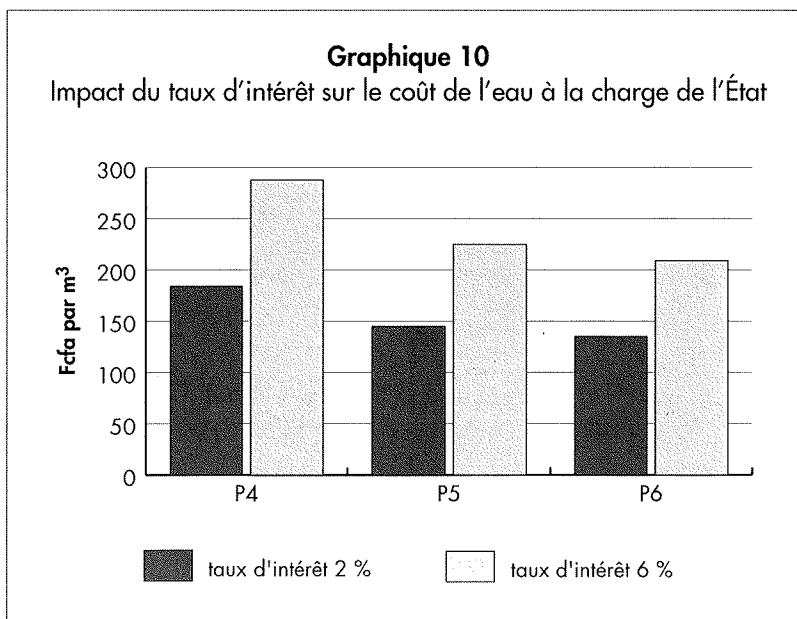


Le graphique ci-dessous (graphique 10) montre l'impact des taux d'actualisation sur le coût de l'eau à la charge de l'État. Dans le cas d'une P4, chaque m<sup>3</sup> coûte à l'État 170 Fcfa pour un taux d'actualisation de 2 %, et 260 Fcfa quand ce taux passe à 6 %. L'augmentation est de 60 % !

La question de savoir si l'État pourra renouveler les installations solaires prend donc d'autant plus d'importance que le taux d'intérêt des investissements est élevé !

En ce qui concerne la part des collectivités, celle-ci correspond surtout aux coûts de maintenance. Elle est peu affectée par la variation du taux d'actualisation de la monnaie.

On constate que pour chaque pompe solaire, l'État devrait provisionner une somme de 1 à 2 millions de Fcfa par an, selon la taille de la pompe (2 à 3 millions si l'argent est emprunté à 6 %). Pour un parc de 400 pompes solaires, le Mali devrait donc provisionner 600 millions par an. L'ensemble de ce parc ayant été réalisé en 15 ans, le renouvellement équivaut à investir une somme de 12 milliards de Fcfa en une vingtaine d'années, soit 600 millions de Fcfa par an si les renouvellements sont bien répartis.







# Rentabilité des pompes solaires selon les usages

## Usage domestique

### ● Les besoins domestiques

Les données disponibles concernant les consommations réelles sont très imprécises et connaissent de grandes variations suivant ce que l'on inclut dans l'usage domestique : boisson, cuisine, lavage, abreuvement du bétail de case, artisanat et fabrication du banco, etc.

#### Les normes

Les normes standard, d'après le *Guide de l'énergie* (cf. bibl. n° 9, page 57) et le *Manuel du gestionnaire de projets ENR-URE* (cf. bibl. n° 6) sont :

Norme minimale de survie	.....5 l/jour/habitant
Norme « objectif » des agences d'aide	.....20 l/jour/habitant
Norme de « décollage » économique	.....20 l/jour/habitant

Pour l'Unicef (cf. bibl. n° 10), les besoins en eau sont évalués à 40 litres par jour et par personne, dont :

- 20 l pour les besoins humains ;
- 20 l pour le cheptel domestique.

Ces normes constituent davantage des valeurs d'objectif de développement que des valeurs réelles de consommation. Dans la réalité, les niveaux de consommation sont beaucoup plus bas. Voici quelques

données d'expériences collectées sur le terrain au fil de différentes études :

#### Les résultats d'études et d'enquêtes

♦ Étude Burgeap (cf. bibl. n° 11) : la consommation moyenne s'établit à 18 l/jour/personne.

♦ Étude CIEH (cf. bibl. n° 14) : la moyenne de résultats d'enquêtes sur trois pays (Burkina Faso, Niger, Tchad) s'établit à 15 l/jour/habitant qui se répartissent de la manière suivante :

- consommation humaine .....58 %
- abreuvement des animaux .....23 %
- travaux ménagers .....19 %

♦ Étude PSE/GTZ : Consommations et besoins d'eau et d'énergie en milieu rural malien – le cas de Yangasso (cf. bibl. n° 15) : 19 litres/jour/personne.

En l'espace de dix ans, les estimations de la consommation villageoise ont été constamment révisées à la baisse pour se situer désormais entre 10 à 15 litres par personne et par jour, comme le confirme une enquête récente menée par Hydroconseil dans 27 villages du cercle de Yélimané (cf. bibl. n° 7). Dans les centres urbains, les consommations sont plus fortes que dans les zones rurales à cause d'une meilleure desserte, mais également de comportements nouveaux vis-à-vis de la consommation d'eau. Lorsque l'eau est payante et chère, la consommation peut bais-

ser fortement. Il a été constaté des niveaux de consommation de 5 à 10 l/j/personne dans certains cas. Des consommations de 5 l/j/personne signifient que la population utilise d'autres sources d'eau pour certains usages (lessive, bain, banco).

Dans les prévisions d'investissement, on évite désormais de surdimensionner les pompes et les réservoirs en appliquant des normes qui ne correspondraient pas à la pratique. Les niveaux moyens de consommation peuvent être évalués à :

Rural . . . . . 10 à 15 l/jour/personne  
Centres ruraux . . . . . 10 à 20 l/jour/personne  
Villes . . . . . 40 à 80 l/jour/personne

En milieu rural, trois facteurs peuvent réduire les volumes de consommations ci-dessus :

- la présence de puits traditionnels (où l'eau est gratuite) ;
- le prix de vente de l'eau ;
- la distance entre la borne-fontaine et les usagers potentiels.

### ● La couverture des besoins domestiques

Voici les ordres de grandeur de dimensionnement des pompes solaires pour les besoins domestiques (cf. tableau 13). Dans ce tableau, nous avons considéré une consommation de 15 l/j/personne et un taux d'utilisation de l'eau de 80 %. Une pompe

P4 peut donc alimenter, à 30 de HMT, une population de 1 500 personnes. Lorsque la profondeur de l'eau est plus faible, les performances augmentent pour aller jusqu'à 2 000 ou 2 500 personnes pouvant être alimentées par une pompe P4.

### ● Seuils de rentabilité

Rappelons que des pompes solaires de même type présentent des coûts de revient différents selon le contexte : profondeur de pompage, taux d'utilisation, taux de recouvrement de l'eau facturée, etc. Aussi, il est normal et nécessaire que les prix de l'eau s'adaptent à chaque cas. On ne peut parler d'un tarif national unique car il n'existe pas, à ce jour, de système national de péréquation. Rappelons également qu'une part importante des coûts est reportée à plus tard. Il s'agit des coûts de renouvellement à la charge de l'État qui ne sont pas perçus aujourd'hui.

Ces précautions étant prises, voici quelques ordres de grandeur (cf. tableau 14, page 33).

Chaque mois, la collectivité (les usagers) doit récolter, selon les types de pompes, entre 70 000 et 90 000 Fcfa. Cela équivaut à une cotisation mensuelle de 500 Fcfa par famille pour une pompe P4 quand l'eau est bien vendue (à 80 %). La rentabilité s'établit à des coûts unitaires plus bas dans le cas de pompes plus grosses. Une cotisation de 250 Fcfa par famille par

mois est suffisante pour une communauté groupée autour d'une pompe P6. Rappelons que ces coûts ne concernent que la part supportée par les usagers. Les gros amortissements, à la charge de l'État, sont exclus de ces montants.

La notion de « rentabilité » peut sembler déplacée s'agissant d'un service à caractère social qui n'est pas voué, en principe, à dégager des bénéfices. Néanmoins, le prix plancher de la vente de l'eau doit permettre de couvrir les coûts de production. Sans cela, la maintenance ne pourra être effectuée et la pompe s'arrêtera à la première panne. Les coûts annoncés ci-dessus cor-

**Tableau 13**  
Taille et performance des pompes solaires à usage domestique

	Puissance	Productible	Productible utilisé	Population alimentée
	Wc	m <sup>3</sup> /j	m <sup>3</sup> /j	habitants
<b>Pompe P4</b>	1 440			
HMT 20 m		42	34	2 240
HMT 30 m		28	22	1 493
<b>Pompe P5</b>	2 520			
HMT 20 m		75	60	4 000
HMT 30 m		50	40	2 667
<b>Pompe P6</b>	3 600			
HMT 20 m		104	83	5 520
HMT 30 m		69	55	3 680

Taux d'utilisation = 80 %

**Tableau 14 : Prix de vente de l'eau pour couvrir les charges supportées par les usagers**

	Population desservie	Montants à collecter	Coût du m <sup>3</sup>	Coût par famille
	habitants	Fcfa/mois	Fcfa/m <sup>3</sup>	Fcfa/famille/mois
<b>Pompe P4</b> (1 440 Wc)	1 500	70 232	129	468
<b>Pompe P6</b> (3 600 Wc)	3 700	87 799	65	237

respondent donc davantage à un seuil de viabilité économique qu'à un seuil de rentabilité (qui laisse supposer la réalisation de bénéfices). Il est cependant conseillé de réaliser des bénéfices si cela est

possible, ceux-ci alimentant un fonds de développement du village. Dans ce cas, la vente de l'eau joue un rôle de collecteur fiscal au service du développement.

## Abreuvement du bétail

### ● Les besoins du bétail

Les données concernant les consommations d'eau du bétail sont insuffisantes, mais il semblerait que les chiffres généralement retenus jusqu'à présent soient sensiblement surévalués : 40 l/jour/bovin ou 1 m<sup>3</sup>/mois et 100 m<sup>3</sup>/mois pour un troupeau de 100 têtes.

D'après une étude sur les besoins en eau du bétail (cf. bibl. n° 16 page 57), les besoins quotidiens en eau de boisson d'un zébu de 350 kg sont estimés en moyenne à 16,4 litres, à rapprocher d'un niveau maximum théorique de 56 l et d'un niveau habituellement préconisé de 25 l. La même étude évalue à 28 litres la consommation d'une vache zébu abreuvée tous les jours.

Selon des données complémentaires des services de l'élevage, les besoins, qui varient suivant les circonstances et notamment suivant la périodicité de l'abreuvement, seraient plutôt de l'ordre de 40 litres tous les 2 jours, soit une moyenne de 20 l/jour/bovin.

**Moyenne : 20 litres par jour par bovin**

Un troupeau de bovins ne compte en moyenne que 50 % d'adultes, d'où la nécessité de pondérer les consommations par un coefficient correspondant à l'Unité de bétail tropical (UBT) : un troupeau de 100 têtes équivaut à 70 UBT. **Moyenne : 1 400 litres par jour pour un troupeau de 100 bovins**

### ● La couverture des besoins du bétail

Dans le tableau 15 de la page suivante est indiqué le nombre de troupeaux que peut alimenter une pompe solaire.

Nous nous plaçons dans le cas d'une pompe solaire dédiée exclusivement au cheptel, ce qui est, à dire vrai, rarement le cas. Ces chiffres sont à prendre comme des maxima. Lorsque le nombre d'animaux est important, il est en effet nécessaire de très bien gérer la distribution de l'eau afin de ne pas en perdre par gaspillage. Les réservoirs de stockage doivent être suffisants. Malgré tout, le taux de consommation de 80 % peut difficilement être dépassé.

### ● Seuil de rentabilité

Cf. tableau 16, page suivante.

Pour viabiliser la maintenance d'une P4, installée à 30 m de profondeur, il convient de vendre l'eau 2,70 Fcfa par tête de bétail et par jour, soit 5 500 Fcfa par troupeau par mois. À 20 mètres de profondeur, le nombre d'animaux augmente et le prix par tête et par jour passe à 1,70 Fcfa.

Ces ordres de grandeurs dépendent fortement du pourcentage d'eau vendue. Cette proportion est à examiner sur l'ensemble de l'année. La plupart du

**Tableau 15**  
Taille et performance de pompes solaires pour le bétail

	Puissance	Productible	Productible utilisé	Troupeaux alimentés	
	Wc	m <sup>3</sup> /j	m <sup>3</sup> /j	nombre troupeaux	têtes
<b>Pompe P4</b>	1 440				
HMT 20 m		42	34	24	1 680
HMT 30 m		28	22	16	1 120
<b>Pompe P5</b>	2 520				
HMT 20 m		75	60	43	3 000
HMT 30 m		50	40	29	2 000
<b>Pompe P6</b>	3 600				
HMT 20 m		104	83	59	4 140
HMT 30 m		69	55	39	2 760

Taux d'utilisation = 80 %. 1 troupeau = 100 têtes = 70 UBT.

**Tableau 16**  
Prix de vente de l'eau destinée au bétail pour couvrir les charges supportées par la collectivité

	Animaux abreuvés	Montants à collecter	Coût du m <sup>3</sup>	Coût par tête	Coût par troupeau
	animaux	Fcfa/mois	Fcfa/m <sup>3</sup>	Fcfa/tête/jour	Fcfa/troup./mois
<b>Pompe P4</b> (1 440 Wc)	1 100	70 232	129	2,7	5 487
<b>Pompe P6</b> (3 600 Wc)	2 800	87 799	65	1,3	2 783

8 = nombre de personnes par famille. HMT = 30 mètres. Taux d'utilisation = 80 %. Taux de paiement = 80 %

temps, l'eau pour l'abreuvement du bétail n'est vendue que saisonnièrement, pendant les quatre à six mois de la saison sèche. Si le reste du temps l'eau

n'est pas vendue pour d'autres usages, le taux de recouvrement annuel devient alors très bas (40 %) et les tarifs doivent être ajustés en conséquence.

## Irrigation

### ● Les besoins d'irrigation

Connaître avec précision la consommation d'eau d'une culture irriguée nécessite de bien connaître d'une part le climat (le degré d'évaporation dépend de la saison), et d'autre part les sols qui, quand ils

sont sableux, laissent percoler de grandes quantités d'eau à partir des canaux ou des parcelles. Les systèmes d'irrigation utilisés sont, de ce point de vue, plus ou moins performants, le système le plus coûteux en eau étant la distribution gravitaire par canaux, l'irrigation localisée (goutte à goutte, arroseurs)

étant d'un bien meilleur rendement. Voici des ordres de grandeur :

D'après une étude CIEH/Engref (cf. bibl. n° 18, page 57), les besoins en eau pour des cultures maraîchères en zone soudano-sahélienne s'établissent comme indiqué dans le tableau 17 ci-contre.

Une étude DNHE/Burgeap (cf. bibl. n° 8) compte 1,5 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup> pour une campagne d'oignons suivie d'un cycle de tomates, soit 15 000 m<sup>3</sup>/hectare pour une année. D'après une estimation de la Fondem (cf. bibl. n° 19), les besoins en eau d'irrigation de deux périmètres associant des cultures de maraîchage, de bananes et de riz, seraient de 21 100 m<sup>3</sup>/ha/an pour le premier et de 16 000 m<sup>3</sup>/ha/an pour le second.

Les besoins du maraîchage sont en moyenne de 60 à 90 m<sup>3</sup> par hectare et par jour<sup>3</sup>.

### ● La couverture des besoins d'irrigation

La valorisation du productible est faible. Deux phénomènes s'additionnent :

– une campagne d'irrigation représente cinq mois par an. Pour deux cycles de culture par an, la pé-

**Tableau 17**  
Besoins en eau des cultures maraîchères

	Besoin en eau pour un cycle de culture	Durée du cycle	Besoin quotidien moyen
	m <sup>3</sup> /ha	jours	m <sup>3</sup> /jour/ha
<b>Haricots verts</b>	8 000	75	107
<b>Pommes de terre</b>	6 700	80	84
<b>Choux</b>	11 000	90	122
<b>Tomates</b>	12 500	120	104
<b>Oignons</b>	10 600	140	76
<b>Riz</b>	15 000	120	125

riode d'irrigation peut être portée à 300 jours. On perd au moins 20 % de l'année correspondant à 65 jours sans culture ;

– lors d'une campagne, les besoins des plantes varient fortement selon le stade végétatif de la plante. Les besoins de pointe se situent généralement à la floraison et à la fructification, tandis que la plante consomme beaucoup moins d'eau quand elle est plantule ou lors de la maturation finale. Ainsi, même pendant la période d'irrigation, le productible ne peut être totalement utilisé.

Sauf à valoriser l'eau pendant les périodes creuses, il est difficile de valoriser plus de 60 % de l'eau pompée par un système de pompage solaire dédié à l'irrigation. Une bonne méthode consiste à utiliser, comme le fait la Fondem, une motopompe d'appoint qui permet d'assurer les débits de pointe et de dimensionner la pompe solaire sur le besoin moyen des plantes.

Hors système d'appoint, la pompe solaire sera à dimensionner sur les besoins de pointe, c'est-à-dire sur des débits de l'ordre de 90 m<sup>3</sup>/ha/jour (150 m<sup>3</sup>/ha/jour pour le riz). En cas de système de pompage complémentaire, le dimensionnement peut se faire sur 80 m<sup>3</sup>/ha/jour, avec un meilleur taux d'utilisation annuel.

Les surfaces irrigables par le solaire sont indiquées dans le tableau 18 ci-contre.

**Tableau 18**  
Surfaces irrigables en solaire

	Puissance	Surface irrigable		
		Productible	Maraîchage	Riz
	Wc	m <sup>3</sup> /j	ha	ha
<b>Pompe P4</b>	1 440			
HMT 10 m		56	0,6	0,4
HMT 20 m		42	0,5	0,3
HMT 30 m		28	0,3	0,2
<b>Pompe P5</b>	2 520			
HMT 10 m		100	1,1	0,7
HMT 20 m		75	0,8	0,5
HMT 30 m		50	0,6	0,3
<b>Pompe P6</b>	3 600			
HMT 10 m		138	1,5	0,9
HMT 20 m		104	1,2	0,7
HMT 30 m		69	0,8	0,5

Débit de pointe Maraîchage : 90 m<sup>3</sup>/ha. Riz : 150 m<sup>3</sup>/ha.

<sup>3</sup> 1 litre par m<sup>2</sup> = 10 m<sup>3</sup> par hectare = 1 mm d'eau.

Tableau 19  
Charges annuelles dues à l'eau solaire pour une culture maraîchère

a) Charges de maintenance du système de pompage solaire

	Sur forage : HMT 20 m avec réservoir de stockage				Sur fleuve : HMT 10 m avec peu de génie civil			
	Coût annuel entretien	Surface cultivée	Coût par ha	Coût par m³ utilisé	Coût annuel entretien	Surface cultivée	Coût par ha	Coût par m³ utilisé
	Fcfa	ha	Fcfa/ha/an	Fcfa/m³	Fcfa	ha	Fcfa/ha/an	Fcfa/m³
Pompe P4 (1 440 Wc)	842 780	0,5	1 805 956	95	842 780	0,6	1 354 467	71
Pompe P6 (3 600 Wc)	1 053 593	1,2	916 168	48	1 053 593	1,5	687 126	36

b) Charges de renouvellement du système de pompage solaire

	Sur forage : HMT 20 m avec réservoir de stockage				Sur fleuve : HMT 10 m avec peu de génie civil			
	Coût annuel renouvellement	Surface cultivée	Coût par ha	Coût par m³ utilisé	Coût annuel renouvellement	Surface cultivée	Coût par ha	Coût par m³ utilisé
	Fcfa	ha	Fcfa/ha/an	Fcfa/m³	Fcfa	ha	Fcfa/ha/an	Fcfa/m³
Pompe P4 (1 440 Wc)	1 200 611	0,5	2 572 738	135	1 200 611	0,6	1 929 554	102
Pompe P6 (3 600 Wc)	2 175 504	1,2	1 891 743	100	2 175 504	1,5	1 418 807	75

19 000 m³ par an par ha  
Taux d'actualisation : 2 %

À une HMT de 20 mètres, une P4 irrigue un demi-hectare et une P6 un hectare.

### ● Seuil de rentabilité de l'irrigation

Considérons le cas où deux cultures par an sont pratiquées. Quand une seule culture (de six mois) est réalisée, la pompe solaire devient d'un coût si prohibitif que nous n'aborderons pas ce cas de figure.

Nous considérons une culture maraîchère avec des débits de pointe à  $9 \text{ l/m}^2$  ( $90 \text{ m}^3/\text{ha}$ ).

Le taux d'utilisation de l'eau n'est pas très bon : d'une part on ne cultive que pendant 300 jours par an (82 % d'utilisation) et d'autre part, la demande en eau étant faible durant deux mois par campagne (début et fin du cycle), on n'utilise pas toute l'eau produite durant ces périodes (30 % perdus). Le taux annuel d'utilisation de l'eau est alors de l'ordre de 55 % !

Dans le cas où la pompe solaire est secondée par une motopompe, celle-ci aide à passer les périodes de pointe et toute l'eau de la pompe solaire est ainsi valorisée. On gagnera alors 30 % par rapport au cas précédent.

Les coûts unitaires de l'eau solaire, par hectare et par  $\text{m}^3$  utilisé sont indiqués dans le tableau 19, p. 36.

Nous présentons deux cas de figure différents :

a) le système de pompage solaire est installé sur un forage, avec une HMT de 20 mètres, et équipé d'un château d'eau. C'est un système solaire classique de pompage, destiné à l'eau potable, que l'on dédie au maraîchage ;

b) la pompe solaire est en bord de fleuve. Le génie civil est réduit, il n'y a pas de forage et, dans ce cas, la HMT est de 10 mètres. Ce cas est beaucoup plus favorable.

*Constatations :*

- ♦ le coût par hectare est moitié moindre quand il s'agit d'une P6, c'est-à-dire quand la taille de la pompe est grosse. L'effet d'échelle est important ;

- ♦ système sur forage : dans le cas favorable d'une pompe P6 (3 600 Wc), il en coûte 900 000 Fcfa par hectare et par an pour la maintenance, et le double pour le renouvellement qui, dans le cas de pompes d'irrigation, n'est en général pas pris en charge par l'État. Le coût total est de 2,8 millions de Fcfa par an, soit 1,4 million par campagne de ma-

raîchage. Ce coût par campagne monte à 2,2 millions de francs CFA pour une pompe P4 ;

- ♦ système sur fleuve : les conditions de rentabilité s'améliorent. Le coût annuel d'une P6 passe à 2 millions de francs CFA et celui de la P4 à 3,3 millions par an (au lieu de 4,4 millions dans le cas précédent).

Ces coûts permettent-ils une rentabilité du système solaire de pompage ?

La rentabilité de l'irrigation dépend étroitement de la culture choisie, du rendement cultural, des facilités de commercialisation et surtout du prix de vente des récoltes. Ces facteurs sont très variables d'une région à l'autre et selon les périodes de l'année :

- ♦ les rendements varient selon les sols, les techniques culturales : de 5 à 11 tonnes/ha pour la pomme de terre, de 5 à 30 tonnes/ha pour la tomate (cf. bibl. n° 17, page 57) !

- ♦ les prix d'achat au producteur sont largement tributaires de la demande et de la saison. L'enquête DNHE/Burgeap (cf. bibl. n° 8) a relevé en 1992 : à 125 Fcfa/kg pour la tomate (moyenne à 117 Fcfa/kg) ; à 125 à 250 Fcfa/kg pour la pomme de terre (la moyenne se situe à 165 Fcfa/kg).

L'étude DNHE/Burgeap (cf. bibl. n° 8) estime que les revenus d'un cycle d'oignons suivi d'un cycle de tomates se situent entre 2 700 000 et 7 750 000 Fcfa par hectare et par an, soit une moyenne de 1,5 à 4 millions de francs CFA par campagne. Ces données recoupent les précédentes. La même enquête a réalisé les comptes d'exploitation de 79 parcelles de périmètres irrigués sur cinq sites pour un total de 3,4 ha (cf. tableau 21 page 39). Le revenu moyen du maraîchage varie de 250 000 à 1,3 million de francs CFA pour une campagne, ce qui est plutôt plus faible que les données ci-dessus.

Ces données de revenus sont à rapprocher du coût de l'eau solaire (cf. tableau 20, page suivante).

Une campagne de production faible ou moyenne ne permet pas de couvrir les charges dues à la pompe solaire. Il faut récolter au moins 11 t/ha de tomates ou 8 t/ha de pommes de terre pour simplement couvrir les charges dues à l'eau. Pour le maraîchage, on n'arrive jamais à payer le seul coût de l'eau ! Celui-ci ne devient raisonnable que dans les cas d'excel-lentes récoltes. **La rentabilité du pompage solaire pour l'irrigation n'est donc pas assurée dans les conditions moyennes d'exploitation.**



**Tableau 20**  
Coût de l'eau solaire comparé au revenu des cultures

Campagne moyenne avec une P6 (fonctionnant seule, à 20 m de HMT)

						Pompe sur forage		
	Rendement tonnes/ha	Surface cultivée ha	Production moyenne tonnes	Prix de vente Fcfa/kg	Produit de la vente Fcfa	Coût de l'eau pour 1/2 année		en % des recettes
						Fcfa		
<b>Tomates</b>	5	1,2	6	117	672 750	1 052 966		157 %
	30	1,2	35	117	4 036 500	1 052 966		26 %
<b>Pommes de terre</b>	5	1,2	6	165	948 750	1 052 966		111 %
	11	1,2	13	165	2 087 250	1 052 966		50 %
<b>Maraiçage</b>		1,2			345 000	1 052 966		305 %
		1,2			1 495 000	1 052 966		70 %

Cette rentabilité s'améliore quand la HMT baisse. Les pompes en bord de fleuve, relevant l'eau sur quelques mètres de hauteur, sont plus intéressantes. Il n'en reste pas moins que la part du coût de l'eau, même en cas de bonne récolte, reste très importante (50 % des recettes !). Sur cette configuration, nous montrerons de plus, en fin d'ouvrage, que l'eau solaire est plus chère que celle des motopompes qui excellent à ces faibles hauteurs.

**Globalement donc, le pompage solaire pour le maraîchage n'est pas à conseiller.**

**Tableau 21**  
Revenu de cinq périmètres de maraîchage irrigués

	Surface cultivée ha	Produit brut Fcfa	Produit par hectare Fcfa/ha
Nonsombougou	1,34	1 736 467	1 297 226
Koumi	0,81	458 700	568 261
Tioribougou	0,37	93 200	251 213
Kyo	0,50	336 100	675 442
Kanyan	0,42	129 250	307 738
<b>Total</b>	<b>3,44</b>	<b>2 753 717</b>	<b>801 804</b>

Étude DNHE/Burgeap

## Pisciculture

Dans le cadre du Programme PCAN de l'Unicef, la Direction régionale des Eaux et Forêts de Ségou s'est employée à développer la pisciculture dans un certain nombre de villages et notamment sur quelques sites équipés d'une pompe solaire. Cette initiative a suscité des interrogations sur sa rentabilité et a donné lieu à deux rapports d'évaluation émanant l'un de la Cellule d'entretien des équipements solaires de la DNHE (cf. bibl. n° 20, page 57), l'autre de l'Unicef (cf. bibl. n° 21).

### ● Les besoins de la pisciculture

Outre le remplissage initial du bassin (environ 500 m<sup>3</sup>), les pertes d'un étang de 600 m<sup>2</sup> sont estimées à : 5 m<sup>3</sup>/jour du fait de l'évaporation, 4 m<sup>3</sup>/jour du fait de l'infiltration. Total : 9 m<sup>3</sup>/jour, soit 3 285 m<sup>3</sup>/an.

### ● La couverture des besoins de pisciculture

Cf. tableau 22, ci-dessous.

Une pompe de petite taille convient bien, techniquement, à la pisciculture.

### ● Seuil de rentabilité de la pisciculture

D'après l'étude effectuée par la DNHE en 1993, les données s'établissent comme suit :

Coût de construction de l'étang  
(203 000 F), amorti sur 20 ans . . . . 10 150 Fcfa/an

Coût estimé de l'alimentation  
des poissons, par an . . . . . 5 000 Fcfa/an

**Total charges annuelles**  
(hors prix de l'eau) . . . . . 15 150 Fcfa/an

**Tableau 22 : Adéquation du pompage solaire à la pisciculture (HMT = 30 mètres)**

Type de pompe	Puissance du générateur Wc	Productible annuel m <sup>3</sup> /an	Besoin pour un étang m <sup>3</sup> /an	Nombre d'étangs pouvant être desservis
P4	1 440	10 220	3 300	3
P5	2 520	18 250	3 300	6
P6	3 600	25 185	3 300	8

La production de poisson vif (*Tilapia*) est estimée à 45 kg/are/an, soit 270 kg/an dans notre exemple (600 m<sup>2</sup>). Ceci conduit à une production de *Tilapia* séché de 90 kg/an (le poids sec est d'1/3 inférieur au poids frais). Toutefois, au village de Nionina, l'enquête DNHE constate une production de 400 kg de poisson frais en trois ans, soit une production annuelle très faible (45 kg de poisson sec/an).

Le prix de vente du poisson est très variable :

	<i>Poisson séché</i>
Étude Unicef . . . . .	600 Fcfa/kg
Étude DNHE (village de Nionina) . . . .	135 Fcfa/kg

Dans un autre village, à Kanian, l'enquête DNHE constate que toute la production est autoconsommée, et n'a rapporté que 5 600 Fcfa réinvestis pour l'achat des alevins.

La pisciculture rapporte, en cas favorable, 90 kg/an au coût unitaire de 600 F/kg, soit 54 000 Fcfa par an dont 15 000 F de charges annuelles. Il reste 40 000 Fcfa pour payer l'eau solaire et le travail de l'exploitant. Le seul coût de l'eau solaire étant de plusieurs centaines de milliers de francs CFA par an, on constate que l'activité n'est absolument pas viable !

**La pisciculture n'est pas une valorisation rentable de l'eau solaire si l'étang doit être alimenté spécialement et en permanence par la pompe solaire.**

Cette activité peut être intéressante dans le cas où l'étang est situé dans un bas-fond qui recueille des eaux de ruissellement pendant l'hivernage et, le reste de l'année, les eaux résiduelles ou excédentaires de la pompe solaire.

---

# Les pratiques actuelles de vente de l'eau solaire

---

Au chapitre précédent, nous avons étudié la rentabilité des pompes solaires selon quatre grands types d'usages. Nous présentons ci-après des pratiques constatées concernant la vente de l'eau.

Elles seront à rapprocher des conditions de rentabilité présentées dans les chapitres précédents. Nous verrons que le prix de vente pratiqué est souvent inférieur au prix de revient.

---

## La vente de l'eau domestique

---

### ● Pratiques constatées dans le parc ancien (pompes implantées entre 1979 et 1992)

Dans la plupart des villages, l'eau n'est que partiellement payante, pour certains usages seulement (bétail ou maraîchage), rarement pour l'usage domestique.

Une enquête (cf. bibl. n° 8, p. 57), réalisée en 1992 sur un échantillon représentatif de dix-sept sites dont neuf stations villageoises sur forages, a montré que l'eau à usage domestique n'était vendue que dans cinq villages sur neuf ! Sur ces cinq villages, un seul (Tioribougou) pratique la vente directe par fût (50 F soit 250 Fcfa/m<sup>3</sup>) ou par seau et bassine (10 F soit 670 Fcfa/m<sup>3</sup>). Mais cette pratique plutôt exceptionnelle, liée à l'accaparement de la pompe par le chef du village, est très contestée par la population. Dans les quatre autres villages, le paiement de l'eau à usage domestique se fait par le biais d'une cotisation annuelle ou saisonnière par famille (comprenant en moyenne 12 à 14 personnes) et dont les montants sont toujours très inférieurs aux coûts de production :

- 250 Fcfa/famille pour la saison sèche ;
- 500 à 1 000 Fcfa/famille/an, soit, pour une consommation annuelle d'eau solaire estimée à 50 m<sup>3</sup> par famille, un tarif compris entre 10 et 20 Fcfa/m<sup>3</sup>.

Rapprochons ces pratiques des seuils de rentabilité qui se situent entre 250 et 500 Fcfa par famille et par mois, soit entre 3 000 et 6 000 Fcfa par famille et par an.

Suivant les données d'une autre étude (cf. bibl. n° 2, p. 57), le forfait mensuel par famille conduit à un prix de l'eau assez faible, compris entre 15 et 50 Fcfa/m<sup>3</sup>. Rappelons que le prix de revient concernant uniquement la maintenance est de l'ordre de 130 Fcfa le m<sup>3</sup>.

### ● Vente de l'eau constatée dans le parc du Programme régional solaire

Les barèmes sont établis par les comités de points d'eau, constitués à la demande du PRS, après discussion en assemblée générale. Ils fixent les tarifs applicables suivant un large éventail de formules, comme

le montre la tarification en vigueur dans 14 villages suivis par la Cellule nationale du PRS (cf. tableau 23, ci-contre).

Pour l'usage domestique, les villages choisissent le plus souvent la cotisation forfaitaire mensuelle par famille plutôt que le paiement immédiat au volume consommé. Le tarif de la vente au volume s'échelonne de 5 Fcfa à 10 Fcfa pour un seau et une bassine de 20 litres et de 40 Fcfa à 100 Fcfa pour un fût de 200 litres. **Le prix de vente du m<sup>3</sup> est donc de 250 à 500 Fcfa.** Ce prix est supérieur au coût de revient. Il permet donc de viabiliser la pompe solaire.

**Tableau 23**  
Pratiques constatées de la vente d'eau au Mali (pompes du PRS)

Village	Bétail		Usage domestique		Maraîchage
	Fcfa/mois	période	/pers./an	/famille/an	/parcelle/an
Massala	50	8 mois	-	-	125
Nampela-Bougou	83	12 mois	350	-	-
Diéli Mpabougou	125	5 mois	-	600	-
Ntgonasso	75	-	-	-	-
Kintiéri	25	-	-	1 200	100
Nankorola	-	-	-	-	750
Sobala	150	8 mois	-	900	-
Gania	50	-	-	-	-
Yogorasso	250	-	-	-	-
Sincina	75	-	-	-	75
Niamana	150	6 mois	500	-	-
Massala Ntosso	150	5 mois	1 800	-	-
Nintabougouro	75	6 mois	600	-	-
Kadiala I	100	7 mois	-	-	-
<b>Moyenne</b>	<b>104</b>	<b>-</b>	<b>813</b>	<b>900</b>	<b>263</b>

Si vente au volume : seau = 5 Fcfa ; bassine = 10 Fcfa ; fût = 40 Fcfa.

### ● Enquête sur 382 villages du Sud Mali

Une enquête récente du projet d'Appui à la gestion décentralisée de l'hydraulique rurale (Agedhyr), portant sur 382 villages du Sud Mali en troisième région et concernant tous les systèmes d'exhaure, fait apparaître que, dans une majorité de cas, les villageois ne mettent en place les dispositifs de gestion et n'appliquent les mesures préconisées que pour satisfaire aux exigences des projets qui en font une condition *sine qua non* pour bénéficier des équipements. C'est dire que ces dispositions restent alors peu effectives :

- les comités de points d'eau n'ont souvent ni autorité, ni réelle autonomie par rapport aux associations villageoises ;
- la vente de l'eau n'est pas véritablement instituée, même lorsque le principe en est formellement admis ;
- les recettes restent très souvent inférieures aux montants prévus pour couvrir les charges d'exploitation, et aucune épargne n'est constituée pour le renouvellement des équipements.

D'une manière générale, les villageois attendent qu'une panne se produise pour réunir les fonds nécessaires par un appel à cotisation ou par une vente de bétail. Et partout s'impose le constat d'un échec

en matière de gestion et de prise en charge des équipements par les communautés. Jusqu'à ce jour, le paiement au volume ou le recouvrement des cotisations s'effectuent difficilement. Cette situation traduit une véritable réticence de la part de communautés qui acceptent encore mal le principe du paiement de l'eau pour les usages domestiques. Le problème est souvent contourné grâce au paiement différé ou mieux encore indirect, d'où la préférence pour les cotisations forfaitaires. Beaucoup de villages, disposant de ressources autres (cultures de rente, mandats envoyés par les migrants, champs collectifs) préfèrent payer le contrat d'entretien à partir de ces revenus « extérieurs ».

Dans le cas du projet Agedhyr, cet échec de la gestion villageoise est lié à :

- une certaine pratique de l'animation fondée sur le conseil prodigué à des populations pour les inciter à adopter de nouveaux comportements en matière de gestion ;
- le rôle des structures et projets d'accueil comme intermédiaires pour assurer un suivi ;
- le bénévolat, au nom de la solidarité communautaire, pour la prise en charge de certaines tâches telles que le gardiennage ou la tenue des comptes.

Pour garantir une meilleure gestion, le projet envisage trois options qu'il est d'ailleurs tout à fait possible de combiner judicieusement :

- des systèmes contraignants qui n'autorisent aucune échappatoire : prépaiement par cartes électroniques pour les pompes solaires, garanties sur les recettes du coton à la BNDA ;
- une délégation de la gestion à un opérateur privé ;
- une reconnaissance de la logique économique villageoise est de la capacité du village à faire face, dans une certaine mesure, aux coûts d'entretien et

de renouvellement des pompes en recourant aux modes de financement traditionnels.

### ● Comparaison avec les tarifs pratiqués en milieu urbain par Énergie du Mali (EDM)

Les consommations de la tranche II (21 à 60 m<sup>3</sup> par mois) sont facturées, en 1997, à 217 Fcfa/m<sup>3</sup> (TVA incluse) par EDM. La tranche sociale et le tarif des bornes-fontaines sont par ailleurs amplement subventionnés à 88 Fcfa/m<sup>3</sup>.

---

## La vente de l'eau pour le bétail

---

Le paiement pour l'abreuvement du bétail est bien accepté car il est depuis toujours en usage et qu'il concerne surtout des pasteurs étrangers au village. Ramené au m<sup>3</sup>, le tarif pratiqué pour le bétail transhumant est d'ailleurs assez élevé, mais il n'est souvent que ponctuel et en tout cas saisonnier (4 à 6 mois par an).

● **Suivant l'enquête DNHE/Burgeap** (cf. bibl. n° 8, page 57) réalisée en 1992, avant dévaluation, il y a lieu de distinguer, pour le paiement de l'eau, deux catégories de bétail.

◆ *Le bétail extérieur au village* (provenant de campements voisins ou bétail transhumant de passage) fait systématiquement l'objet d'une vente de l'eau. Les tarifs suivants sont généralement pratiqués :

- 15 à 25 F/j/bovin soit 750 à 1 250 F/m<sup>3</sup> pour un abreuvement quotidien de 20 l ;
- 15 F par ovin-caprin soit 3 000 Fcfa/m<sup>3</sup> ;
- montant forfaitaire par troupeau, surtout quand les animaux séjournent dans la zone : 1 000 à 2 000 Fcfa par troupeau à chaque passage (Doubala), 3 000 Fcfa/troupeau par mois (Tienguenina).

Le prix de vente par animal est alors compatible avec les prix de revient (de 5 à 10 Fcfa/bovin), tout comme pour le prix au troupeau (5 000 Fcfa/mois).

◆ *Le bétail sédentaire appartenant au village* bénéficie généralement de tarifs plus avantageux. Les barèmes sont variables mais les recouvrements sont très irréguliers :

- l'abreuvement est parfois gratuit (Doubala, Kanyan) ou compris dans la cotisation forfaitaire familiale (1 000 F/an à Koumi) ;

– quand l'abreuvement est payant, les tarifs vont de 100 Fcfa/tête pour toute la saison sèche (soit 40 Fcfa/m<sup>3</sup>) à 200 Fcfa/tête pour l'année (soit 27 Fcfa/m<sup>3</sup>). On rencontre également des montants forfaitaires annuels par troupeau : 2 000 à 3 500 Fcfa/an à Madina Kagoro soit 4 à 7 Fcfa/m<sup>3</sup> pour un troupeau de 70 UBT ; 7 500 Fcfa/parc de 20 têtes/an soit 51 Fcfa/m<sup>3</sup> à Tienguenina ;

– les boeufs de labour sont parfois exonérés de toute redevance.

● **Les données relatives au Mali** fournies par le « Pompage solaire photovoltaïque » (cf. bibl. n° 2) distinguent également deux tarifs :

- bétail transhumant : 15 à 25 Fcfa/tête/passage soit 375 à 625 Fcfa/m<sup>3</sup> ;
- bétail résident : 50 Fcfa/tête/mois, soit 50 Fcfa/m<sup>3</sup> ; 1 000 à 3 000 Fcfa/troupeau par mois, soit 10 à 30 Fcfa/m<sup>3</sup>.

● **Les tarifs pratiqués après dévaluation**, dans le cadre du Programme régional solaire (PRS), sont également très variables :

- de 15 F à 150 Fcfa par tête de bétail et par mois pendant 8 mois, soit de 25 à 250 Fcfa/m<sup>3</sup> ;
- 1 250 à 2 500 F/troupeau/mois pendant 7 mois, quelle que soit la taille du troupeau ou encore 1 000 F par tête et par an, soit environ 275 Fcfa/m<sup>3</sup>.

Les tarifs appliqués au bétail correspondent souvent au niveau attendu, mais il est rare que ces tarifs s'appliquent à toute l'eau produite par la pompe solaire, durant toute l'année. Par ailleurs, les recouvrements sont difficiles surtout pour les animaux résidant au village.

---

## La vente de l'eau d'irrigation

---

Les tarifs pratiqués sont généralement très inférieurs aux coûts de production. Cette sous-estimation reflète un double phénomène :

- d'une part, les utilisateurs n'ont souvent pas conscience des volumes effectivement consommés (entre 40 et 90 m<sup>3</sup>/hectare/jour) ;

- d'autre part, la rentabilité du maraîchage n'étant pas assurée, les barèmes se calent sur les recettes réelles ou prévisibles, donc sur l'appréciation d'une valeur d'usage.

Le recouvrement des redevances pour le paiement de l'eau est généralement très aléatoire, surtout quand la récolte est médiocre ou quand elle est consommée par le village.

Suivant l'enquête DNHE/Burgeap (cf. bibl. n° 8, page 57) de 1992, avant dévaluation, l'irrigation est non payante sur sept des onze sites où elle est pratiquée. Sur les quatre sites payants, les tarifs

varient de 250 à 1 500 F/mois (ou 300 à 3 000 F/an), ce qui, compte tenu de la taille des parcelles, revient entre 10 000 et 70 000 Fcfa/ha, alors que le coût de l'eau est d'au moins 1 million de francs CFA par ha !

Pour « le Pompage solaire photovoltaïque » (cf. bibl. n° 2, page 57), les tarifs pratiqués se situeraient autour de 6,5 Fcfa/m<sup>3</sup>.

Ces prix de vente sont dix fois inférieurs aux coûts de revient (100 à 150 F/m<sup>3</sup>) !

La situation après dévaluation n'est en rien modifiée et les barèmes appliqués sur les sites du PRS demeurent toujours très insuffisants pour assurer la rentabilité de l'eau solaire pour l'irrigation :

- de 75 à 125 Fcfa par parcelle d'un are pendant 12 mois (soit au maximum 15 à 25 Fcfa/m<sup>3</sup>) ;
- de 750 à 1 000 Fcfa par mois pendant quatre mois (soit de 50 à 67 Fcfa/m<sup>3</sup>).

---

## La vente de l'eau pour la pisciculture

---

Aucune redevance spécifique pour la pisciculture n'est prévue dans aucun des villages. Cette situation dénote un grave malentendu chez les initiateurs de la pisciculture pour qui l'eau solaire serait gratuite, et qui n'ont

donc pas demandé aux pisciculteurs de payer l'eau ni de constituer une épargne pour l'entretien et le renouvellement de la pompe autrement que par le recours aux revenus globaux de la communauté villageoise.

---

## Comparaison entre pompes solaires, diesel et manuelles

---

Il ne suffit pas de connaître le coût de revient de l'eau produite par les pompes solaires, il faut pouvoir le comparer à celui des autres moyens d'exhaure, et notamment aux pompes diesel qui, à volume comparable, représentent l'alternative la plus concurrentielle quand on se situe hors de toute connexion possible à un réseau électrique EDM (Énergie du Mali).

On sait les précautions qui s'imposent quand il s'agit de comparer le coût de revient de l'eau produite par différentes pompes solaires, en raison de la diversité des paramètres à prendre en compte. Il suffit que la HMT double et passe, par exemple, de 20 m à 40 m pour que le coût du m<sup>3</sup> produit se trouve pratiquement doublé lui aussi. Il n'est donc pas question de déterminer un coût de revient unique, valable pour l'ensemble du Mali.

S'agissant d'établir une comparaison avec les autres systèmes d'exhaure, il faut également prendre en compte la variabilité des critères de rentabilité dus aux autres systèmes de pompage : hétérogénéité du

parc de pompes diesel, coût des carburants, proximité de réparateurs qualifiés. Les études technico-économiques précises et complètes, sur une longue période d'utilisation, sont insuffisantes.

Nous présentons ci-après quelques études et données susceptibles de fournir des éléments de comparaison :

- étude comparative figurant dans le rapport d'évaluation finale du PRS, réalisée en 1995 par le bureau d'études ITW pour le CILSS, sur financement de l'Union européenne ;

- comparaison des coûts d'exhaure effectuée par la CEES dans « Le Pompage solaire photovoltaïque – treize années d'expérience et de savoir-faire au Mali », publié en 1991 (cf. bibl. n° 2, page 57) ;

- bilans de la gestion des systèmes d'adduction d'eau de quatre centres semi-urbains du Mali (Djéné, Douentza, Kangaba, Nara), fonctionnant au moyen de groupes électrogènes à moteurs diesel ;

- coûts de production et tarifs de l'eau distribuée par les réseaux d'Énergie du Mali.

---

### Étude ITW/PRS (1995)

---

L'étude compare le coût de l'eau pompée par trois systèmes différents : solaire, diesel, manuel. Deux points de vue sont envisagés :

- celui de l'investisseur privé qui cherche une rentabilité de son investissement. Dans ce cas, le taux d'intérêt est de 6 %, les taxes et droits de douane

sont inclus ; ce calcul est appelé « calcul financier » car c'est celui des financiers purs ;

- celui de l'économie nationale et de l'intérêt général, en considérant un taux d'intérêt de 2 %. Ce calcul est appelé « calcul économique ».

L'incidence de la HMT est neutralisée en com-



parant des  $m^4$ , c'est-à-dire un  $m^3$  relevé d'un mètre. L'énergie est en effet la même en pompant 5  $m^3$  à 10 m que 10  $m^3$  à 5 m (= 50  $m^4$ ).

Les comparaisons s'établissent sur la base d'une production égale en volume, exigeant autant de pompes manuelles<sup>4</sup> et de forages que nécessaire pour atteindre l'équivalent de la production d'une pompe solaire. Cette approche, juste en théorie, ne reflète toutefois pas complètement la réalité.

Lorsque le taux d'intérêt baisse, le coût du  $m^3$  baisse : le  $m^4$  solaire qui coûte de 7 à 17 Fcfa pour un taux de 6 % ne coûte plus que 3 à 10 Fcfa quand le taux est de 2 % (cf. graphique 11 ci-contre).

Le coût financier de l'eau est d'autant plus important que le montant des investissements est élevé. Plus la pompe est grosse, plus le coût financier est élevé. Il est de 45 % pour une pompe P3 et passe à 93 % pour une P6 !

Le solaire reste favorable à long terme. Il faut cependant noter que le système diesel pris en compte ici concerne des pompes sur forage. En cas de pompage sur eaux de surface, une comparaison avec des groupes motopompes donnerait un très net avantage de coût au diesel. Le solaire est également plus avantageux que les pompes manuelles, sauf pour les petits volumes pompés, inférieurs ou égaux au débit d'une P3.

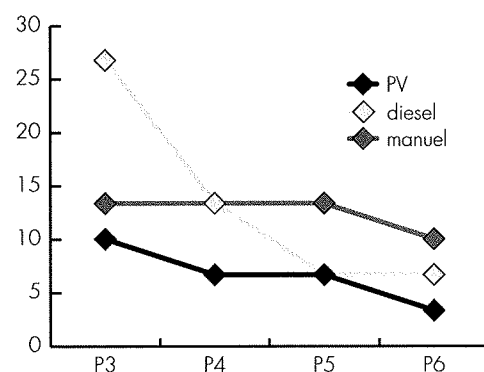
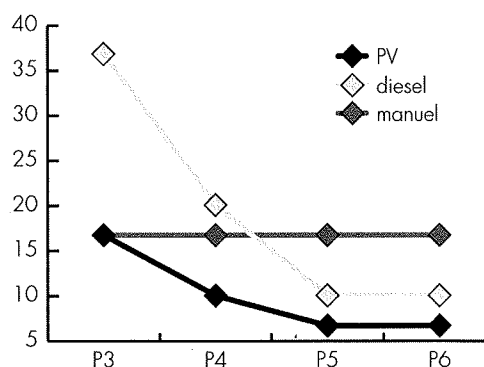
Quand la quantité d'eau demandée est faible (moins de 15  $m^3$  par jour), il est plus rentable d'installer une pompe manuelle.

Le coût de l'eau d'une pompe diesel diminue considérablement avec l'augmentation de la puissance demandée. Les pompes diesel sur forage deviennent plus économiques que le solaire pour les

<sup>4</sup> Il est considéré un maximum de 150  $m^4$  d'eau pompée par jour avec une pompe manuelle.

**Graphique 11**  
Comparaison diesel, manuel et solaire

Coût du  $m^4$  / calcul financier ( $i = 6\%$ )



débits qui dépassent 150  $m^3$  par jour (à 30 m de HMT). Le domaine d'excellence de la pompe solaire serait donc compris entre 15  $m^3$  et 150  $m^3$  par jour (à 30 m de HMT) [cf. graphique 14, page 51].

Lorsque la hauteur de pompage passe au-dessous du seuil des 7 mètres, les groupes motopompes peuvent être utilisés. Leur coût est beaucoup plus faible et la rentabilité du pompage diesel devient très supérieure à celle du solaire.

## Étude J. Billerey (1991)

L'intérêt de cette étude est de comparer les différents systèmes de pompage par gamme de débit. Le puisage traditionnel est également intégré dans la comparaison.

Le coût, en 1991, d'un groupe diesel fonctionnant sur forage est exprimé dans les trois tableaux (tableau 24), page 47.

Cf. aussi le graphique 12, page 47.

**Tableau 24**  
Coûts du pompage diesel et du pompage manuel

COÛT DE L'ÉQUIPEMENT DIESEL	Prix d'achat Fcfa	Durée de vie	Coût unitaire Fcfa/u
Électropompe (10 m <sup>3</sup> /h à 20 m de HMT)	371 700	20 000 h	19 Fcfa/h
Groupe électrogène (5/6 kVA)	2 360 000	15 000 h	157 Fcfa/h
Accessoires	700 000	20 000 h	35 Fcfa/h
Installation, stockage	1 000 000	15 ans	66 667 Fcfa/h
Aménagements, génie civil	3 600 000	15 ans	240 000 Fcfa/h
Forage	3 000 000	15 ans	200 000 Fcfa/h
<b>Total investissements</b>	<b>11 031 700</b>		

COÛT DE L'EAU (DIESEL)	1 h/jour	2 h/jour	4 h/jour	6 h/jour	10 h/jour
<b>Coût annuel de fonctionnement</b>					
Carburant (210 Fcfa/l et 200 jours/an)	33 600	67 200	134 400	201 600	336 000
Huile	6 720	13 440	26 880	40 320	67 200
Entretien	20 000	40 000	80 000	120 000	200 000
Annuité amortissement (fixes par an)	42 184	84 367	168 735	253 102	421 837
Annuité amortissement (selon nb d'heures)	506 667	506 667	506 667	506 667	506 667
<b>TOTAL</b>	<b>609 170</b>	<b>711 674</b>	<b>916 681</b>	<b>1 121 696</b>	<b>1 531 703</b>
<b>Volume pompé par an (200 jours) en m<sup>3</sup></b>	<b>2 000</b>	<b>4 000</b>	<b>8 000</b>	<b>12 000</b>	<b>20 000</b>
<b>Coût du m<sup>3</sup> pompé</b>	<b>305 Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>178 Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>115 Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>93 Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>77 Fcfa/m<sup>3</sup></b>

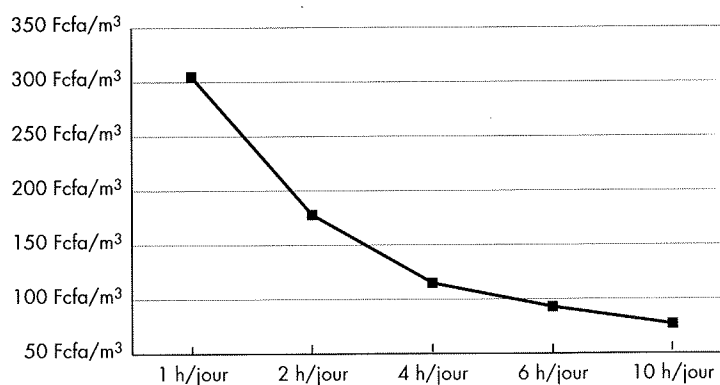
COÛT DE L'EAU PAR POMPAGE MANUEL	Pompe manuelle	Puisage traditionnel
<b>Coût annuel de fonctionnement</b>		
Annuité d'amortissement pompe + forage ou puits	200 000 Fcfa/an	135 000 Fcfa/an
Entretien annuel	30 000 Fcfa/an	40 000 Fcfa/an
<b>Coût annuel total</b>	<b>230 000 Fcfa/an</b>	<b>175 000 Fcfa/an</b>
<b>Volume pompé par an</b>	<b>3 000 m<sup>3</sup></b>	<b>5 000 m<sup>3</sup></b>
<b>Coût du m<sup>3</sup> pompé</b>	<b>77 Fcfa/m<sup>3</sup></b>	<b>35 Fcfa/m<sup>3</sup></b>

J. Billerey, 1991

### Graphique 12

Coût du m<sup>3</sup> d'eau  
pompée par un moteur diesel

(J. Billerey, 1991)



**Tableau 25**  
Comparaison des différents modes de pompage (1991, Fcfa/m<sup>3</sup>)

Gamme de débit	540 Wc	Solaire 1 440 Wc	2 880 Wc	Diesel 6 kVA	Pompe manuelle	Puisage manuel
Moins de 10 m <sup>3</sup> /jour	-	-	-	304	77	50
De 10 à 20 m <sup>3</sup> /jour	148	-	-	177	-	35
De 20 à 50 m <sup>3</sup> /jour	-	74	-	114	-	-
De 50 à 100 m <sup>3</sup> /jour	-	-	68	92	-	-
Plus de 100 m <sup>3</sup> /jour	-	-	-	76	-	-

HMT = 20 m

Dans cette étude, le solaire est également d'un coût inférieur au diesel à long terme (cf. tableau 25 ci-dessus).

À noter que les coûts annoncés pour le solaire sont plus bas que ceux que nous présentons au deuxième

chapitre de cette étude : 74 Fcfa/m<sup>3</sup> pour une P4 contre 312 Fcfa dans notre étude. Cela est dû à l'année de référence (1991), avant la dévaluation. Par ailleurs, certains coûts ne sont pas pris en compte de la même manière (génie civil, maintenance).

## Adduction d'eau dans quatre centres secondaires (1995)

Le bureau d'études allemand, Gauff Ingénieurs, a réalisé en juillet 1995 un bilan de gestion pour la KFW, concernant quatre réseaux d'adduction d'eau potable : Djenné, Douenza, Kangaba et Nara. Ce bilan consolidé fait apparaître les résultats suivants :

**Tableau 26 : Compte d'exploitation  
de quatre centres semi-urbains (1995)**

<b>Quantité d'eau facturée</b>	80 331 m <sup>3</sup>
<b>Chiffre d'affaires</b>	22 635 000 Fcfa
<b>Excédent brut d'exploitation</b>	10 093 000 Fcfa
<b>Marge après amortissement</b>	- 5 367 Fcfa
<b>Consommation par habitant</b>	10 l/jour/habitant
<b>Prix de revient du m<sup>3</sup> facturé</b>	
avant amortissement	161 Fcfa/m <sup>3</sup>
après amortissement	354 Fcfa/m <sup>3</sup>
<b>Prix de vente moyen</b>	282 Fcfa/m <sup>3</sup>
<b>Marge</b>	
avant amortissement	121 Fcfa/m <sup>3</sup>
après amortissement	- 72 Fcfa/m <sup>3</sup>

Le prix de vente de l'eau devrait être de l'ordre de 400 Fcfa par m<sup>3</sup>, tandis que le prix pratiqué est inférieur à 300 Fcfa/m<sup>3</sup>. Il y a donc un déficit d'exploitation une fois que l'on prend en compte les amortissements. Ce prix de vente théorique est compatible avec les coûts annoncés du solaire au deuxième chapitre (200 à 300 Fcfa/m<sup>3</sup>).

L'étude de ces 4 centres tire quelques conclusions :

- la consommation des usagers est en augmentation : elle est passée de 7 litres par jour en 1992 à 10 litres par jour par habitant en 1994 ;

- l'excédent brut d'exploitation s'est amélioré entre 1992 et 1994. Il passe de 30 % à 44 %. Cette amélioration est attribuée à une meilleure gestion des factures dont le délai moyen de paiement reste toutefois très important (148 jours en 1994). Les retards ou non-paiements sont principalement le fait des administrations qui « pratiquement dans tous les centres, ne règlent aucune consommation » ;

- une augmentation sensible de la consommation permettrait de parvenir à un équilibre financier assurant le renouvellement des installations de façon autonome. L'hygiène et la santé publique en seraient également améliorées.

## Tarifs de l'eau distribuée par Énergie du Mali

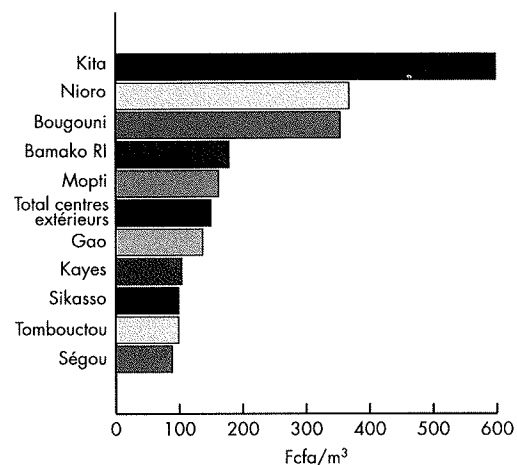
Les tarifs de la vente d'eau dans les centres urbains par EDM sont indiqués dans le tableau 27.

La tranche sociale pour les faibles consommateurs est largement subventionnée puisqu'elle est vendue en dessous du prix de revient. En 1995, le coût de revient moyen était de 214 Fcfa/m<sup>3</sup>, tandis que le prix de vente moyen de l'eau EDM était de 191 Fcfa/m<sup>3</sup>. Le résultat d'exploitation de EDM est négatif depuis dix ans. Cela signifie que l'État subventionne l'eau urbaine au Mali.

Il est intéressant de comparer les prix de l'eau solaire aux prix de revient de l'eau dans différentes villes du Mali figurant dans le graphique 13.

Le coût de revient moyen du m<sup>3</sup> d'eau pour l'ensemble de la production EDM était de 170 Fcfa/m<sup>3</sup> en 1990. Ce coût est comparable aux coûts de l'eau solaire produite (de 130 à 200 Fcfa/m<sup>3</sup>), mais reste inférieur aux coûts de l'eau solaire réellement utilisée (de 200 à 300 Fcfa/m<sup>3</sup>).

**Graphique 13**  
Prix de revient de l'eau  
dans plusieurs villes maliennes (1990)



**Tableau 27 : Tarifs de la vente d'eau par réseau dans les centres urbains au Mali**

♦ *Tarifcation des volumes consommés (en Fcfa/m<sup>3</sup>)*

Tranches	Prix unitaire	TVA	Total à facturer
<b>Tarif général à 3 tranches</b>			
Tranche I : 0-20 m <sup>3</sup> /mois	80	10 %	88
Tranche II : 21-60 m <sup>3</sup> /mois	198	10 %	217
Tranche III : 61 m <sup>3</sup> /mois et au-delà	286	10 %	314
<b>Tarif bornes-fontaines</b>			
Tranche unique	80	10 %	88
<b>Tarif « Industrie et gros consommateurs »</b>			
Tranche unique	198	10 %	217

♦ *Redevance mensuelle forfaitaire pour location des compteurs (en Fcfa/mois)*

	Diamètre des compteurs	Barème	TVA	Total à facturer
<b>Particuliers</b>	15 mm	330	10 %	363
	20 mm	880	10 %	968
	25 mm	1 100	10 %	1 210
	30 mm	1 430	10 %	1 573
	40 mm	2 860	10 %	3 146
	50 mm	4 400	10 %	4 840
	60 mm	7 150	10 %	7 865
	80 mm	11 000	10 %	12 100
	100 mm	17 600	10 %	19 360
<b>Industrie, gros consommateurs</b>	—	33 000	10 %	36 300



# Les meilleurs usages des pompes solaires

## ● Le coût de l'eau

Le coût de l'eau dépend de nombreuses conditions dont les plus importantes sont la taille de la pompe solaire et la profondeur de pompage. Pour résumer, gardons en tête les ordres de grandeur suivants (cf. tableau 28) :

<b>Tableau 28</b> <b>Coût de l'eau solaire</b> Pompe solaire P4 (1 440 Wc), à 30 m de HMT		
	Prise en compte de toutes les charges	Sans le renouvellement long terme
<b>Coût annuel (Fcfa/an)</b>	2 millions/an	850 000 Fcfa/an
<b>Prix du m<sup>3</sup> utilisé (Fcfa/m<sup>3</sup>)</b>	250	100
<b>Prix du m<sup>3</sup> à facturer (Fcfa/m<sup>3</sup>)</b>	312	130

Ces niveaux de coûts ne sont pas négligeables. L'eau solaire n'est pas gratuite ; elle n'est pas pour autant inabordable. L'étude comparative montre qu'elle reste dans une fourchette compétitive par rapport aux autres énergies de pompage, à capacité de production égale.

## ● Le choix du solaire photovoltaïque

La comparaison avec les autres systèmes dépend très fortement de facteurs locaux qui modifient le prix de revient de l'eau : la HMT par exemple, qui a une

incidence déterminante sur le solaire, ou la situation géographique qui augmente les coûts du diesel dans le cas de zones enclavées.

### Plage d'utilisation

La plage d'utilisation du pompage solaire se situe entre les pompes manuelles (dont le débit et la profondeur sont limités respectivement à 35 m<sup>3</sup>/jour et à 30 à 60 m au maximum) et le pompage à l'aide de groupes diesel au-delà de 150 m<sup>3</sup>/jour à 30 m de profondeur, comme l'illustre l'abaque ci-contre (cf. graphique 14, page 51).

### Flexibilité

Une pompe solaire ne présente pas la même flexibilité qu'une pompe diesel. Cette dernière possède deux

gros avantages :

- le diesel s'adapte sans délai aux besoins en eau. On peut faire varier à loisir la durée du pompage : pomper la nuit en cas de forte demande, réduire la durée lors des pépinières, etc. ;
- le coût de l'eau diesel est largement proportionnel à la durée d'utilisation. On peut donc adapter au plus juste le coût de l'eau selon la variation des besoins.

Le coût de revient d'une installation de pompage solaire, pour sa part, reste pratiquement le même, qu'elle soit utilisée ou non. Sa rentabilisation exige

donc que le maximum du productible soit consommé tout au long de l'année.

### *Une prise en charge importante par l'État*

Les systèmes de pompage solaire ont tous été financés par l'aide internationale. Il n'existe pratiquement pas de pompe solaire privée. Comme nous l'avons vu, le coût de l'eau est ainsi supporté en partie (pour les 2/3) par l'État. Le pompage solaire est donc une manière de décharger les collectivités d'une part du coût de l'eau pour le faire supporter par l'État. Ce phénomène se rencontre également sur les autres systèmes de pompage, manuels ou diesel, surtout en hydraulique villageoise ou pastorale. Toutefois, en raison de coûts d'investissements plus importants, le solaire accentue davantage ce report de charges vers l'État.

### *Une responsabilisation difficile*

Le solaire est handicapé par son excellente fiabilité ! En effet, les pannes sont rares, surtout durant les cinq premières années.

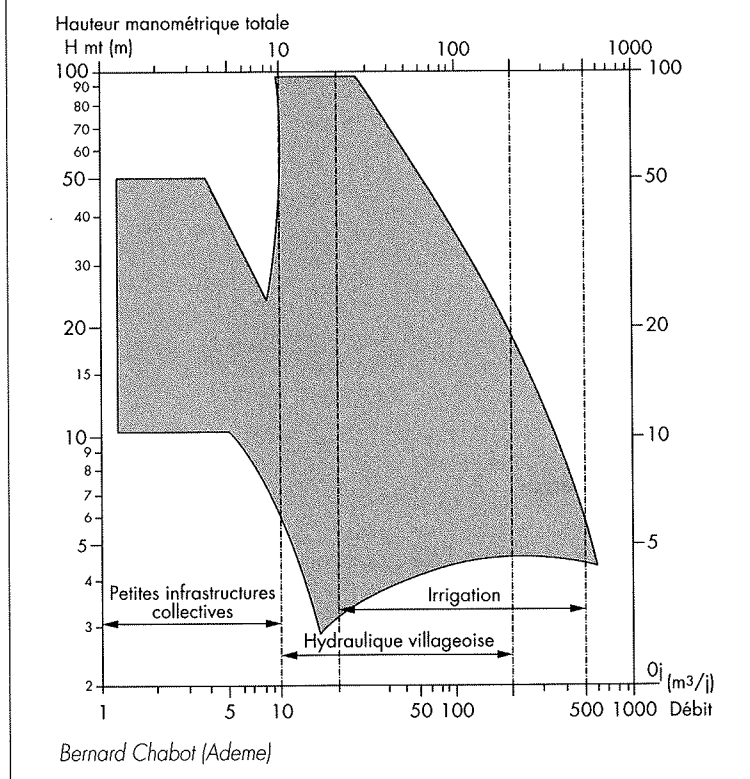
Cela a pour conséquences :

- une surévaluation des coûts de maintenance : les contrats proposés comportent des visites de routine qui, en l'absence de pannes, constituent de simples contrôles parfois inutiles, mais facturés aux usagers dans le cadre du contrat de maintenance ;
- une déresponsabilisation des usagers : ceux-ci, ne constatant aucune panne, ont du mal à collecter des fonds pour provisionner des réparations futures. Ce mode de gestion est peu adapté aux habitudes sociales des villageois qui font rarement des réserves sur plusieurs années. Avec un moteur diesel, le manque de fonds conduit rapidement à l'arrêt du moteur. Cette « relance de motivation » n'existe pas avec le solaire.

### ● Les meilleurs usages du pompage solaire

Deux types d'usages permettent de rentabiliser les pompes solaires en collectant des montants équi-

**Graphique 14**  
Abaque fixant la plage d'utilisation du solaire



valents ou même supérieurs aux coûts de production de l'eau :

- l'abreuvement du bétail, de préférence extérieur au village ;
- la vente au fût ou au seau donnant lieu à un paiement immédiat.

Ces deux utilisations ont également le mérite de bien se prêter au paiement et d'offrir de bonnes conditions de recouvrement des redevances.

Deux autres usages ne parviennent pas à assurer la rentabilité de l'exploitation de la pompe solaire :

- l'irrigation demande, pour être rentable, d'excellentes conditions de production et de commercialisation des produits ;
- la pisciculture n'est justifiée économiquement que si elle utilise des eaux résiduelles excédentaires.

Dans beaucoup de villages, les usages les plus rémunérateurs (abreuvement du bétail) subventionnent ceux qui le sont moins ou qui présentent un caractère social (usage domestique).

La possibilité de rentabiliser la pompe solaire dépend largement de l'existence ou non d'autres points

d'eau, permanents ou saisonniers, qui peuvent être concurrents ou complémentaires. Le recours possible à ces alternatives conditionne le niveau de prix qu'il sera possible de pratiquer. Les situations de pénurie sont naturellement les plus favorables du point de vue financier.

Vu la difficulté de rentabiliser les systèmes solaires de pompage, il est nécessaire d'adapter au mieux la taille de la pompe avec le volume de consommation d'eau. Dans les cas de consommations trop faibles, la pompe restera trop grosse et la rentabilité impossible.

Dans tous les cas, la règle d'or est d'utiliser au maximum la totalité du volume d'eau pompée, en combinant les divers usages possibles selon les différentes saisons :

- répartition du productible journalier, notamment en instituant des horaires ou des quotas pour le ventiler entre les différentes utilisations ;

- répartition du productible annuel pour tenir compte des variations saisonnières et du calendrier des travaux agricoles.

On rencontre souvent une combinaison d'usages multiples. C'est notamment le cas du PRS dont les aménagements comportent classiquement une rampe de robinets, des abreuvoirs et souvent un bassin de stockage pour l'irrigation. La capacité de production d'eau étant cependant limitée soit par la pompe, soit par le forage, il y aura lieu de définir des priorités dans la satisfaction des besoins. Les conflits ne sont d'ailleurs pas rares entre éleveurs et maraîchers ou ménagères qui se disputent l'accès à l'eau.

## ● Comment assurer le renouvellement des installations ?

La question qui reste en suspens est bien celle du renouvellement des installations. Pour la plupart des pompes, les usagers ne peuvent supporter que le coût de la maintenance. L'État censé assurer le coût du renouvellement sera-t-il en mesure de le faire ? La question est d'ores et déjà posée.

Un certain nombre d'objectifs sociaux est parfois mis en avant pour justifier cette subvention (qui dépasse parfois le seul renouvellement) :

- ♦ **La santé de la population** serait améliorée si elle disposait d'une eau saine. Un meilleur état sanitaire contribuerait à accroître la productivité tout en diminuant les dépenses médicales. Une rentabilité indirecte de l'eau solaire apparaîtrait donc. Cette amélioration reste

toutefois partielle tant que la population a toujours recours à d'autres points d'eau contaminés et tant que les habitudes d'hygiène n'évoluent pas radicalement.

- ♦ **Le pompage solaire allège la corvée d'eau** en dispensant les femmes du puisage sinon du transport. Le temps gagné et la fatigue épargnée ne sont pas négligeables puisque, d'après une étude du CIEH (cf. bibl. n° 14, page 57), il faut en moyenne une minute pour remonter de 30 m et vider une puisette d'une contenance de 4 litres.

- ♦ **Le maraîchage de contre-saison**, grâce à l'irrigation, engendre des revenus complémentaires ou crée des emplois qui seraient susceptibles de freiner l'exode rural. La rentabilité de tels périmètres est toutefois très aléatoire, tandis que ces surfaces restent limitées du fait des capacités restreintes des pompes. L'impact sur l'emploi et sur l'exode rural est donc certainement négligeable.

- ♦ **L'eau solaire pourrait contribuer à protéger l'environnement**, grâce à des pépinières pour le reboisement. C'était l'objectif de certains périmètres créés à l'initiative des autorités ou d'ONG mais aucun reboisement conséquent ne s'en est suivi.

En revanche, certaines pompes solaires risquent de favoriser la sédentarisation des troupeaux, avec toutes les conséquences néfastes qui en découlent pour les formations végétales environnantes.

## ● Une gestion spécifique

Les pompes solaires présentent un coût de fonctionnement courant réduit, car elles ne consomment pas de carburant. Cependant, les provisions à constituer pour les réparations (rares mais coûteuses), pour la prime annuelle du contrat d'entretien comme pour le renouvellement à terme des équipements, sont d'un montant élevé.

La spécificité du solaire réside dans le fait d'avoir à payer, rarement, de grosses sommes. Cet espacement des dépenses sur le long terme pose de sérieuses difficultés de gestion :

- ♦ la faible fréquence des pannes ne permet pas de faire vivre un réseau de maintenance rapproché. Ce dernier doit en outre immobiliser un stock important de pièces onéreuses ;

- ♦ les usagers sont capables de déboursier fréquemment de petites sommes, mais sont démunis devant les paiements importants. Il est donc nécessaire



d'organiser ces paiements sous une forme régulière et de provisionner ensuite pour le long terme. Cette notion de provision est d'une part culturellement difficile à concevoir, d'autre part, elle met en jeu des mécanismes de gestion nouveaux et inhabituels ;

- ♦ l'importance des sommes à provisionner pose le problème de la rémunération de l'épargne. Or, les conditions du marché monétaire depuis la dévaluation n'autorisent qu'une faible rémunération de l'épargne. Il est nécessaire de mettre au point des formules de placements qui auraient pour objet :

- d'éviter les détournements de fonds,
- de conserver le pouvoir d'achat des montants économisés,

- d'utiliser cette épargne de manière productive et pourquoi pas au bénéfice du développement local.

Les problèmes de gestion qui en découlent sont d'autant plus ardu.

La pompe solaire peut être à l'origine d'une dynamique de développement dans le cas où la com-

munauté s'organise dans le but d'assurer sa gestion à long terme. Cette organisation constitue la condition nécessaire de sa viabilité à long terme. Par ailleurs, les mécanismes mis en place pourront être utiles pour d'autres actions de développement. L'épargne récoltée pourra contribuer à garantir ou à financer cette dynamique de développement.

Cette organisation est au coeur de la gestion de l'eau. Il ne s'agit pas forcément de mettre en place des mécanismes communautaires impliquant toute la collectivité. De tels mécanismes, difficiles à mettre en place, dépendent de conditions sociales qui ne sont pas toujours remplies. Des dispositifs plus simples, basés sur des procédures de délégation de gestion, de concession ou de contraintes physiques (comme le prépaiement) constituent souvent de bonnes solutions.

Une organisation simplifiée, qui permet d'assurer un système fonctionnel de gestion d'un service public, pourra s'adapter à d'autres services contribuant à l'amélioration de la qualité de vie des villages.

---

# Annexes

---

Références bibliographiques

Liste des sigles



---

## Références bibliographiques

---

- 1** – *Mise en valeur des ressources énergétiques en Afrique : l'énergie solaire*, Actes de l'Atelier de Bamako : 18 - 29 novembre 1991, IEPF/AFME/CRES.
- 2** – *Le pompage solaire photovoltaïque, Treize années d'expériences et de savoir-faire au Mali*, Coopération française/AFME/DNHE de la République du Mali, 1991.
- 3** – *Water Supply and Sanitation Sector Monitoring*, Report 1990, Unicef/OMS, novembre 1992.
- 4** – *Le pompage photovoltaïque et l'approvisionnement en eau*, M. Courillon, AFME, Département Action internationale, Session Germe, septembre 1991.
- 5** – *Production autonome de l'énergie*, AFME/ACCT/Geste.
- 6** – *Manuel du gestionnaire de projets ENR-URE*, Cabinet Metrol, septembre 1989.
- 7** – *Enquête sur les conditions de rentabilité et de prise en charge des installations de pompage solaire par les communautés villageoises*, Rapport CEES/DNHE, décembre 1992.
- 8** – *Enquête sur les conditions de rentabilité et de prise en charge des installations de pompage solaire par les communautés villageoises*, Rapport Burgeap.
- 9** – *Guide de l'énergie*, Ministère de la Coopération/IEPF/SEED, 1988.
- 10** – *Enfants et femmes au Mali*, Unicef, 1989.
- 11** – *Projet d'alimentation en eau des centres ruraux du Sud-Mali*, Rapport phase 2a - Élaboration des dispositifs-types d'adduction sommaire, Burgeap, novembre 1991.
- 12** – *Projet d'alimentation en eau des centres ruraux du Sud-Mali*, Rapport phase 2b, Burgeap, mars 1993.
- 13** – *Étude du dispositif financier pour la maintenance et le renouvellement des installations*, Burgeap, avril 1991.
- 14** – *Les pompes à main en hydraulique villageoise*, Ministère de la Coopération/CIEH, 1987.
- 15** – *Consommations et besoins d'eau et d'énergie en milieu rural malien, Le cas de Yangasso*, Gabrielle Simbriger, PSE/GTZ, 1986.
- 16** – *Influence du climat et de l'alimentation sur les besoins en eau du bétail en Afrique tropicale*, John M. King, Rapport de recherche n° 7, Cipea/ACCT, mai 1989.
- 17** – *Mémento de l'agronome*, Ministère de la Coopération, 4<sup>e</sup> édition, 1991.
- 18** – *Étude de faisabilité technique et socio-économique de l'insertion d'unités de pompage photovoltaïque de faible puissance destinées à la petite irrigation*, CIEH/Engref, décembre 1987.
- 19** – *Identification de sites destinés à la mise en culture avec irrigation par pompes solaires de surface*, Fondem/CCE/Commission au Mali.
- 20** – *L'eau du pompage solaire photovoltaïque et la pisciculture villageoise*, Rapport CEES/DNHE, 1993.
- 21** – *Pisciculture*, Rapport de mission à Bla, Jean Coursimault, Unicef/PCAN.
- 22** – *Les équipements de pompage pour les centres ruraux du Mali*, Rapport Christian de Gromard, 1991.



---

## Liste des sigles

---

<b>ADEME</b>	Agence pour l'environnement et la maîtrise de l'énergie
<b>BCEAO</b>	Banque centrale des États d'Afrique de l'Ouest
<b>BNDA</b>	Banque nationale de développement agricole
<b>CEES</b>	Cellule d'entretien des équipements solaires
<b>CIEH</b>	Comité interafricain d'études hydrauliques
<b>CILSS</b>	Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel
<b>DNHE</b>	Direction nationale de l'Hydraulique et de l'Énergie (Mali)
<b>EDM</b>	Énergie du Mali
<b>HMT</b>	Hauteur manométrique totale : hauteur de pompage + hauteur de refoulement au-dessus du sol + pertes de charges dans la tuyauterie
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failure (durée moyenne entre deux pannes)
<b>PRS</b>	Programme régional solaire
<b>UBT</b>	Unité de bétail tropical (un zébu moyen)
<b>Wc</b>	Watt crête : puissance électrique maximale fournie par un module photovoltaïque dans les conditions optimales (il reçoit du soleil 1 000 W/m <sup>2</sup> , sa température est de 25°C)

Achévé d'imprimer par les Impressions Dumas  
103, rue Paul de Vivie - 42100 Saint-Etienne  
Dépôt légal : octobre 1999 - N° d'imprimeur 35434