

# MAITRISE DE L'ÉNERGIE ET DÉVELOPPEMENT

232.4  
86 PO

LIBRARY  
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE  
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND  
SANTITYION (IRC)



LIBRARY, INTERNATIONAL REFERENCE  
CENTRE FOR DOCUMENTATION SUPPLY  
AND SALES  
P.O. Box 6790, 1211 Geneva 19, Suisse  
Tel. (070) 814511 ext. 141/142  
RN: *ISN 39.52*  
LC: *callno 232.4 86 P0*

## **LE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE**

**Matériel existant  
Etude du coût du mètre cube  
Comparaison avec d'autres modes de pompage  
Entretien  
Annexes**

**Jérôme BILLEREY  
GRET/GERES/AFME  
Décembre 1986**

**CETTE ETUDE A ETE REALISEE**  
**AVEC L'APPUI FINANCIER DE L'A.F.M.E.**  
**( Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie )**  
**ET DU MINISTERE DES RELATIONS EXTERIEURES**  
**( Service Coopération et Développement )**

**Les arguments développés n'engagent que leurs auteurs.**



## SOMMAIRE

<b>Chapitre I</b>	<b>PRESENTATION DU PRODUIT</b>	<b>1</b>
	<b>I.1. Généralités : les différentes techniques</b>	<b>3</b>
	I.1.1. Pompe à arbre long	4
	a/ Présentation	4
	b/ Aspect technique	4
	c/ Prix constructeur ( Février 1984)	5
	I.1.2. Pompe à moteur immergé	5
	a/ Moteur à courant continu dans l'air	6
	b/ Moteur à courant continu dans l'huile	7
	c/ Moteur à courant alternatif	8
	d/ Moteur à commutation électronique	9
	e/ Accouplement	10
	I.1.3. Les pompes de surface	12
	<b>I.2. Produits diffusés en France en Février 1984</b>	<b>13</b>
	I.2.1. Solar Force	13
	I.2.2. Photowatt	13
	I.2.3. Grundfos	14
	I.2.4. Autres constructeurs	14
	<b>I.3. Répartition des différentes solutions</b>	<b>15</b>
<b>Chapitre II</b>	<b>COÛT DU POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE</b>	<b>19</b>
	<b>II.1. Coût des ensembles</b>	<b>21</b>
	II.1.1. Solar Force	21
	II.1.2. Photowatt	22
	II.1.3. Grundfos	22
	II.1.4. Conclusion	23
	<b>II.2. Coût des annexes</b>	<b>24</b>
	II.2.1. Présentation	24
	II.2.2. Analyse d'un cas particulier	24
	<b>II.3. Analyse du coût total</b>	<b>26</b>
	II.3.1. Matériel à la sortie de l'usine	26
	II.3.2. Les annexes	26
	a/ Transport	26
	b/ Forage	26
	c/ Génie civil	26
	<b>II.4. Tentative d'optimisation</b>	<b>28</b>

II.4.1.	Effet de taille	28
	a/ Générateur photovoltaïque	
	b/ Pompe-moteur et accessoires	
	c/ Transport	
	d/ Forage ou puits	29
	e/ Le génie civil et les moyens de stockage	
	f/ Le montage	
II.4.2.	Quelques cas particuliers	29
II.4.3.	Simplification des installations	33
II.4.4.	Hypothèse d'un programme	34
<b>II.5.</b>	<b>Coût du mètre cube d'eau pompée par voie photovoltaïque</b>	<b>36</b>
II.5.1.	Présentation	36
II.5.2.	Tableau récapitulatif	37
II.5.3.	Hypothèses limites	38
	a/ Hypothèse haute	
	b/ Hypothèse basse	
	c/ Puissances moyennes et élevées	39
II.5.4.	Courbes récapitulatives	39
II.5.5.	Evolution dans le temps	40
<b>Chapitre III</b>	<b>PRODUITS CONCURRENTS</b>	<b>43</b>
III.1.	Hypothèse de travail	45
III.2.	Etude de cas	46
III.2.1.	Eolienne de pompage industrielle	46
III.2.2.	Eolienne de pompage artisanale	49
III.2.3.	Système à moteur thermique	50
III.2.4.	Autres systèmes	52
	a/ Pompe à pied	
	b/ Traction bovine	53
III.2.5.	Récapitulatif	54
III.3.	Paramètres sensibles - tendances à court terme	56
III.4.	Graphique récapitulatif	58
III.5.	Gamme d'utilisation rationnelle	61
<b>Chapitre IV</b>	<b>UN CAS PARTICULIER : LE POMPAGE DE SURFACE</b>	<b>63</b>
IV.1.	Généralités	65
IV.2.	Les coûts	67
IV.3.	Coût de la maintenance	68
IV.4.	Tableau récapitulatif - coût du m <sup>3</sup>	69

<b>Chapitre V</b>	<b>IMPLANTATION DES STATIONS DE POMPAGE</b>	<b>71</b>
	<b>V.1. Analyse des besoins et possibilités de la communauté d'accueil</b>	<b>73</b>
	<b>V.2. Utilisation de l'eau</b>	<b>74</b>
	<b>V.3. Structure locale</b>	<b>74</b>
	<b>V.4. Financement</b>	<b>75</b>
	<b>V.5. Suivi - Maintenance</b>	<b>77</b>
<b>Chapitre VI</b>	<b>ENTRETIEN DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES</b>	<b>79</b>
	<b>VI.1. Organisation</b>	<b>81</b>
	VI.1.1. Le personnel	81
	VI.1.2. Les moyens nécessaires	
	<b>VI.2. Répartition géographique</b>	<b>83</b>
	<b>VI.3. Nombre d'interventions annuelles</b>	<b>84</b>
	<b>VI.4. Nombre de pompes</b>	<b>86</b>
	<b>VI.5. Le coût de la maintenance</b>	<b>87</b>
	VI.5.1. Coût de la structure et du matériel	87
	VI.5.2. Coût des pièces détachées	
	VI.5.3. Coût total	89
	<b>VI.6. Travail de l'équipe de maintenance</b>	<b>90</b>
	VI.6.1. Les visites	90
	VI.6.2. Les pannes	91
	VI.6.3. La gestion du service	92
<b>Chapitre VII</b>	<b>PRISE EN CHARGE LOCALE</b>	<b>93</b>
	<b>VII.1. Prise en charge financière</b>	<b>95</b>
	<b>VII.2. Prise en charge technique</b>	<b>97</b>
	<b>VII.3. Les limites de la prise en charge</b>	<b>98</b>
	<b>CONCLUSION</b>	<b>99</b>
	<b>ANNEXES</b>	<b>101</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	





---

CHAPITRE I

PRESENTATION DU PRODUIT

---



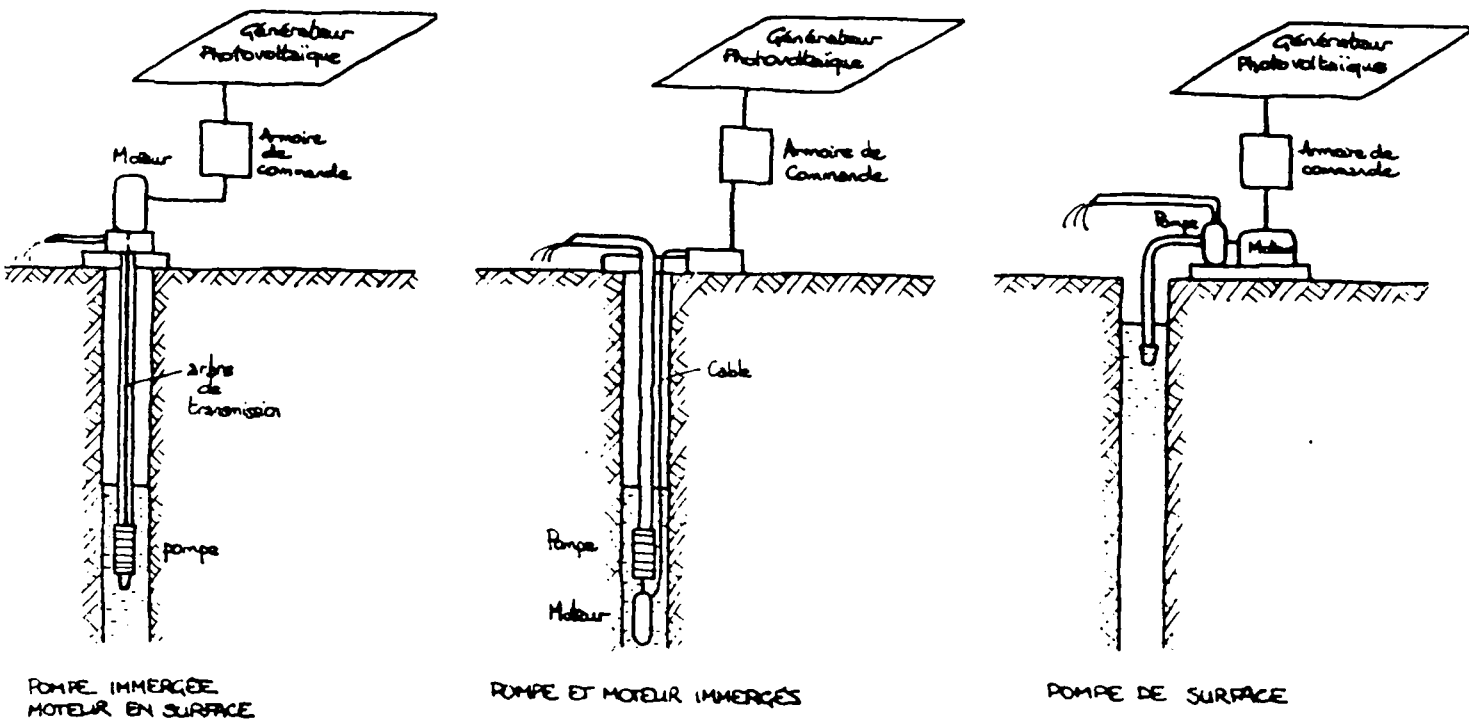
## I.1 GENERALITES : LES DIFFERENTES TECHNIQUES

Actuellement, il y a sur le marché trois types de produits :

- les pompes à arbre long ( type Alta X Guinard )
- les pompes à moteur immergé ( moteur continu ou alternatif )
- les pompes de surface ( aspiration maximale 7 m ).

Pour chacun de ces produits, on utilise un générateur photovoltaïque convenablement dimensionné en fonction des performances demandées et du site.

Nous aurons donc le schéma de fonctionnement suivant :



### **I.1.1. Pompe à arbre long**

#### a/ Présentation

Le moteur est en surface, la pompe est dans l'eau, la transmission de puissance se fait par un arbre long liant le rotor moteur aux étages impulsors de la pompe centrifuge.

Actuellement, sur le marché des pompes solaires, le seul constructeur qui présente un produit sérieux est l'entreprise Solar Force avec du matériel Guinard. Il y aurait plus de 200 installations de ce type dans le monde.

#### b/ Aspect technique

- \* Le moteur est en surface, les contraintes de dimensionnement ( rendement-échauffement ), les protections contre le soleil et la poussière ne posent pas de problèmes particuliers.

C'est un produit industriel dont la technique et les coûts ont été optimisés.

D'après l'expérience de Mali Aqua Viva, on peut compter sur une périodicité de changement des balais de plus de 18 mois.

Nous pouvons dire qu'un moteur de ce type fonctionnera couramment de 20 000 à 40 000 heures, soit de 10, 20 ans.

- \* L'hydraulique utilisée est standard, elle ne présente pas de caractère particulier. Sa durée de vie est fonction de la qualité de l'eau. Il semble que pour des " cas moyens ", on puisse compter sur des durées de 10 000 à 20 000 heures avant rénovation ( paliers, roues... ). Soit pour une pompe solaire de 5 à 10 ans.

- \* Transmission de puissance : elle est réalisée par un arbre long, liant le moteur et la pompe. Celui-ci tourne au milieu du tube de refoulement, il est guidé par des paliers situés tous les mètres.

Cette technique est utilisée en grande série sur les pompes industrielles mais sans impératif de rendement. On utilise des paliers particulièrement résistants à l'usure ( caoutchouc par exemple ).

Pour le solaire, compte tenu des prix et des niveaux de puissance, il fallait limiter les pertes, on utilise alors des paliers spéciaux.

La fiabilité globale de la colonne ( résistance magnétique des paliers, précision de l'usinage, précautions de montage... ) peut être améliorée ( durée de vie de 1 an à 5 ans suivant les installations, au MALI ).

- \* Le refoulement de l'eau se fait par un tube, on observe parfois un phénomène de corrosion lorsque l'eau est particulièrement agressive. Un bon graissage des pas de vis permet de limiter ce problème.
- \* Au niveau mécanique, à la surface, un roulement supporte la ligne d'arbre et les impulseurs permettant le réglage de la pompe. Un graissage annuel est suffisant lors d'une visite.

Pas de problème particulier à signaler.

c/ Prix constructeurs ( Février 1984 )

- \* Les prix ( départ usine ) indiqués par Solar Force sont les suivants :

pompe F 6.11 T 5	
+ moteur 750 W	
+ accessoires ( armoire de commande - bâti de tête )	40 000 F.
Colonne : le mètre	1 800 F.

### 1.1.2. Pompes à moteurs immergés

Pour supprimer l'arbre long, source de pannes, alourdissant le travail au montage et les coûts, la solution actuellement préconisée est de coupler directement la pompe au moteur, et d'immerger l'ensemble.

Un certain nombre de solutions ont été envisagées :

- au niveau moteur :

- + courant continu dans l'air
- + courant continu dans l'huile
- + courant alternatif

- au niveau accouplement :
  - + accouplement magnétique
    - . radial
    - . frontal
  - + accouplement direct
    - . joint mécanique ( étanchéité totale )
    - . rotor dans l'eau ( courant alternatif ).

L'hydraulique est en général un modèle industriel de série.

a/ Moteur à courant continu dans l'air ( étudié par Solar Force et Photowatt )

En vue d'optimiser les rendements, de simplifier le système, il semblait plus intéressant de réaliser un moteur qui pourrait utiliser directement le courant continu issu du générateur photovoltaïque.

Ces moteurs doivent faire face à plusieurs contraintes :

- étanchéité : on ne peut faire tourner des moteurs à courant continu dans l'eau, on isole l'intérieur du moteur grâce à une enceinte étanche. Les joints toriques sont parfaits pour les parties fixes, le problème se pose pour la transmission de puissance ( arbre tournant ).
- dimensionnement :
  - . pour pénétrer dans les forages de petit diamètre ( 4 ")
  - . la taille du rotor conditionne la dissipation thermique donc la puissance maximale du moteur.
- facilité d'accès aux balais car il faut prévoir un démontage tous les deux ans, au maximum.

Les moteurs sont en général à aimants permanents.

Le dimensionnement du collecteur est primordial, il doit supporter une usure importante, il conditionne souvent la durée de vie du moteur ( oxydation, échauffement... ).

Malgré ces quelques remarques, on peut dire que dans les petites puissances (  $P < 1\ 000\ W$  ), ces moteurs pourraient atteindre la fiabilité des moteurs industriels.

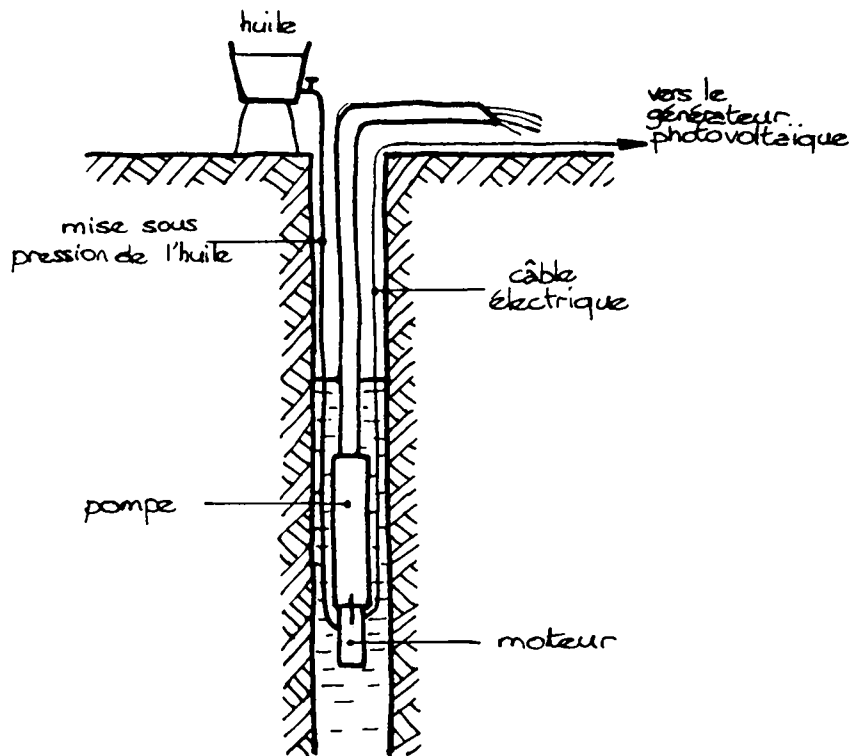
b/ Moteur à courant continu dans l'huile ( Solar Force )

Même démarche que pour les moteurs dans l'air. Pour améliorer la dissipation thermique, donc autoriser l'utilisation à de plus fortes puissances, une des solutions est de faire tourner le rotor en milieu conducteur thermique et isolant électrique : l'huile par exemple.

Cela ne pose pas de problème au niveau des balais.

Au niveau de l'étanchéité sur l'arbre, pour être sûr que l'eau ne rentre pas, le constructeur a pensé à une mise en pression de l'huile depuis la surface, un réservoir compense les pertes éventuelles.

L'accouplement avec l'hydraulique est direct ( voir § e ) d'où une étanchéité sur l'arbre.



c/ Moteur à courant alternatif ( développé par Grundfos et Total )

Afin de s'affranchir des problèmes de balais ( démontage périodique et étanchéité ), la solution actuellement développée consiste à alimenter le moteur avec du courant alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur.

Deux possibilités sont alors envisageables :

OPTION 1

Utiliser un groupe motopompe standard, c'est-à-dire produit en grande série, dont les coûts sont optimisés et la gamme étendue.

Cependant, le niveau de tension 220 V/380 V et les faibles rendements de ces systèmes à puissance faible et à fréquence variable semblent les rendre particulièrement intéressants pour des puissances élevées ( en photovoltaïque ), c'est-à-dire des moteurs de plus de 2 à 3 KW, fonctionnant à fréquence fixe ( 50 Hz ).

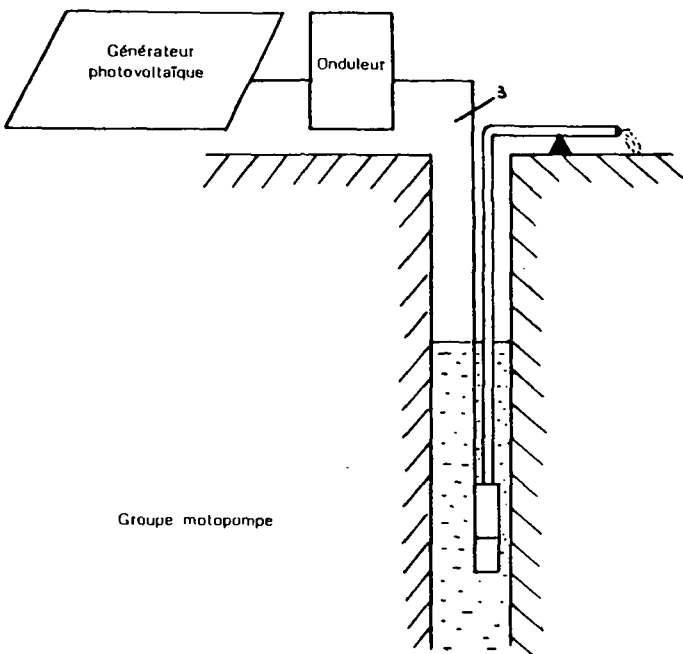
OPTION 2

Fabriquer un groupe motopompe afin d'adapter ses caractéristiques au générateur photovoltaïque et au fonctionnement au fil du soleil.

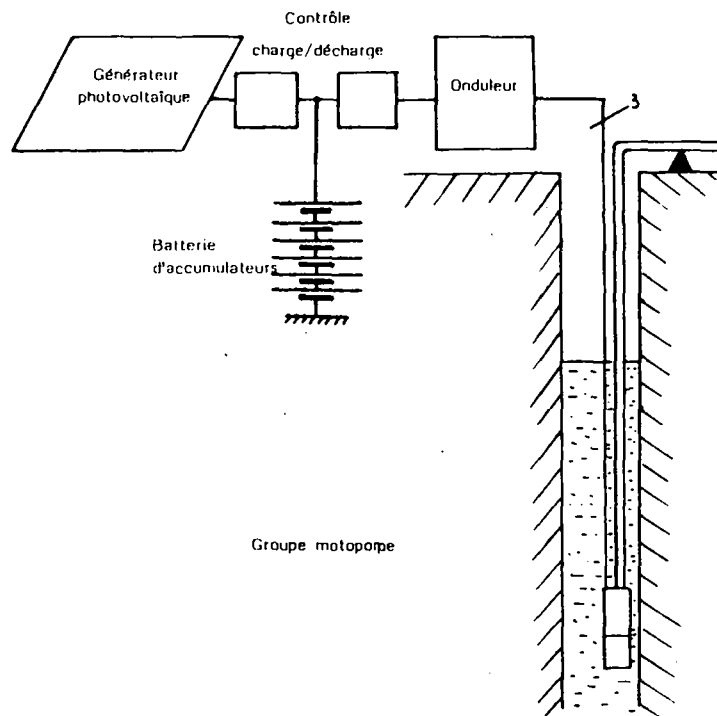
C'est-à-dire utiliser le moteur à vitesse variable et sous tension basse ( de 70 V à 80 V ).

Les schémas des options 1 et 2 sont les suivants :

Option 1



Option 2





Les avantages et inconvénients de ces solutions sont les suivants :

Option 1	Option 2
<b>Avantages</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- simplicité</li><li>- fiabilité</li><li>- bon rendement</li><li>- facilité de montage et démontage ( allège la maintenance )</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- gamme étendue</li><li>- groupe motopompe standard</li><li>- association de produits industriels de série</li><li>- fiabilité</li><li>- facilité de montage et démontage</li><li>- possibilité de stockage d'énergie</li><li>- reconversion de l'installation en centrale photovoltaïque</li><li>- possibilité d'alimenter la pompe par groupe électrogène</li></ul>
<b>Inconvénients</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- moteur de pompe spécial</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- utilisation d'une batterie d'accumulateurs ( durée de vie limitée - 5 à 10 ans - entretien, local technique )</li><li>- coût d'investissement</li><li>- réservé actuellement aux puissances élevées</li></ul>

d/ Groupe immergé à moteur à commutation électronique ( Elf )

C'est un moteur dont la commutation n'est plus assurée par un collecteur et des balais, mais par un circuit sur le stator créant un champ tournant.

Il y a donc un circuit électronique dans le moteur, le rotor est un aimant permanent.

Tous les composants fragiles sont moulés, l'ensemble peut donc être complètement noyé, il n'y a plus de problèmes d'étanchéité.

Avec une butée de contre-poussée axiale performante, on obtiendra d'excellents rendements au point nominal ( 90 % pour le moteur à 3 000 tr/mn d'après ELENE ).

Au niveau fiabilité et entretien, nous sommes ramenés au problème des groupes avec onduleur, à la différence près que l'électronique est dans l'eau, donc à température plus faible, moulée donc bien protégée, par contre moins accessible (nécessité de sortir la pompe et le moteur). La conception modulaire sera ici un gage de réussite.

Ce type de matériel n'est pas encore commercialisé. Ses performances sur site restent à prouver (adaptation au générateur, régime variable...).

### e/ Accouplement

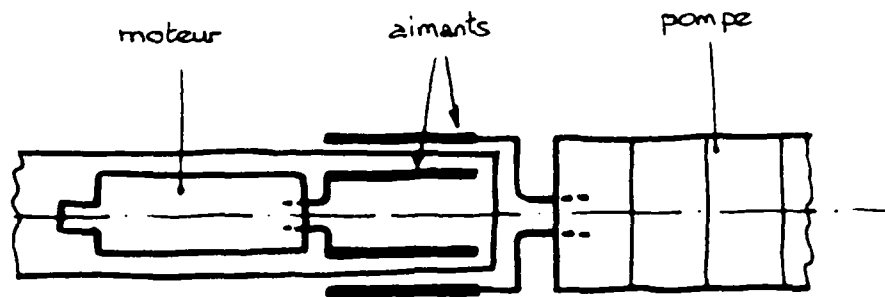
#### Accouplement magnétique

Pour ne pas perdre de puissance sur un axe, en réalisant l'étanchéité, on peut transmettre la puissance du moteur à la pompe en plaçant deux aimants face à face.

Il est ainsi facile de réaliser l'étanchéité du moteur par de simples joints toriques, tous les éléments étant fixes.

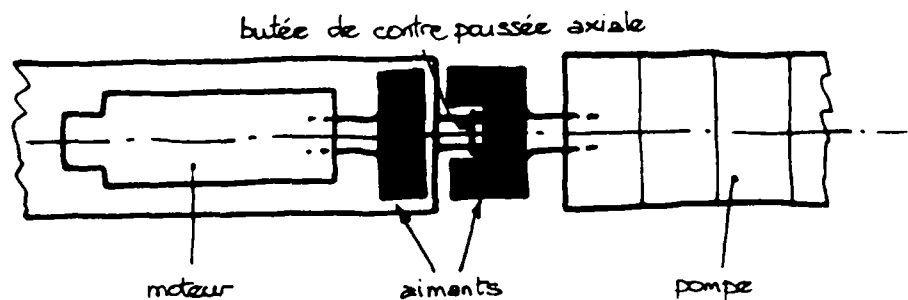
#### \* Accouplement radial ( Solar Force )

La solution choisie ici consiste à placer deux aimants sur un même axe et de leur donner une forme de cloche. La puissance transmissible étant proportionnelle à la surface, à la taille de la cloche déterminera les caractéristiques.



#### \* Accouplement frontal ( Photowatt ) - développement arrêté

Les deux aimants occupent toute la section du groupe motopompe, ils sont face à face.



Les deux systèmes décrits ci-dessus sont peu différents dans le principe, mais leur mise en oeuvre nécessite une bonne précision de montage et une grande stabilité dans le temps, il faudra utiliser des matériaux adaptés et réaliser des usinages.

Ces dispositifs ne peuvent actuellement pas transmettre des puissances supérieures à 1 KW ( voire 1,5 KW ) pour des pompes en 4".

Cette limitation en puissance permet d'utiliser l'accouplement comme protection naturelle du moteur lors d'un blocage de la pompe.

La fiabilité d'un tel système d'accouplement pourrait être excellente, mais les éléments d'appréciation manquent.

Au niveau de la maintenance, les interventions ne peuvent être envisagées qu'en atelier avec du personnel connaissant le produit et disposant d'un outillage adapté.

### Accouplement direct

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, l'utilisation de l'accouplement magnétique, séduisant par ses performances ( faibles pertes, facilité de réaliser l'étanchéité... ) ne permet pas de réaliser des groupes de pompage de forte puissance (  $> 1$  KW ) dans des diamètres 4".

La solution actuelle pour de tels cas consiste à accoupler directement le moteur et l'hydraulique de pompe par un arbre cannelé.

Il s'agit alors de réaliser une étanchéité de qualité, avec un minimum de pertes. On utilise généralement des étanchéités mécaniques.

#### \* Moteur à courant continu

Qu'il soit dans l'huile ou dans l'air, le rotor du moteur ne supporterait pas un changement de milieu ( air - eau ou huile - eau ). Avec les garnitures métalliques actuelles, on limite la fuite le long de l'arbre à  $1 \text{ cm}^3$  par jour au maximum.

- Pour le système dans l'air, il faut prévoir un écoulement de cette eau vers un stockage ( 2 ans ) au pied du moteur.
- Pour le système dans l'huile, celle-ci étant en surpression, il faut réalimenter le moteur à partir de la surface pour compenser la fuite.

Au niveau du coût, l'accouplement direct est avantageux, au niveau performance ( pertes ) et fiabilité, les installations réalisées devraient apporter des informations assez rapidement.

Les interventions sur le moteur ( changement des balais par exemple ) devront être réalisées avec un maximum de soin et dans un environnement propre.

### **1.1.3. Les pompes de surface**

Nous appellerons pompes de surface tous les systèmes de pompage pour lesquels l'eau à pomper est accessible facilement ( hauteur d'aspiration inférieure à 7 m ), le dimensionnement du groupe de pompage n'est pas conditionné par un forage.

Il s'agit d'un cas particulier dans le domaine du pompage qui présente un intérêt important au niveau des volumes d'eau pompée pour une puissance donnée compte tenu des HMT faibles généralement rencontrées.

En effet, une installation fournissant 30 m<sup>3</sup> à 20 m permettra de pomper 120 m<sup>3</sup> à 5 m.

On utilise dans ce cas des groupes compacts motopompe. Les pompes sont du type centrifuge unicellulaire, matériel de grande série essayé et optimisé depuis de nombreuses années.

Les moteurs sont à courant continu, comme il n'y a pas de contrainte de taille, on utilise des moteurs industriels standards.

Pour les cas de pompage sur fleuve ou mare, le groupe motopompe est installé soit sur la berge, soit sur un radeau. La solution du radeau est souvent difficile à mettre en oeuvre dans le pays en développement car les matériaux disponibles sur place ne sont pas toujours adaptés. De plus, se pose le problème du refoulement qui lie la pompe à la berge et déséquilibre le radeau, surtout quand le niveau d'eau varie.

Quand on installe le groupe motopompe sur la berge, on a obligatoirement un tuyau d'aspiration qui nécessite une procédure d'amorçage spéciale qui se renouvellera tous les matins si le clapet de pied fuit, ce qui arrive fréquemment, après quelque temps de fonctionnement.

L'installation directement sur l'eau permet de s'affranchir du problème de l'amorçage par verticalisation du groupe motopompe, l'hydraulique étant immergée.

## I.2. PRODUITS DIFFUSES EN FRANCE EN FEVRIER 1984

---

Au niveau du pompage, il y a actuellement peu de produits industriels. Seules 3 entreprises proposent du matériel sur le marché français :

- Solar Force
- Photowatt
- Grundfos.

### I.2.1. Solar Force ( Prix de Février 1984 - Départ usine )

Développement de toute une gamme de produits :

- moteur immergé à courant continu dans l'air avec accouplement magnétique ( 40 000 F. pour 30 m<sup>3</sup>/jour à 20 m, soit 1 000 Wc )
- moteur immergé à courant continu à bain d'huile avec accouplement direct ( 40 000 F. pour 45 m<sup>3</sup>/jour à 20 m, soit 1 500 Wc )
- pompe Alta X F développée chez Guinard depuis 1977 :
  - . 1 800 F/m pour la colonne
  - . 40 000 F. pour moteur + pompe + accessoires ( 33 m<sup>3</sup>/jour à 20 m, soit 1 300 Wc ).

Pour le détail des caractéristiques, voir la documentation du constructeur jointe en annexe.

### I.2.2. Photowatt

Développement des moteurs à courant continu abandonné. Propose actuellement les groupes motopompes Grundfos ( cf. § II.2.3. ).

### **I.2.3. Grundfos**

Développement d'une gamme immergée :

- moteur alternatif 72 V + onduleur en surface.

Actuellement le modèle le plus courant correspond à un générateur de 1 400 Wc ( onduleur 1 000 W ).

Coût indicatif : 20 000 F. pour pompe + moteur + accessoires.

Documentation jointe en annexe.

### **I.2.4. Autres constructeurs**

#### Total ( TED)

Des études ont été menées pour développer un système de pompage à moteur immergé. les choix techniques conduisent à la solution suivante :

- moteur à courant alternatif basse tension
- onduleur à la surface.

Les premiers systèmes seront installés 1er trimestre 1985.

Jeumont-Schneider : pas d'informations.

B.C. : pas d'informations.

#### Elf - Elene

Etudes sur moteur à courant continu à commutation électronique.

Excellent rendement ( > 90 % ) - pas de balais - électronique moulée et modulaire - gamme : 100 We à 1 000 We.

Produit d'avenir si les tests de laboratoire sont confirmés sur le terrain ( pas de prix connu ).

### **I.3. REPARTITION DES DIFFERENTES SOLUTIONS**

---

Jusqu'en 1982, le pompage solaire sur forage était dominé par le système Alta X de chez Guinard.

Cette technique donnait satisfaction, excepté les problèmes liés aux arbres de transmission. L'évolution au cours du temps a été très faible.

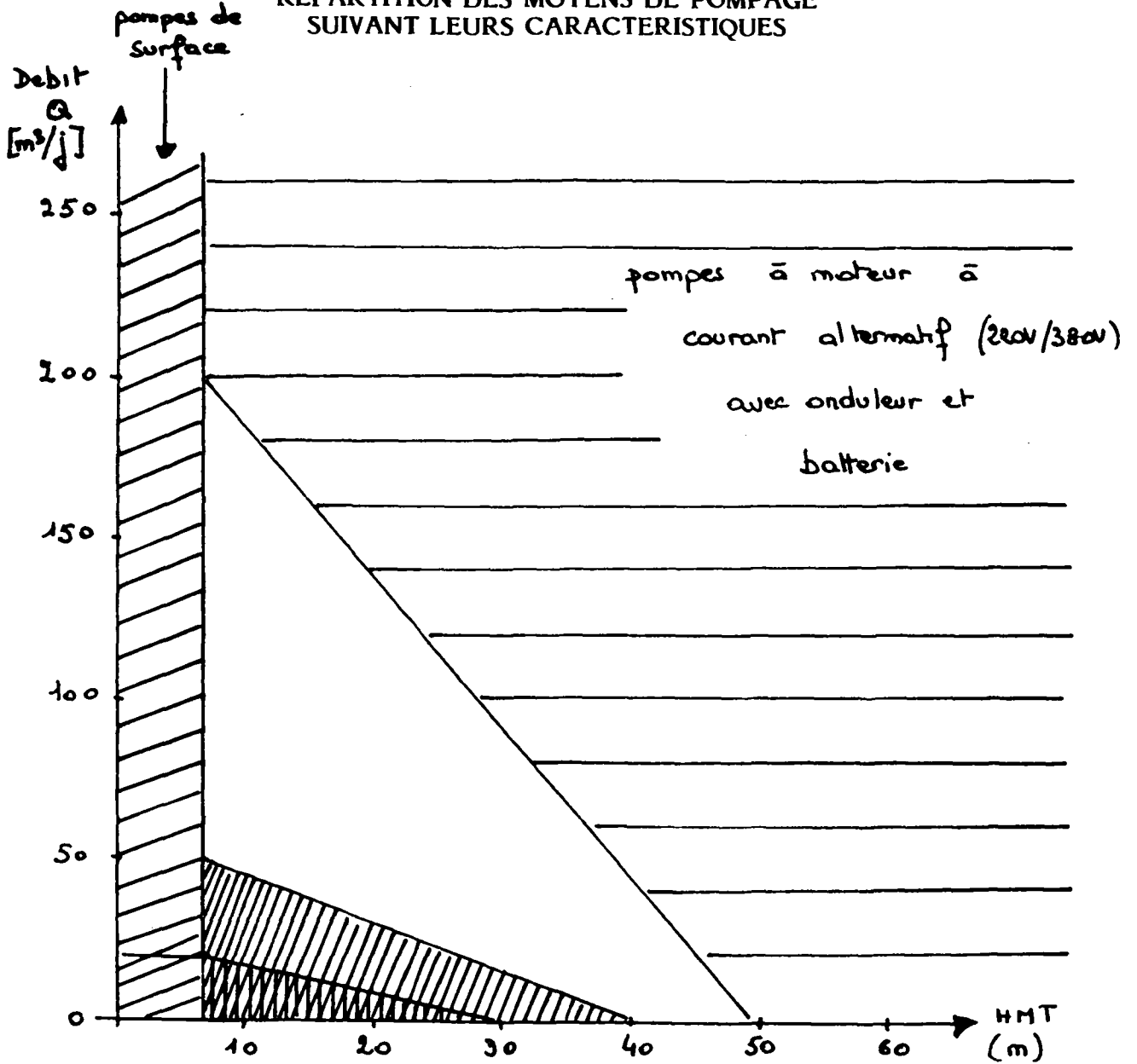
Son gros inconvénient résidait dans la lourdeur des interventions : montage et réparation ( lié à la colonne ).

Pour limiter ces difficultés, l'évolution conduit à généraliser les groupes motopompes immergés.

Photowatt, Sofretes puis Grundfos et Solar Force ont présenté des solutions dans ce sens.

Actuellement, suite à l'exposé des paragraphes I.1 et I.2, la répartition des techniques suivant leurs caractéristiques devrait se faire de la manière suivante :

### REPARTITION DES MOYENS DE POMPAGE SUIVANT LEURS CARACTERISTIQUES



Pompe à motricité humaine



Pompe à moteur à courant continu immergé



Tous types de pompe :

- Alta XF ( jusqu'à 30 m )
- immergée à courant continu
- immergée à courant alternatif basse tension
- immergée à courant alternatif ( 220 V/380 V ) et batteries



C'est-à-dire :

- les pompes Alta X, dont le fonctionnement est bien connu, les caractéristiques prouvées, seraient réservées aux systèmes puissants, compte tenu de leur prix, caractéristiques et pertes dans la colonne. La profondeur d'installation est limitée à la profondeur de 20 m pour réduire l'importance des interventions de maintenance et l'usure de la colonne.
- pour les grandes profondeurs ( HMT  $>$  50 m ), la seule solution techniquement possible actuellement est l'utilisation d'un groupe de pompage à courant alternatif industriel ( 220 V/380 V ) tri-phasé avec un onduleur et des batteries si nécessaire.
- les solutions intermédiaires restent très ouvertes dans la mesure où de nombreux systèmes sont en développement :
  - moteur à cc immergé
  - moteur à ca immergé + onduleur ( basse tension )
  - moteur à ca immergé + onduleur ( et batterie ) 220 V/380 V
- le moteur à courant continu avec commutation électronique, si son développement s'avère possible, pourrait perturber cette répartition dans la mesure où sa gamme d'utilisation part des faibles puissances jusqu'à 1 KW/moteur, actuellement.



---

CHAPITRE II

COUT DU POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE

---



## II.1. COUT DES ENSEMBLES

Comme nous l'avons vu précédemment, les systèmes de pompage sont diversifiés et en pleine évolution. On retrouve au niveau des prix cette variété.

Le coût d'un système dépend souvent de sa taille, des caractéristiques techniques ( Q - HMT ), du type de marché et des possibilités de son développement.

**Nota :** Les prix indiqués ci-après, communiqués par les constructeurs en Février 1984, sont à utiliser avec réserve. Ils permettent de situer l'ordre de grandeur du coût du " Watt système de pompage " en Février 1984. Mais les différences techniques sont à considérer avec prudence. Ne comparer que ce qui est comparable.

### II.1.1. Solar Force

a/ Ensemble de pompage Alta X F de 1 300 Wc

Q = 33 m<sup>3</sup>/jour

HMT = 20 m

Colonne 1 800 F/m	36 000 F
Pompe + moteur + accessoires	40 000 F
générateur 70 F/Wc	91 000 F
	<u>167 000 F</u>
	soit 128,5 F/Wc

b/ Pompe à moteur immergé à bain d'huile ( courant continu )

Q = 45 m<sup>3</sup>/jour

HMT = 20 m

1 500 Wc

Moteur + pompe + accessoires	40 000 F
Générateur 1 500 W à 70 F/Wc	105 000 F
	<u>145 000 F</u>
	soit 97 F/Wc

c/ Pompe à moteur immergé à courant continu avec accouplement magnétique.

$Q = 30 \text{ m}^3/\text{jour}$

HMT = 20 m

1 000 Wc

Moteur + pompe + accessoires	25 000 F
Accouplement	15 000 F
Générateur 1 000 Wc à 70 F/Wc	70 000 F
	<u>110 000 F</u>
	soit 110 F/Wc

### II.1.2. Photowatt

Pompe Grundfos + modules Photowatt

$Q = 50 \text{ m}^3/\text{jour}$

HMT = 20 m

à 6 KWh/m<sup>3</sup>

1 400 Wc

Ensemble	107 850 F
Refoulement galvanisé	7 000 F
	<u>114 850 F</u>
	soit 82 F/Wc

### II.1.3. Grundfos

Modules Arco-Solar

$Q = 42 \text{ m}^3/\text{jour}$

HMT = 20 m

1 400 Wc

Pompe + moteur + convertisseur + accessoires	20 000 F
Générateur 1 400 Wc à 70 F/Wc	98 000 F
Refoulement 20 m	7 000 F
	<u>125 000 F</u>
	soit 90 F/Wc

#### II.1.4. Conclusion

Pour des systèmes de taille voisine, nous obtenons un coût de Watt crête système qui varie de 90 F./Wc à 128 F./Wc.

Nous considérerons que le prix moyen, en Février 1984, pour un système de pompage, sorti d'usine, est de 100 FF/Wc.

Tableau récapitulatif ( en F./Wc )

Puissance Wc Marque	1 000	1 300	1 400	1 500
Solar Force	110	128,5		97
Photowatt			82	
Grundfos			90	

## II.2. COUT DES ANNEXES

---

### II.2.1. Présentation

Dans le paragraphe II.1 nous avons cerné approximativement le coût moyen d'un système de pompage, sorti d'usine.

Il s'agit d'un système nu, non représentatif du " coût réel " d'une station de pompage installée, en ordre de marche.

Pour évaluer ce " coût réel ", il est nécessaire de tenir compte d'un certain nombre d'autres facteurs :

- le forage
- le transport
- le génie civil
- le montage
- les aménagements, stockage de l'eau.

Ces différentes dépenses qui font partie intégrante du système de pompage sont extrêmement difficiles à évaluer dans une approche globale. Elles dépendent dans une large mesure du contexte local :

- situation géographique du pays ( livraison par avion ou par bateau )
- localisation du site par rapport aux axes de communication
- infrastructure disponible localement
- structure d'accueil
- compétence des équipes techniques locales
- motivation des populations
- etc...

Pour éviter d'échafauder une théorie générale sur ces coûts, qui sera nécessairement imprécise et qui risque d'être inutilisable pour des cas particuliers, nous allons étudier une zone précise.

Nous considérerons le cas du MALI dans la zone de SAN ( projet MALI AQUA VIVA ). Il s'agit d'un pays géographiquement représentatif de l'Afrique Sahélienne, particulièrement concernée par le pompage photovoltaïque.



MALI AQUA VIVA est un des exemples de structure adaptée aux problèmes du pompage, malgré les améliorations qui pourraient y être apportées, que nous analyserons par ailleurs dans le Chapitre V ( maintenance des systèmes photovoltaïques ).

## II.2.2. Analyse d'un cas particulier

Pour une pompe d'une puissance de 1 300 Wc type Alta X F ( Guinard ) nous avons en Février 1984 la décomposition suivante ( 30 m<sup>3</sup>/jour à 20 m ) :

- Transport par avion ( UTA ) : 5 F./t/km  
1 150 kg et 5 000 km, soit : 28 750 FF
- Transport aéroport-site : par camion 3,5 F./km  
1 000 km aller-retour, soit : 3 500 FF
- Forage : pour Mali Aqua Viva dans la zone de SAN 50 000 FF
- Génie civil adapté au générateur, protection des installations ( modules et pompe ) réalisé par de la main d'oeuvre locale 25 000 FF
- Moyens de stockage ( cf. Annexe XII ) :
  - . bassin de 30 m<sup>3</sup> en béton à ciel ouvert
  - . bassin de 8 m<sup>3</sup> en fer, fermé ( eau potable )
  - . aire de lavage et puits perdu
  - . abreuvoir 20 mRéalisation par un maçon local : 80 000 FF
- Montage de la station par l'équipe d'entretien locale. Avec du matériel disponible pour l'entretien.  
2 journées de travail. En comptant les transports : 4 000 FF

Soit pour ce cas particulier :

- Transport = France-Mali	28 750
Aéroport-site	3 500
- Forage	50 000
- Génie civil : générateur	25 000
stockage	80 000
- Montage	4 000

---

**Total 191 250 FF**

Soit pour 1 300 Wc ( 30 m<sup>3</sup>/j à 20 m ) : **152 FF/Wc**

## II.3. ANALYSE DU COUT TOTAL

---

### II.3.1. Matériel à la sortie de l'usine

Le prix moyen de 100 F./Wc correspond à un coût de Février 1984, compte tenu de l'état de développement des techniques à cette date.

Les générateurs photovoltaïques ont un prix qui évolue lentement à la baisse. Les systèmes de pompage sont encore en développement, l'effet de série devrait permettre une légère diminution des prix.

Globalement, le matériel en sortie d'usine présente une tendance à la baisse ( quelques pour cent par an ).

### II.3.2. Les annexes

L'analyse du § II.2.2. montre l'importance de 3 postes : - le transport  
- le forage  
- le génie civil.

#### a/ Le transport

Les transports maritimes sont de 2 à 3 fois moins chers que les transports aériens.

Pour un certain nombre de cas, ceux-ci sont peu pratiques et peu sûrs du fait des conditions locales.

Nous considérerons que ce poste ne peut être amélioré sensiblement sauf pour du matériel moins lourd ou des fabrications locales.

Dans notre cas, une pompe à moteur immergé de même puissance aurait pesé 950 kg ( au lieu de 1 400 kg pour l'Alta X F ). En réalisant une partie du support localement, on diminuerait le poids de 50 % soit un total de 700 kg. Le prix est alors ramené à 17 500 FF.

b/ Le forage

Nous avons considéré un cas particulier dans la zone de SAN. Dans d'autres conditions ( forages profonds, forage à la boue... ), ce prix peut être augmenté très sensiblement. Il n'y a pas d'amélioration à attendre pour ce poste.

c/ Le génie civil

MALI AQUA VIVA a jusqu'à présent réalisé des installations très complètes qui donnent entièrement satisfaction aux populations.

Cependant, elles peuvent être considérées comme luxueuses :

- bassin de stockage largement dimensionné ( celui-ci correspond au débit journalier de la pompe ), il est rarement plein ( le bassin est plein si l'eau est inutilisée ).
- bassin d'eau potable de 8 m<sup>3</sup>, en tôle, fermé : celui-ci est réalisé à Bamako, il nécessite une main-d'oeuvre compétente et un moyen de transport pour l'amener sur le site
- aire de lavage bétonnée ( 50 m<sup>2</sup> )
- abreuvoir de 20 m de long incitant au gaspillage de l'eau
- protection des modules par du grillage importé.

Quelques idées simples permettraient de réduire sensiblement le prix de l'installation ( cf. II.4. Tentative d'optimisation ).

## II.4. TENTATIVE D'OPTIMISATION

---

### II.4.1. Effet de taille

Nous venons de déterminer les principaux facteurs déterminant le coût final d'une station de pompage opérationnelle. Nous avons pris pour référence un cas réel de 1 300 W. En fonction de la puissance unitaire, certains des facteurs vont évoluer d'une manière différente.

#### a/ Générateur photovoltaïque

La puissance est proportionnelle à la surface donc le coût évoluera de la même façon, excepté les efforts sur les prix que pourront consentir les fabricants dans l'hypothèse de très importantes commandes.

#### b/ Pompe, moteur et accessoires

Matériel industriel, dans la gamme de puissance des moteurs de 500 W à 5 KW qui nous intéresse particulièrement, l'effet de taille intervient beaucoup dans la mesure où le prix dépend peu de la puissance, mais de la technologie et de l'effet de série.

L'influence du groupe de pompage sur l'ensemble n'est importante que pour les puissances faibles.

#### c/ Transport

Le prix sera fonction de la distance et du poids, donc en liaison directe avec la puissance crête.

d/ Forage ou puits

Plus l'installation sera importante, et plus le coût du forage sur le Watt crête sera faible.

Le prix du forage est lié aux conditions locales ( terrains rencontrés et entreprise de forage ).

e/ Le génie civil et les moyens de stockage

Le prix global augmentera avec la puissance, mais l'évolution n'est pas linéaire, compte tenu du fait qu'il s'agit de volume de stockage.

Le volume de stockage dépendra des besoins. Analyse cas par cas.

f/ Le montage

Dans la gamme 1 à 10 KWc, le temps de montage ne varie pas considérablement, donc le coût du Wc diminuera avec la puissance.

#### **II.4.2. Quelques cas particuliers**

Nous avons déjà analysé une pompe de 1 300 Wc . Voyons le coût réel d'une station de 5 200 Wc toujours dans le contexte de MALI AQUA VIVA.

	FF	F/Wc	%
Générateur + pompe + moteur + accessoires	475 000	92	61,7
Transport avion	70 000	12,7	8,5
Transport aéroport-site	3 500	0,6	0,4
Forage	50 000	9,6	6,4
Génie civil et stockage	170 000	33	22,2
Installation	6 000	1,1	0,8
<b>TOTAL</b>	<b>774 500</b>	<b>149</b>	<b>100,0</b>

\* Limite supérieure

Nous considérons le cas d'une pompe hypothétique de 15 KwC située au Mali.

	FF	F/Wc	%
Générateur + pompe + accessoires	1 350 000	90	72,0
Transport avion	150 000	10	8
Transport aéroport-site	4 000	0,4	0,3
Forage	60 000	4	3,2
Génie civil installation	75 000	5	4
Stockage	225 000	15	12
Installation	9 000	0,6	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>1 873 000</b>	<b>125</b>	<b>100,0</b>

Le système solaire est prédominant, nous tendons vers la stabilisation du coût du Wc.

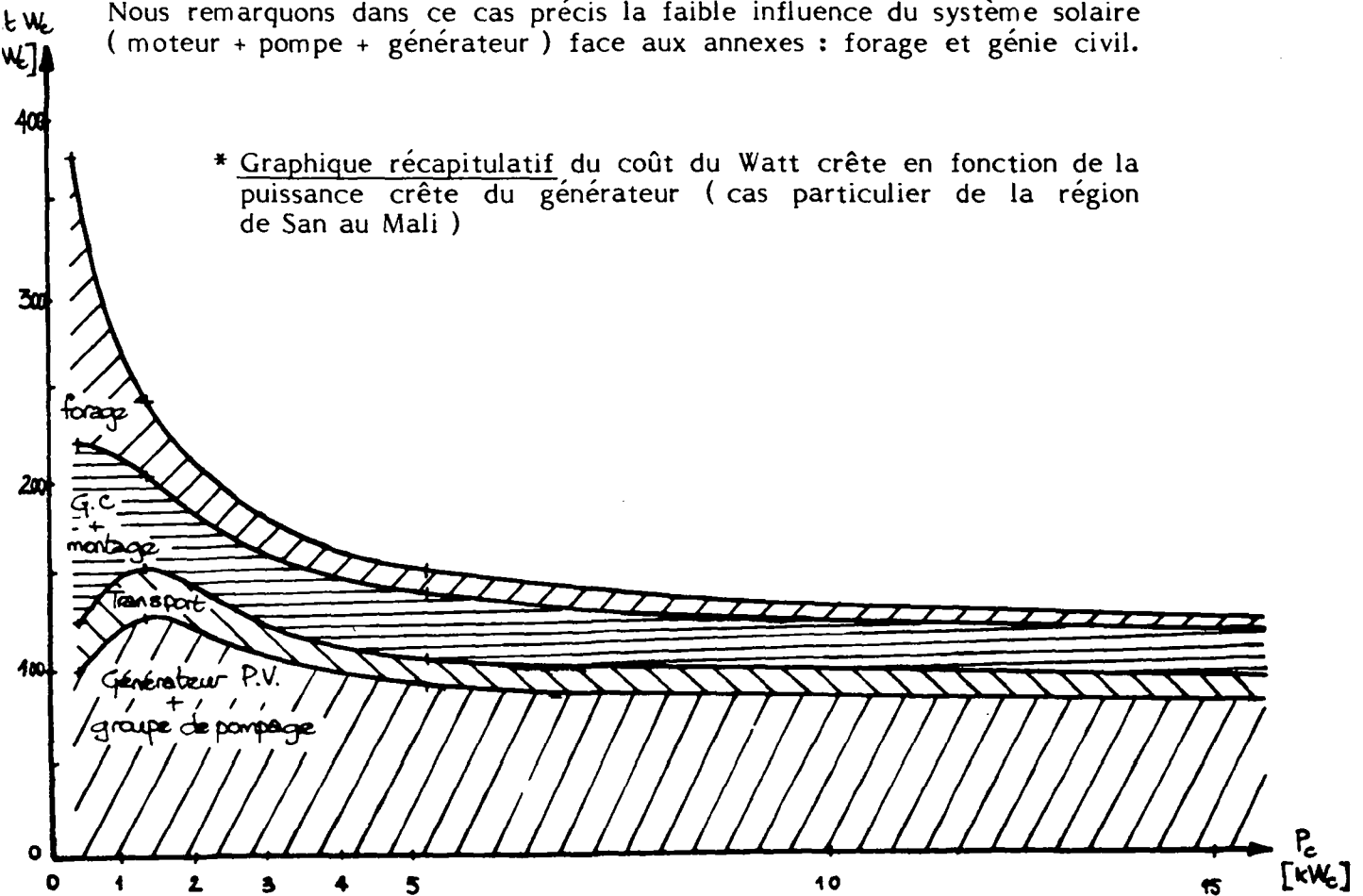
\* Limite pour les puissances faibles

Cas particulier de la pompe Photowatt de 320 Wc ( PW400 ) ( cette pompe n'est plus construite, l'ordre de grandeur des prix reste valable pour des systèmes de taille comparable ).

	FF	F/Wc	%
Générateur + pompe + moteur + accessoires	32 000	98,6	26,3
Transport avion	6 400	20	5,3
Transport aéroport-site	1 700	5,4	1,5
Forage	50 000	150	40,1
Génie civil générateur + stockage	30 000	94	25,1
Montage ( 1 jour )	2 000	6,2	1,7
TOTAL	122 100	374,2	100,0

Nous remarquons dans ce cas précis la faible influence du système solaire ( moteur + pompe + générateur ) face aux annexes : forage et génie civil.

\* Graphique récapitulatif du coût du Watt crête en fonction de la puissance crête du générateur ( cas particulier de la région de San au Mali )



Coût en F/Wc de chaque élément d'une station de pompage photovoltaïque en fonction de la puissance

Secteur	Puissance crête Wc		
	1 300	5 200	15 000
Total	271,7	150	125
Générateur + pompe + moteur	128	92	90
Transport	24	24	11
Génie civil montage	80,7	34	20
Forage	38	10	4

Les quatre cas particuliers étudiés au cours de ce chapitre montrent l'influence relative des différents postes en fonction de la taille. On obtient le tableau récapitulatif suivant :

	320 Wc	1 300 Wc	5 200 Wc	15 000 Wc
Générateur + pompe + accessoires	26,3 %	46,6 %	61,7 %	72,0 %
Transport	6,8 %	9 %	8,9 %	8,3 %
Forage	40,1 %	13,9 %	6,4 %	3,2 %
Génie civil et stockage	25,1 %	29,3 %	22,2 %	16,0 %
Montage	1,7 %	1,2 %	0,8 %	0,5 %

On remarque l'influence du prix du forage pour les faibles puissances et l'importance prépondérante du générateur photovoltaïque pour les puissances élevées.



### II.4.3. Simplification des installations

Dans les cas considérés jusqu'à présent, nous avons vu l'influence des aménagements ( de 15 à 30 % du coût total ).

C'est un poste qui peut être maîtrisé localement à court terme.

Il s'agit de définir avec précision dans chaque contexte quels sont les besoins réels des populations.

Par exemple, pour une installation d'hydraulique villageoise qui doit répondre à trois impératifs :

- eau potable et usages domestiques
- bétail
- maraîchage

on peut faire les remarques suivantes :

- eau potable :

- . pas de bassin de stockage
- . prévoir une (des) prise(s) d'eau directement en sortie de pompe
- . quand la pompe ne débite plus, les gens utilisent leurs réserves personnelles, ( seaux - bassines ).

- stockage :

- . si la pompe est normalement utilisée, son débit quotidien correspond aux besoins de la population
- . le bassin doit uniquement permettre le décalage dans le temps de la consommation par rapport à la production ( arrosage par exemple )
- . un volume de 50 % du débit journalier est suffisant ( expérience MALI AQUA VIVA ).

- les grands abreuvoirs favorisent la concentration des troupeaux et le gaspillage de l'eau. Un abreuvoir de 5 m est suffisant pour 20 bêtes simultanément soit environ 1 à 2 m<sup>3</sup>/h. Ce dimensionnement est à analyser cas par cas.

- La protection du générateur photovoltaïque pourrait être réalisée, dans un certain nombre de cas par un enclos en terre, construit par les populations. Le respect des villageois pour leur station de pompage est un gage de protection. Sur les 30 pompes de MALI AQUA VIVA en 5 ans on a noté un seul cas de malveillance.

Ces quelques mesures permettraient de réduire sensiblement le coût du génie civil et d'augmenter la participation des villageois à l'installation et à l'entretien de la station.

On peut estimer le prix global d'un tel aménagement ( cf. annexe VII bis ) à 50 000 F. au lieu de  $80\ 000 + 25\ 000 = 105\ 000$  F actuellement pour 1 300 Wc.

#### II.4.4. Hypothèse d'un programme

Pour minimiser les coûts, on s'intéresse à l'effet de série au niveau d'un véritable programme de pompage photovoltaïque.

Considérons par exemple l'installation de 25 pompes de 1 400 Wc ( moteur immergé à courant alternatif Grundfos par exemple ) dans un rayon de 150 km autour de la base de la structure d'accueil :

- pour le matériel nu départ usine, on compte 90 F./Wc ( § II.1.4. ), s o i t 126 000 FF
- Transport aérien : 17 500 FF
- Transport sur le site, on groupe les livraisons, 4 pompes transportées par voyage ( 1 000 km par voyage ), soit  $1\ 000 \times 3,5 \times 1/4 = 875$  FF
- Forage : poste fixe évalué à 50 000 FF
- Génie civil et stockage, on applique la solution simplifiée avec participation maximale de la population. L'effet de série ( moule, approvisionnement... ) réduit le prix par installation à : 40 000 FF
- Montage et mise en service : 1 journée à 2 personnes ( techniciens locaux ); 1 moyenne de 150 km, soit environ 1 000 FF

On arrive au bilan suivant :

	FF	F/Wc	%
Matériel importé	126 000	90,0	54
Annexes : transport	18 375	13,1	7
forage	50 000	35,7	21
génie civil et installation	41 000	29,3	18
TOTAL	235 375	168,1	100

La même installation, prise isolément, coûterait entre 200 F/Wc et 250 F/Wc en fonction des structures disponibles et du choix des aménagements.

D'autre part, dans le cas d'un programme, les coûts d'entretien sont notablement diminués ( cf. Chapitre V ).

Les chances de " survie " des installations dans le cas d'un tel programme sont sensiblement améliorées dans la mesure où il devient possible d'organiser la gestion, l'animation et l'entretien d'une manière plus efficace.

## II.5. COUT DU METRE CUBE D'EAU

---

### II.5.1. Présentation

Le coût du m<sup>3</sup> d'eau est fonction de plusieurs paramètres :

- puissance du générateur
- quantité d'eau pompée et à quelle profondeur
- durée d'amortissement
- taux d'intérêt.

Pour situer le coût du m<sup>3</sup> d'eau, nous allons faire une étude de l'amortissement du matériel et des aménagements sur trois cas particuliers :

. pompe Photowatt	320 W	} Région de San au Mali
. pompe Guinard	1 300 W	
. pompe Grundfos	1 400 W	
. pompe Guinard	5 200 W Alta X	

Compte tenu des conditions généralement rencontrées dans cette région particulière, nous avons choisi une HMT de 20 m.

Les durées d'amortissement sont issues de l'analyse du § I et des données de terrain, soit :

- générateur	20 ans
- moteur	5 ans
- hydraulique	5 ans
- génie civil ( + forage )	20 ans
- transport	10 ans

## II.5.2. Tableau récapitulatif

Cas moyen : HMT = 20 m / prix Février 1984 / Francs français

Le volume d'eau annuel considéré est le volume productible mesuré.

Puissance crete	320			1 300			1 400			5 200		
	$P_H = 18$	8m <sup>3</sup> /j		$P_H = 74,6$	33m <sup>3</sup> /j		$P_H = 93$	42m <sup>3</sup> /j		$P_H = 466,5$	200m <sup>3</sup> /j	
Générateur P.V.		22 500			91 000			98 000			364 000	
Moteur + pompe		13 500			76 000			27 000			150 000	
Transport		8 150			27 000			25 000			69 000	
Génie civil + forage		82 000			130 000			130 000			227 000	
Inflation %	0	7	12	0	7	12	0	7	12	0	7	12
20 ans amortissement générateur P.V.	1 125	2 132	3 000	4 550	8 585	12 133	4 900	9 245	13 067	18 200	34 340	48 533
5 ans amortissement moteur + pompe	2 700	3 293	3 750	15 200	18 536	21 111	5 400	6 585	7 500	30 000	36 585	41 667
10 ans amortissement transport	815	1 161	1 442	2 700	3 846	4 779	2 500	3 561	4 425	6 900	9 829	12 212
20 ans amortissement génie civil + forage	4 100	7 736	10 933	6 500	12 264	17 333	6 500	12 264	17 333	11 350	21 415	30 267
Amortissement total	8 740	14 362	19 125	28 950	43 231	55 356	19 300	31.655	42 325	66 450	102 169	132 679
Production m <sup>3</sup> /an		2 900			12 000			15 000			75 000	
Coût au m <sup>3</sup> total	3	4,9	6,6	2,4	3,6	4,6	1,3	2,1	2,8	0,9	1,3	1,8
Coût au m <sup>3</sup> système solaire	1,3	1,9	2,3	1,6	2,3	2,8	0,7	1,1	1,4	0,6	0,9	1,2
Transport	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
Génie civil + forage	1,4	2,6	3,8	0,6	1	1,4	0,4	0,8	1,1	0,2	0,3	0,4

$P_h$  = Puissance hydraulique moyenne.

Les prix indiqués ci-dessus sont tirés des résultats du § II.4.1.

Annuité :  $A = I_0/a$

$I_0$  = Investissement, année 0

$a$  = coefficient donné par le tableau ci-dessous :

Taux \ Durée	7 %	12 %
5 ans	4,1	3,6
10 "	7,02	5,65
20 "	10,6	7,5

### II.5.3. Hypothèses limites

#### a/ Hypothèse haute

Compte tenu de nos analyses précédentes, il semble que la pompe à arbre long soit plus coûteuse que les autres solutions caractéristiques équivalentes.

Nous prendrons donc ce cas comme la limite supérieure de prix, compte tenu du fait que dans la gamme de 1 300 W, cette technologie est peu à peu remplacée par les systèmes à moteur immergé.

#### b/ Hypothèse basse

Compte tenu du coût du Wc générateur qui se situe à 65 F./Wc au minimum, la proposition de Photowatt pour une pompe du type Grundfos de 1 400 Wc apparaît comme un seuil inférieur actuellement, soit 77 F./Wc sans le refoulement.

	1 400 Wc PW -50 m <sup>3</sup> /j		
Générateur		91 000	
Pompe + moteur		18 850	
Transport		25 000	
Genie civil + forage		130 000	
Taux d'intérêt %	0 %	7 %	12 %
20 ans amortissement générateur	4 550	8 585	12 133
5 ans amortissement moteur + pompe	3 370	4 110	4 680
10 ans amortissement transport	2 500	3 561	4 425
20 ans amortissement génie civil + forage	6 500	12 264	17 333
Total	16 920	28 250	38 571
m <sup>3</sup> /an		15 000	
Coût m <sup>3</sup> système solaire	0,6	0,9	1,1
Coût transport	0,2	0,2	0,3
Coût génie civil + forage	0,4	0,8	1,2
Coût m <sup>3</sup> total	1,1	1,9	2,6

Puissance basse : cas Photowatt à 77 F/Wc

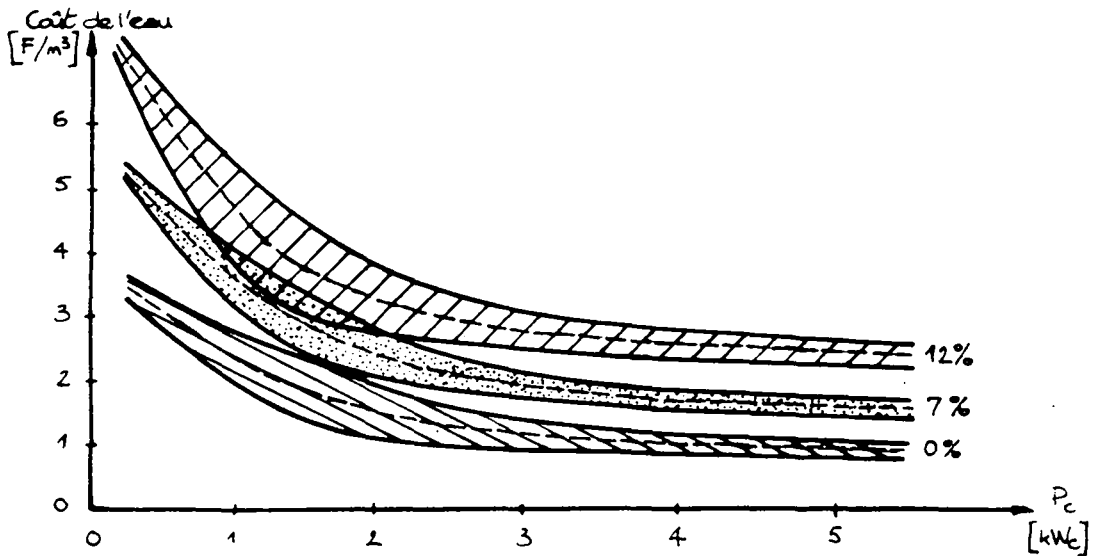
c/ Les puissances moyennes et élevées

	E 200 W			75 000 m <sup>3</sup> /an			-200 m <sup>3</sup> /j		
	Hypothèse basse			Hypothèse haute					
Générateur P.V.	330 000			330 000					
Moteur + pompe	130 000			170 000					
Transport	69 000			69 000					
Génie civil + forage	200 000			250 000					
Temps d'intérêt t	0	7	12	0	7	12			
20 ans amortissement générateur	16 900	31 887	43 067	19 500	36 752	52 000			
8 ans amortissement pompe	26 000	31 707	56 111	34 000	41 463	47 222			
10 ans amortissement transport	6 900	9 629	12 212	6 900	9 629	12 212			
20 ans amortissement génie civil + forage	10 000	18 868	26 667	12 000	23 585	33 333			
Amortissement total (FF)	59 800	92 291	120 057	72 900	111 669	144 767			
Coût au m <sup>3</sup> (F/m <sup>3</sup> )	0,8	1,2	1,6	0,97	1,5	1,93			

Puissances moyennes : les deux hypothèses.

Pour les puissances importantes, nous avons vu l'influence prépondérante du générateur P.V., nous considérerons donc son prix comme une limite ( entre 65 F./Wc et 75 F./Wc ).

II.5.4. Courbes récapitulatives



Coût du m<sup>3</sup> en fonction de la puissance crête ( hors entretien ) :

- données constructeurs et conditions locales ( Mali )
- HMT = 20 m

Pour la zone particulière considérée ici, nous pouvons donc définir l'ordre de grandeur du prix du m<sup>3</sup> d'eau pour une HMT de 20 m.

La même étude serait à refaire pour des HMT différentes. Compte tenu de l'incertitude de nombreux facteurs et des gammes développées par les constructeurs, nous considérerons que nous sommes dans une situation moyenne, peu modifiée entre 10 m et 40 m de HMT.

Pour les cas supérieurs à 40 m, nous entrons dans des situations particulières, peu fréquentes, la réponse des constructeurs est au coup par coup.

Pour des HMT inférieures à 10 m, nous pourrions faire une analogie avec le pompage de surface en tenant compte de quelques facteurs pénalisants ( forage, aménagement... ).

#### **II.5.5. Evolution dans le temps**

Il est difficile de définir l'évolution du coût de chaque élément dans les 5 ans à venir. Par contre, nous pouvons faire les hypothèses suivantes :

- Tous les éléments annexes :

- . transport
- . génie civil
- . forage
- . montage

ne peuvent que suivre le cours général des prix, rien à attendre de révolutionnaire au niveau technique.

- La pompe est en général une hydraulique de série utilisée sur d'autres groupes, donc réalisée en série, c'est-à-dire en général avec des coûts optimisés.
- Les moteurs sont actuellement réalisés à l'unité, le moulage de certains éléments, l'utilisation de matériaux moins coûteux permettrait d'abaisser légèrement les coûts ( quelques % par an ? ).
- Les générateurs évoluent assez peu, l'optimisation des techniques et procédés permettra de continuer à faire décroître légèrement les coûts ( quelques % par an ). L'apparition du silicium amorphe permettra peut-être une baisse sensible des modules... mais quand ?



Compte tenu de ces éléments, nous pouvons donc par exemple envisager une baisse de la partie système solaire de 5 % par an, en admettant que celui-ci compte pour 60 % du coût total, cela nous conduirait à une baisse de 3 % par an, soit à 15 % de baisse dans 5 ans. Compte tenu des incertitudes de l'évolution du marché, cela est négligeable.

**Nous considérerons donc qu'il y a peu de chose à court terme à attendre au niveau du prix.**



---

**CHAPITRE III**

**PRODUITS    CONCURRENTS**

---



### III.1. HYPOTHESES DE TRAVAIL

---

Dans une première hypothèse, nous allons nous placer dans la même configuration que le pompage solaire, c'est-à-dire une HMT fixe et arbitraire de 20 m.

Dans ces conditions, nous allons observer l'évolution du coût du m<sup>3</sup> en fonction de la puissance hydraulique.

Nous calculerons donc pour un certain nombre de techniques le prix du m<sup>3</sup> compte tenu du système et des aménagements.

### III.2. ETUDE DE CAS

#### III.2.1. Eolienne de pompage industrielle

Etude fondée sur les tarifs constructeurs de Février 1984 :

##### a/ Puissance faible

- Caractéristiques hydrauliques HMT = 20 m.  $Q_n = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ .

- Gisement éolien : 2 cas :

- . zone sahélienne : vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus du sol : 3,5 m/s ( probabilité selon la loi de Rayleigh ).
- . zone d'alizés : vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus du sol : 7 m/s ( probabilité selon la loi de Weibull avec  $k = 4$  ).
- . Cas n° 1 : Aérogénérateur UM 70-2500 Aérowatt installé à 30 m du sol : (  $\alpha = 0,15$  ). Productivité : 5 000 KWh.
- . Cas n° 2 : Aérogénérateur UM 70-2500 Aérowatt installé à 18 m du sol : (  $\alpha = 0,15$  ). Productivité : 15 000 KWh.

Rendement groupe motopompe : 25 % en régime variable.

Coût du mètre cube d'eau ( Février 1984 )

	Durée de vie	Cas n° 1 ( $\bar{V} = 3,5 \text{ m/s}$ )		Cas n° 2 ( $\bar{V} = 7 \text{ m/s}$ )	
		Investissement	Annuité intérêt 0 %	Investissement	Annuité intérêt 0 %
Aérogénérateur UM70/2500	7 ans	71 000	10 143		
Aérogénérateur UM70/5000	7 ans			80 850	11 550
Support SH70/300	20 ans	57 865	2 891		
Support SH70/180	20 ans			33 810	1 690
Coffret AW/MOT/2500	5 ans	13 110	2 622		
Coffret AW/MOT/5000	5 ans			15 365	3 071
Pompe S4-420 (12 m <sup>3</sup> /h à 20m)	5 ans	6 000	1 200	6 000	1 200
Total intermédiaire		147 975	16 856	136 015	17 511

		Cas n° 1 ( $\bar{V} = 3,5$ m/s )		Cas n° 2 ( $\bar{V} = 7$ m/s )	
	Durée de vie	Investissement	Annuité intérêt 0 %	Investissement	Annuité intérêt 0 %
Total intermédiaire		147 975	16 856	136 015	17 511
Amenagements : bassins	20 ans	80 000	4 000	80 000	4 000
genie civil	20 ans	30 000	1 500	30 000	1 500
Transport	10 ans	50 000	5 000	40 000	4 000
Montage : Aerowatt	10 ans	30 000	3 000	30 000	3 000
Forage	20 ans	50 000	2 500	50 000	2 500
TOTAL		387 975	32 856	366 015	32 511
Volume d'eau annuel m <sup>3</sup>		22 000		65 000	
Coût par m <sup>3</sup>		1,49		0,50	

Coût de l'entretien annuel ( Février 1984 ) :

- 2 visites annuelles personnel local, 2 000 FF/visite	4 000 FF
- 1 panne : 5 % de l'investissement matériel	7 500 FF
Déplacement	10 000 FF
	<hr/>
	21 500 FF

D'où un coût au m<sup>3</sup> : Cas n° 1 : 0,98 FF/m<sup>3</sup>  
                                   Cas n° 2 : 0,33 FF/m<sup>3</sup>

Coût total du mètre cube d'eau d'origine éolienne :

- Cas n° 1 (  $\bar{V} = 3$  m/s ) : 2,47 FF/m<sup>3</sup>
- Cas n° 2 (  $\bar{V} = 7$  m/s ) : 0,83 FF/m<sup>3</sup>.

b/ Puissance élevée

- Caractéristiques hydrauliques : HMT = 20 m; Q = 35 m<sup>3</sup>/h.
- Gisement éolien : identique au Cas n° 2 § a (  $\bar{V} = 7$  m/s, k = 4 ).

Coût du mètre cube d'eau

	Durée de vie (années)	Investissement (FF)	Annuité intérêt 0 %
Aérogénérateur UM70/5000 MOT	7	80 850	11 550
Support SH70/180	20	33 810	1 690
Coffret AW/MOT 5000	5	15 355	3 071
Pompe et câble	5	8 000	1 600
Transport	10	60 000	6 000
Stockage	20	30 000	1 500
Génie civil	20	100 000	5 000
Forage	20	50 000	2 500
Montage	10	30 000	3 000
TOTAL		408 015	35 911
Débit annuel (m <sup>3</sup> )	12 000		
Coût par m <sup>3</sup> (FF/m <sup>3</sup> )	0,30		

Entretien identique au § a soit 21 500 FF/an ou 0,18 FF/m<sup>3</sup>.

Soit un total de 0,48 FF/m<sup>3</sup>.

Le coût du mètre cube varie considérablement en fonction du gisement éolien qui peut varier dans des proportions importantes.

Actuellement Aéro watt propose des systèmes au fil du vent donc la puissance hydraulique maximale est de l'ordre de 2,5 KW. Pour les puissances supérieures, on utiliserait une batterie d'accumulateurs et un onduleur.



### III.2.2. Eolienne de pompage artisanale ( Prix 1984 ) - Eolienne Sahores

On compte 1 750 F. de matériaux.

Le travail est fourni par le paysan qui construit sa machine.

La pompe est du type " malienne " ou Grillot.

Le coût total sera d'environ 2 500 F.

Les caractéristiques : 10 m<sup>3</sup>/j à 10 m.

- On compte dans la vallée du Niger ( Mali ) 300 j/an de fonctionnement, soit 3 000 m<sup>3</sup>/an.

Nous considérons le cas à 10 m car ce système est utilisé pour de faibles profondeurs.

Il ne s'agit pas ici de comparer avec les autres techniques, mais de fixer les idées au niveau des coûts. Il est évident que ce système artisanal doit être comparé à d'autres systèmes artisanaux de même puissance.

Sur 5 ans, nous aurons un coût de 500 F./an. L'entretien s'élève à 100 F./an. Soit 600 F./an pour 3 000 m<sup>3</sup>, donc 0,2 F./m<sup>3</sup>.

En comptant : . le forage : 30 000 F. ( forage peu profond ), il n'est pas toujours nécessaire  
. le stockage : 10 000 F.,  
= sur 20 ans : 2 000 F./an, soit 0,7 F./m<sup>3</sup>.

Donc un coût total de **0,9 F./m<sup>3</sup>**.

La puissance hydraulique est de 30 W environ.

### III.2.3. Systèmes à moteur thermique ( Diesel ) ( Prix 1984 )

a/ 12 m<sup>3</sup>/h à 20 m ( 654 W hydraulique )

	Investissement	Durée de vie	Amortissement 0 %
Groupe électrogène Lister ST1 3 Kw + transport	70 000	4	17 500
Abri + socle + citerne gaz-oil	25 000	20	1 250
Montage	5 000	5	1 000
Pompe + câble + coffret	6 500	5	1 300
Forage	50 000	20	2 500
Stockage	40 000	20	2 000
TOTAL	196 000		25 550 F/an

Le coût du m<sup>3</sup> d'eau sera fonction de la durée de fonctionnement du moteur diesel. Celle-ci s'adapte parfaitement aux besoins en eau des populations.

Nous envisagerons 3 durées d'utilisation :

- 3 h/j = pas de culture - besoins domestiques : 36 m<sup>3</sup>/j à 20 m.
- 10 h/j = période intermédiaire : 120 m<sup>3</sup>/j
- 24 h/j = période de pointe ( maraîchage ) : 288 m<sup>3</sup>/j.

	3 h/j	10 h/j	24 h/j
Amortissement	25 550	25 550	25 550
Carburant : 0,5 l/kwh 1,5 l/h, 4 F/l	6 750	21 900	52 560
Huile : 5 l/100 h, 8 F/l	438	1 445	3 470
Entretien + pièces : 25 % de la valeur (50 000 F.) pour 2 500 h de fonctionnement	5 475	18 250	43 800
Main-d'oeuvre ( fonctionnement + entretien léger ) : 1 500 F./mois	18 000	18 000	18 000
TOTAL	56 213	85 145	143 380
M <sup>3</sup> produits et utilisés par an	13 140	43 800	105 120
Coût du m <sup>3</sup> ( F/m <sup>3</sup> )	4,28	1,94	1,36

On obtiendrait le même résultat avec un système à arbre long du type Alta X, le coût de l'arbre long contrebalançant l'alternateur et le moteur du groupe motopompe immergé.

b/ 60 m<sup>3</sup>/h à 20 m, soit 3,3 KW hydraulique environ, moteur 5 KW, groupe 15/20 KVA

	Investissement	Durée de vie	Amortissement annuel
Achat du groupe + transport	120 000 F	4	30 000
Génie civil - montage	40 000 F	20	2 000
Pompe + câble + protections	10 000 F	5	2 000
Forage	50 000 F	20	2 500
Stoc	80 000 F	20	4 000
	300 000 F		40 500 F/an

Coût du mètre cube d'eau pompée en fonction du temps de fonctionnement.  
Calcul sur une année.

	3 h/j	10 h/j	24 h/j
Investissement	40 500	40 500	40 500
Carburant 0,4 l/kwh x 15 = 6 l/h 4 F/l ( 24 F/h )	26 280	87 600	210 240
Huile : 10 l/100 h à 8 F/l	876	2 920	7 008
Entretien + pièces : 25 % de la valeur du groupe, 90 000 toutes les 2 500 h.	9 855	32 850	78 840
Main-d'oeuvre 1 500 F/mois	18 000	18 000	18 000
TOTAL	95 511	181 870	354 588
Quantité d'eau ( 60 m <sup>3</sup> /h )	67 700	219 000	525 600
Prix du m <sup>3</sup> en francs	1,45	0,83	0,67

c/ Nous remarquons l'évolution très rapide du coût du m<sup>3</sup>, l'effet de taille intervient beaucoup. L'investissement devient assez rapidement négligeable face aux frais de fonctionnement. Les frais de fonctionnement privilégient assez nettement les grosses puissances.

### III.2.4. Autres systèmes

Pour situer les systèmes de pompage solaire, éolien et thermique, nous allons calculer le coût de deux autres techniques de faible puissance dont l'intégration dans les communautés villageoises pour des usages domestiques se fait au mieux :

#### a/ Pompe à pied ( Hydropompe Vergnet )

	Investissement	Durée de vie	Amortissement annuel
Achat de la pompe + transport	7 000 F	7 ans	1 000
Forage et aménagement	50 000 F	20 ans	2 500
Entretien annuel			500
			4 000 F/an

Débit : 6 m<sup>3</sup>/j soit pour 10 heures de fonctionnement par jour à 20 m :  
2 190 m<sup>3</sup> par an.

soit : **1,8 F./m<sup>3</sup>**.

En cas de besoin, il est possible de placer deux pompes sur le forage :

	Investissement	Durée de vie	Amortissement annuel
Achat de 2 pompes à 7 000 F (+ transport)	14 000 F	7 ans	2 000
Forage	50 000 F	20 ans	2 500
Aménagement	10 000 F	20 ans	500
Entretien 500 x 2			1 000
			6 000 F/an

Débit journalier : 12 m<sup>3</sup>, soit 4 380 m<sup>3</sup>/an. Soit **1,4 F./m<sup>3</sup>**.

b/ Traction bovine ( Type Guérault CIEH 1977 réactualisé )

2 seaux de 40 l.

A 20m : 3 m<sup>3</sup>/h, 6 h/j, soit 18 m<sup>3</sup>/j ( Puissance hydraulique : 160 W ).

Coût : 14 000 F. Installation sur 5 ans soit 2 800 F./an

10 000 F. aménagement ( stockage/prise d'eau... ) sur 20 ans,  
soit 500 F. par an.

Entretien annuel : 1 000 F.

Soit 4 300 F./an pour 6 500 m<sup>3</sup>/an.

Donc **0,7 F./m<sup>3</sup>**.

Il faudra prévoir un gardien et deux boeufs, ce qui augmentera le prix dans la mesure où ceux-ci seront facturés aux utilisateurs.

Si le système est monté sur un puits busé, le coût du m<sup>3</sup> d'eau sera augmenté de 30 000 F. sur 20 ans, soit 1 500 F./an pour 6 500 m<sup>3</sup> dont : 0,25 F./m<sup>3</sup>.

Nous sommes donc au total à un coût de **1 F./m<sup>3</sup> environ**, excepté le gardien et les boeufs.

### III.2.5. Récapitulatif

Tableau récapitulatif des produits concurrents : HMT = 20 m; Prix 1984

Taux d'intérêt = 0 %

Puissance hydraulique moyenne

Technique		Puissance hydraulique (W)	Volume (m <sup>3</sup> /j)	Coût du m <sup>3</sup> (F/m <sup>3</sup> )	
ENERGIE EOLIENNE	Réf	V (m/s)			
	AW/2500/MOT	3,5	137	60	2,47
		7	404	180	0,83
	AW/5000/MOT	7	746,5	330	0,48
	Sahores	3,5	9	10 (à 10 m)	0,9
MOTEUR THERMIQUE	temps de fonctionnement (h/j)				
	3		81,7	36	4,28
	10		272,5	120	1,94
	24		654	288	1,36
	3		421	180	1,45
	10		1 362	600	0,83
	24		3 270	1 440	0,67
POMPE A PIED	Quantité				
	1		14	6	1,8
	2		28	12	1,4
TRACTION BOVINE			41	18	1

Tableau récapitulatif du pompage photovoltaïque : Intérêt = 0 % par an;  
Prix 1984; HMT = 20 m

Puissance crête (Wc)	Puissance hydraulique moyenne (W)	Volume (m <sup>3</sup> /j)	Coût du m <sup>3</sup> d'eau	
			Sans l'entretien	Y compris l'entretien
320	18	8	3	3,5
1 300	74,6	33	2,4	2,9
1 400	93	42	1,3	1,8
5 200	466,5	200	0,9	1,4
10 000	900	400	0,7	1,2

**Nota :** Le coût de l'entretien du pompage photovoltaïque est détaillé dans le Chapitre V.  
On compte ici un coût de 0,5 FF/m<sup>3</sup> en moyenne.

### III.3. PARAMETRES SENSIBLES. TENDANCES A COURT TERME

---

Nous avons considéré plusieurs types de techniques, il est possible de distinguer deux secteurs :

- le secteur artisanal.
- le secteur industriel.

Les systèmes artisanaux sont en général utilisés pour de faibles puissances (  $< 150$  W ) et sont tout à fait compétitifs. Les techniques simples de construction, les matériaux disponibles localement, le faible coût de la main-d'oeuvre nécessaire, permettent de dire que les coûts ne devraient pas évoluer, ou très peu, par contre ils suivront certainement l'inflation.

Ces modes de pompage sont généralement bien adaptés à l'environnement des pays en voie de développement. Ils correspondent souvent aux besoins exprimés par les populations et permettent une prise en charge totale.

Les systèmes industriels évoluent en fonction de plusieurs facteurs :

- l'inflation ( énergie, matières premières, main-d'oeuvre... )
- l'évolution des méthodes de fabrication, des techniques...
- les quantités produites.

Au niveau de l'inflation, tous les produits évolueront à peu près de la même manière.

Au niveau des méthodes de fabrication, les systèmes avec moteurs thermiques sont très optimisés, il y a peu de choses à attendre de cette technique au niveau des coûts, nous avons affaire à un produit mûr. Pour les systèmes éoliens et photovoltaïques, une meilleure définition du produit, des contraintes, de la fiabilité devrait permettre une optimisation de certains composants.

L'augmentation des quantités produites grâce à la stabilisation des systèmes devrait apporter une baisse sensible des coûts par effet de série.

Il est très difficile de chiffrer ces éléments, mais on peut supposer qu'il n'y aura pas de variations très spectaculaires. L'inflation très probablement compensera en partie les efforts faits dans le domaine des énergies renouvelables, d'où une stabilisation des prix.



Pour les moteurs thermiques, la grosse inconnue réside dans le prix de l'énergie à fournir : gaz-oil, essence... et les possibilités d'approvisionnement. Il est difficile de faire des hypothèses à long terme. A très court terme, nous pouvons supposer que le prix du carburant ne fluctuera pas trop. Dans les calculs nous avons considéré un prix moyen de 4 FF/l de gaz-oil.

Les différents systèmes de pompage étudiés sont moins des réponses aux problèmes techniques ( fiabilité - coûts ) que des réponses aux conditions locales de maintenance, de financement, d'approvisionnement en carburant.

### III.4.

### GRAPHIQUES RECAPITULATIFS

---

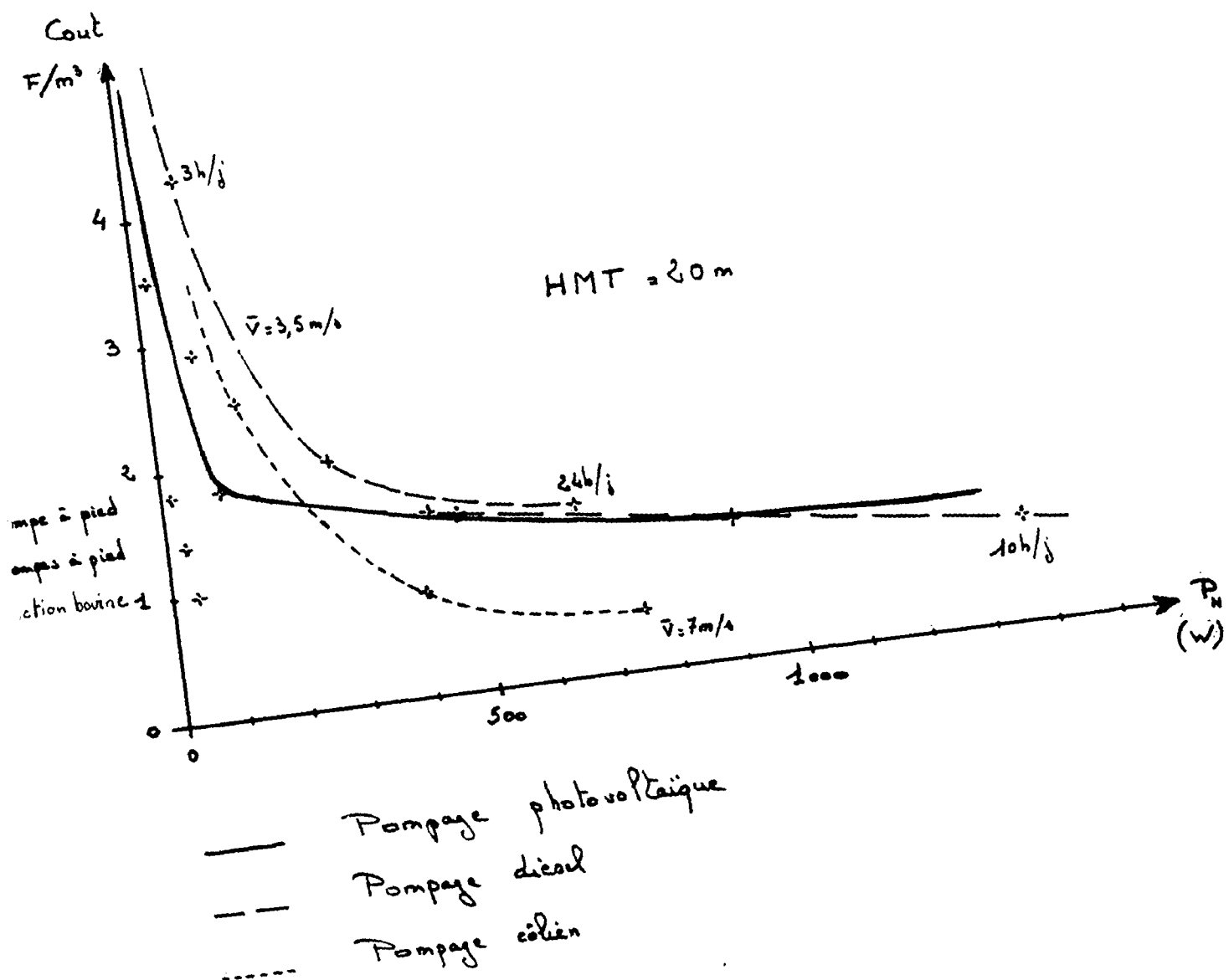
On constate que le pompage photovoltaïque semble économiquement justifié par rapport à un système de pompage à moteur thermique diesel **jusqu'à une puissance hydraulique moyenne de l'ordre de 500 à 600 W**, soit pour une puissance moyenne de 6 à 8 KWc.

Le pompage éolien est compétitif par rapport à la solution photovoltaïque et diesel dès que le gisement est suffisant, soit environ  $\bar{V} > 5$  m/s.

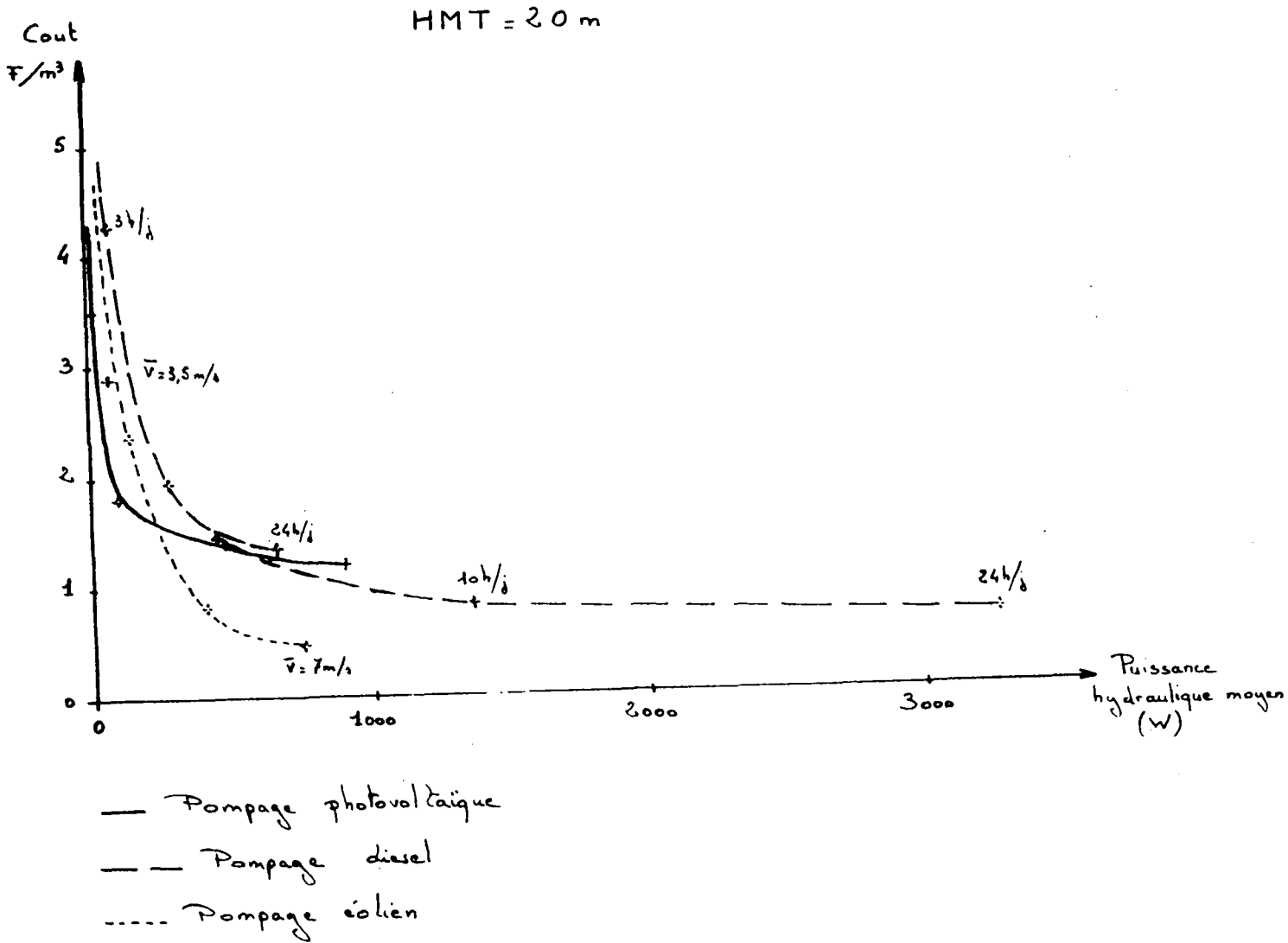
Il est évident que ces courbes doivent être analysées avec précaution :

- Le pompage diesel présente l'avantage de la souplesse d'utilisation ( volume d'eau disponible largement variable ), par contre le coût du m<sup>3</sup> d'eau est lié au prix du gas-oil.
- Le pompage photovoltaïque nécessite un investissement considérable.
- L'énergie éolienne n'est compétitive que si le gisement est à un certain niveau, cela limite ses applications.
- L'étude économique ne fait que compléter l'analyse des besoins et des ressources locales, elle ne la remplace pas.

# Coût du m<sup>3</sup> d'eau en fonction de la puissance hydraulique moyenne ( Février 1984 )



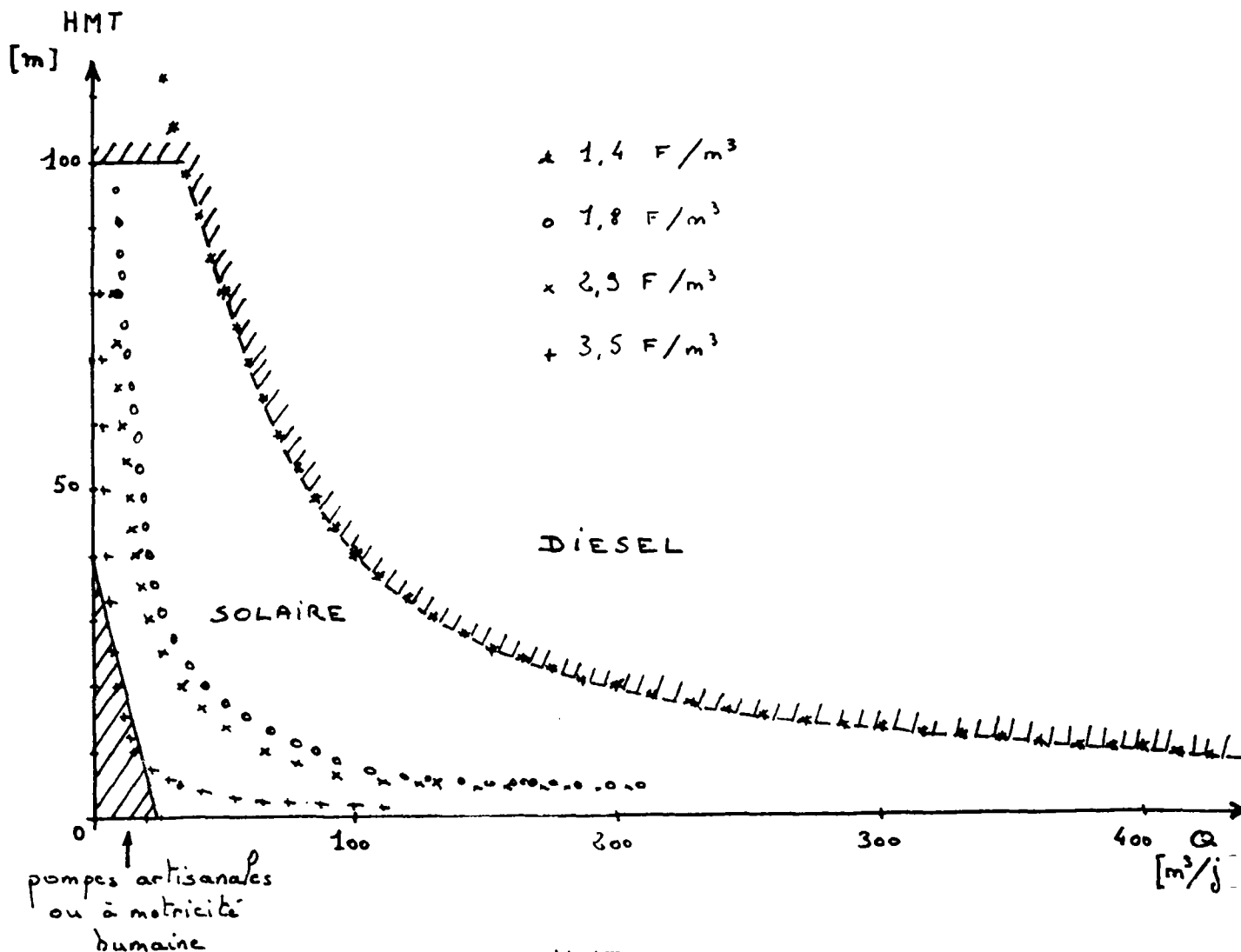
### Coût du m<sup>3</sup> d'eau en fonction de la puissance hydraulique moyenne ( Février 1984 )



### III.5. GAMME D'UTILISATION RATIONNELLE

Nos hypothèses de départ nous permettent de tracer des courbes iso-coût qui permettent de fixer les idées sur le prix prévisible du m<sup>3</sup> d'eau, en fonction des caractéristiques de la pompe.

#### Caractéristiques de coût en fonction de la HMT et du débit Q



$$P_H = \frac{Q \times HMT}{0,367}$$

Les limites qui ont été définies au cours de cette étude apparaissent ici et situent la gamme solaire.

Nous considérerons donc une première limite physique, compte tenu du matériel disponible; il est difficile d'envisager actuellement des systèmes de série permettant d'aller au-delà de 100 m.

Par l'analyse des coûts, nous limitons une aire fonction de  $Q \times H$ .

Pour les faibles HMT (  $< 10$  m ), la limite dépend du matériel communément utilisé, soit actuellement aux environs de 1 500 à 2 000 m<sup>3</sup>/j pour quelques mètres.

Le choix devra tenir compte de beaucoup d'autres facteurs :

- besoins
- disponibilité des gens
- structures locales
- motivations
- possibilités de prise en charge.

Dans le domaine des très faibles puissances, actuellement, le coût des systèmes solaires, les problèmes de maintenance qu'ils entraînent font que les solutions qui répondent aux besoins des populations sont plus souvent du domaine des systèmes mécaniques à motricité humaine ou animale.

---

**CHAPITRE IV**

**UN CAS PARTICULIER :  
LE POMPAGE DE SURFACE**

---





#### IV.1. GENERALITES

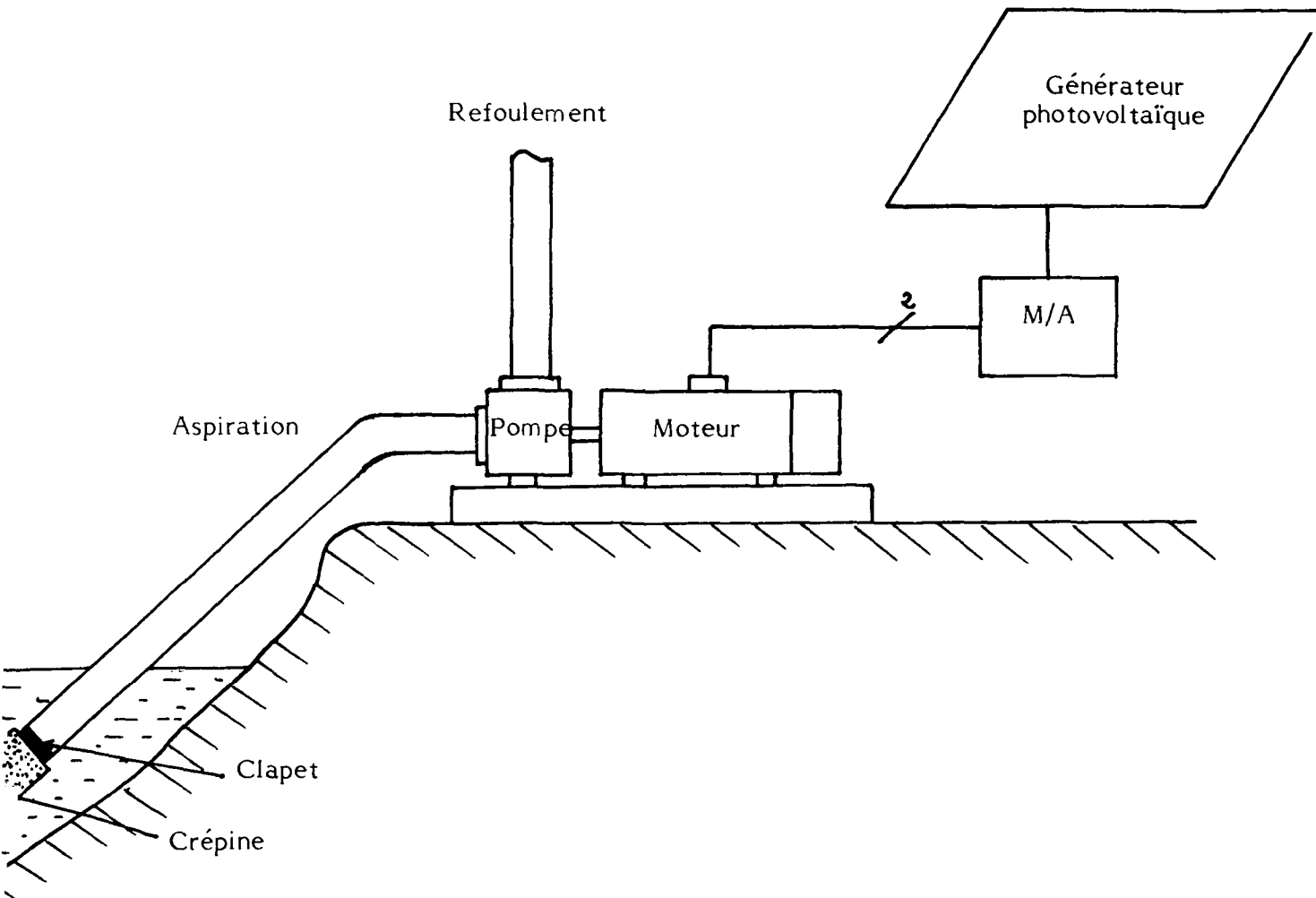
Nous avons considéré jusqu'à présent des stations de pompage sur des puits ou forages.

Il existe un cas particulier, moins généralisable, les groupes de pompage de surface.

Il ne s'agit plus de pomper dans une nappe profonde, mais dans un fleuve ou une mare.

Le groupe motopompe est placé sur la berge ou sur un radeau.

Il n'y a plus de problèmes de taille, d'étanchéité, d'accouplement. On utilise des systèmes industriels fabriqués en grande série.



L'hydraulique est de série, le moteur à courant continu est un produit industriel ( par exemple du même type que ceux utilisés pour les Alta X ). Son dimensionnement ne pose pas de problème, les balais sont facilement accessibles. Les rendements assez élevés.

L'ensemble est monté sur un châssis, qui permet son installation partout.

On obtient avec cette configuration une excellente fiabilité : 15 000 à 30 000 heures, voire plus peut-être ( 7 à 15 ans ).

Les balais sont à changer tous les 18 mois, mais l'intervention ne nécessite pas un démontage, elle se fait en quelques minutes.

Le seul problème que l'on rencontre fréquemment est celui de l'amorçage de la pompe. Il faut remplir le tuyau d'aspiration et faire disparaître les bulles d'air.

Si le clapet de pied fuit légèrement, cette opération sera à renouveler tous les matins.

Une des solutions à ce problème, c'est la verticalisation ( hydraulique immergée ) quand cela s'avère possible ( montage sur radeaux... ).

## IV.2. LES COÛTS ( Février 1984 )

Au niveau des coûts, on peut considérer que l'investissement solaire sera assez peu modifié par rapport aux pompes de forage pour les puissances de 1 000 à 2 000 W.

Par exemple pour une 1 300 W chez Solar-Force ( Guinard ), on aura :

Pompe + moteur + accessoires	40 000 F	
Générateur 70 F/Wc	91 000 F	
	<hr/>	
	131 000 F	soit 100 F/Wc

Quand la puissance augmente, le groupe pompe + moteur ne suit pas la même évolution des coûts, on obtiendra rapidement une prédominance du générateur sur le prix total. Soit pour 10 Kwc = 80 F/Wc environ.

Le transport sera du même ordre de grandeur que pour les autres types de pompe.

Les aménagements seront différents :

- pas de forage
- stockage limité à un bassin en béton ( irrigation uniquement ) du double du volume pompé journallement ( si possible pour la sécurité de l'approvisionnement ).
- l'installation du générateur ne change pas
- le montage non plus
- dans certains cas, il faudra prévoir un radeau ( fabrication locale ).

### IV.3. COUT DE LA MAINTENANCE

---

L'expérience montre que les techniques de pompage de surface sont particulièrement fiables.

En considérant une structure d'entretien spécialisée dans ce type de matériel, elle pourrait contrôler 80 pompes ( Chapitre VI ). Soit un coût de structure et matériel de :

$$\frac{163\ 500}{80} = 2\ 040 \text{ F par installation}$$

Le débit moyen pour un générateur de 2 000 WC, à une HMT de 7 M est de 250 m<sup>3</sup>/jour. Soit un coût de **0,02 F/m<sup>3</sup>**.

Le prix des pièces détachées s'élève à 2 645 F par an ( Février 1984 ), soit **0,03 F/m<sup>3</sup>**.

Donc un coût global de la maintenance d'un tel système de environ **0,05 F/m<sup>3</sup>**.

**Il y a environ un facteur 10 entre ce type de pompage et le pompage sur forage.** ( Le HMT est différent ).

L'investissement constitue la partie fondamentale dans le choix de cette solution.

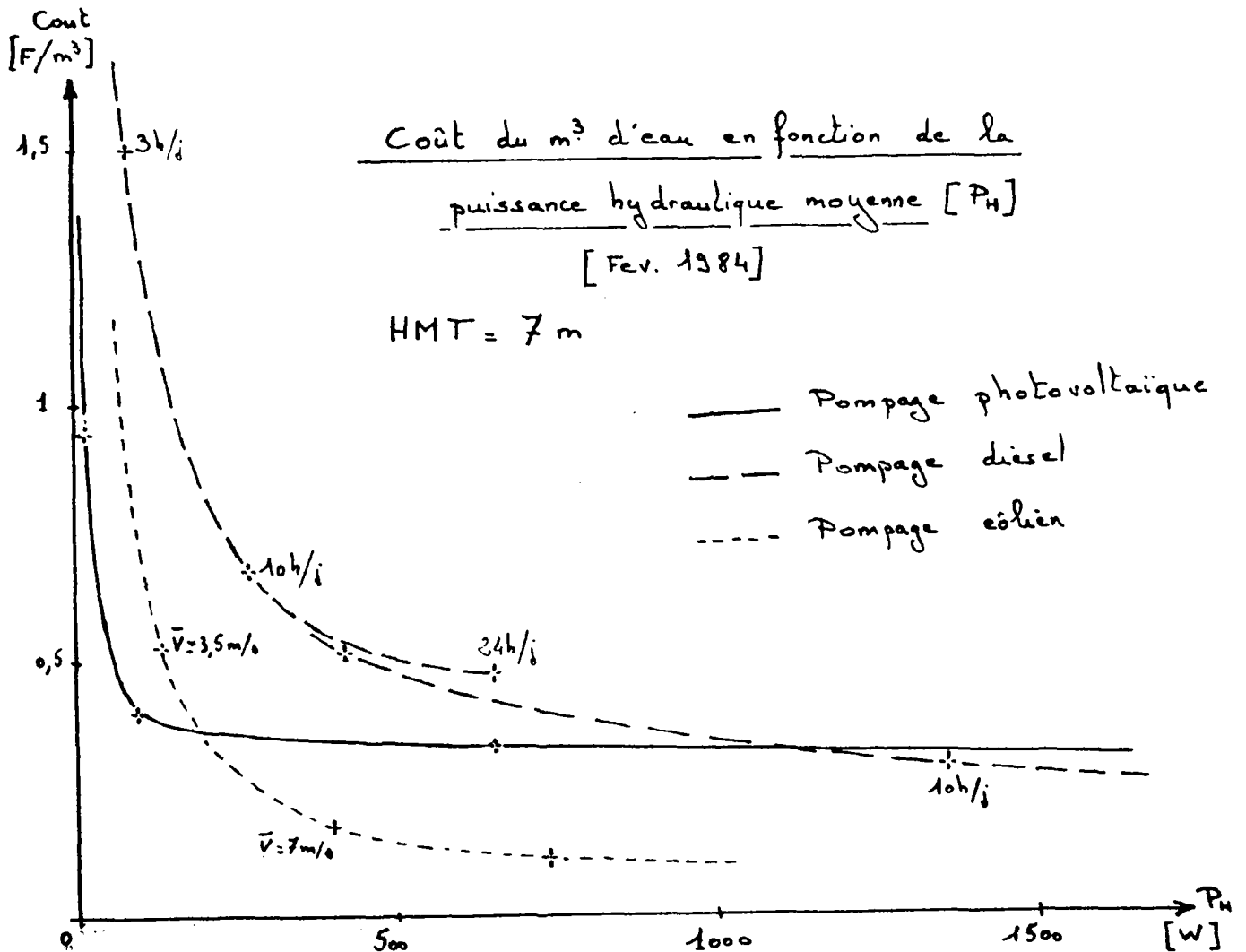
La maintenance ne coûte pas cher, mais elle est indispensable, elle doit être rapide et efficace ( risque de perte des récoltes par exemple ).

Le pompage de surface à partir de l'énergie éolienne ou à partir de groupes diesel n'apportera pas de modifications sensibles des coûts par rapport au pompage sur forage ( utilisation de pompes fabriquées en grande série ).

A puissance égale, le débit sera beaucoup plus important, donc le coût du m<sup>3</sup> plus faible.

IV.4. TABLEAU RECAPITULATIF - COUT DU M<sup>3</sup>

Puissance en Wc	250 W			1 300 W			10 KW		
	Coût total	Durée	Par an	Coût total	Durée	Par an	Coût total	Durée	Par an
Investissement générateur	25 000	20	2 500	91 000	20	4 550	650 000	20	325 000
Investissement pompe + moteur + accessoires	15 000	7	2 143	40 000	7	5 710	150 000	7	215 000
Transport	8 000	10	800	30 000	10	3 000	180 000	10	18 000
Aménagements ( stockage )	20 000	20	1 000	40 000	20	2 000	250 000	20	12 500
Radeau	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortissement total 0 %	-	-	6 443	-	-	15 260	-	-	84 500
10 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entretien			1 000			2 500			15 000
Nombre de m <sup>3</sup> /jour			à 4 m 40 m <sup>3</sup>			à 7 m 150 m <sup>3</sup>			à 7 m 1 000 m <sup>3</sup>
Coût total par an			6 443			17 760			100 000
Coût du m <sup>3</sup> par an			0,54			0,4			0,33
Pour une HMT = 5 m : (FF/m <sup>3</sup> )	10 000 m <sup>3</sup> /an : 0,64			60 000 m <sup>3</sup> /an : 0,3			330 000 m <sup>3</sup> /an : 0,26		



L'énergie photovoltaïque est compétitive pour une puissance hydraulique inférieure à 1 000 W moyen ( environ 10 KWc ).

Son inconvénient réside dans le manque de souplesse lors de son utilisation. Si on surdimensionne le système, on arrive à des investissements considérables, sinon on risque de ne pouvoir passer les pointes de consommation.

Le solaire pourrait très bien être utilisé en relève de petits groupes existants, qui fourniraient la sécurité et la possibilité de passer les pointes et les périodes mal ensoleillées sans un surcoût considérable.

On remarquera l'intérêt de l'énergie éolienne pour le bon gisement ( $V > 6 \text{ m/s}$ ).

---

## CHAPITRE V

### IMPLANTATION DES STATIONS DE POMPAGE

---

Face à un problème de pompage, compte tenu de la multiplicité des solutions théoriques, une analyse des conditions locales est impérative.

Les besoins, la capacité d'investissement et les possibilités d'entretien du matériel sont des facteurs déterminants.





## V.1. ANALYSE DES BESOINS ET POSSIBILITES DE LA COMMUNAUTE D'ACCUEIL

Il s'agit ici de situer réellement quelles sont les conditions locales :

- a/ - besoin moyen en quantité ( m<sup>3</sup>/jour )
  - utilisation prévue de la ressource ( domestique, maraîchage, élevage )
  - période d'utilisation maximale dans l'année ( m<sup>3</sup>/jour )
  - régularité de la consommation au cours de la journée.
  
- b/ - motivation de la communauté d'accueil et de ses responsables
  - possibilités d'animation du point d'eau.
  
- c/ - possibilités de prise en charge financière de l'investissement
  - possibilité de prise en charge de la maintenance.
  
- d/ - prise en charge technique :
  - . mise en route de l'installation par exemple dans le cas d'un diesel.
  - . suivi quotidien du matériel, nettoyage, tenue d'un cahier de suivi.
  
- e/ - ressource en eau : les caractéristiques du forage et de la nappe phréatique ( niveau dynamique et débit ) vont imposer des contraintes techniques.

## V.2. UTILISATION DE L'EAU

---

On connaît le volume d'eau productible par une station de pompage photovoltaïque.

L'investissement ne pourra être valorisé au maximum si l'eau n'est pas utilisée en totalité.

On considérera en priorité les besoins des populations en eau avant de choisir le mode de pompage le mieux adapté.

L'animation du point d'eau, en particulier, dans le cas d'une pompe solaire visera l'utilisation maximale de la ressource en eau.

## V.3. STRUCTURE LOCALE

---

Nous savons qu'il est actuellement impossible d'implanter une station de pompage de manière totalement isolée. Dans tous les cas et pour toutes les techniques industrielles, l'environnement immédiat revêt une importance primordiale.

- Densité de la population, tissu urbain ou rural ( conditionne les quantités d'eau à fournir et leur répartition ).
- Situation géographique, moyens d'accès : cela permettra de déterminer le coût et la faisabilité d'un service de maintenance.
- Densité et type des installations existantes ( permet de situer le genre de matériel à envisager, les services en place et à créer ).
- Structures disponibles ( permet d'envisager l'intégration à un programme existant ). L'analyse des projets et la volonté des administrations locales permettra de prévoir l'évolution d'un service de maintenance, son fonctionnement et sa possibilité de survivre dans un contexte donné.

#### V.4. FINANCEMENT

Compte tenu du choix technique effectué, il faudra financer l'installation.

Il y a deux postes à considérer :

- l'investissement
- la maintenance.

En fonction des conditions locales (richesse des populations, acuité des besoins), l'organisme responsable de l'implantation des installations devra essayer d'obtenir la participation financière des populations, seule garantie efficace de l'intérêt pour cette solution.

La sensibilisation aux coûts des systèmes solaires doit conduire à la création d'un comité de gestion de l'eau qui rassemblera les fonds nécessaires à :

- l'investissement
- l'entretien.

la part des populations à l'investissement est assez variable, dans la zone de SAN, elles achètent les hydro-pompes Vergnet au prix coûtant ( 6 000 FF en 1984 ) et participent pour 40 000 FF. à l'achat des pompes solaires. Dans cette région, on peut évaluer la participation à l'investissement des villageois entre 10 et 50 FF. par personne active.

Pour un village de taille moyenne ( 1 000 actifs ), la contribution à l'investissement ne pourra pas dépasser 50 000 FF. actuellement, pour les plus riches.

Si le travail d'animation est correctement mené, le comité de gestion de l'eau devrait collecter une redevance forfaitaire, auprès de chaque utilisateur, en fonction des consommations de chacun ( vente de l'eau au seau, ou à l'année... ).

Le prix minimum du mètre cube d'eau devrait être égal au prix de l'entretien, soit 0,5 FF. ( cf. § V.5. ).

Quand la participation financière à l'entretien semble impossible, la somme versée pour l'investissement sera utilisée pour maintenir en état le système les premières années; l'animation sera renforcée afin d'arriver progressivement à la prise en charge d'une part du coût de l'entretien.

Lorsque cela est nécessaire, l'investissement devra être complété par des financements extérieurs :

- banques
- ONG
- Etats
- coopération bilatérale
- coopération multilatérale...

La participation des populations ne peut être envisagée si il n'existe pas de structure locale ( nationale ou régionale ) garantissant aux utilisateurs le fonctionnement des installations, et leur donnant confiance dans les systèmes proposés.

## V.5. SUIVI - MAINTENANCE

---

Quel que soit le type d'installation, il est nécessaire de prévoir :

- contrôle quotidien par un utilisateur responsable de la station ( et rémunéré par l'ensemble de la communauté ).
- gardiennage plus ou moins important suivant les cas ( aire grillagée, local fermé... ).
- pour les systèmes le demandant ( groupe électrogène ), contrôle avant le démarrage ( huile, air, carburant... ).
- formation des villageois pour les opérations de base.
- tenue d'un cahier journalier notant les heures de fonctionnement, les problèmes, les remarques à propos de l'utilisation.
- contrôle technique périodique par une équipe spécialisée.
- stock de pièces de rechange toujours approvisionné.
- dépannage uniquement à la demande des villageois.



---

**CHAPITRE VI**  
**ENTRETIEN**  
**DES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES**

---

Nous avons analysé le coût et les conditions d'installation des systèmes photovoltaïques.

Ce chapitre aborde les problèmes liés à l'entretien.

A partir des expériences connues de structures de maintenance, nous présentons ici quelques idées pour bâtir un service cohérent d'installation et d'entretien.

Nous considérons une équipe spécialisée, autonome financièrement et matériellement, rattachée à un projet ou un service lui permettant de bénéficier d'une couverture plus large ( locaux, gestion, matériel spécialisé... ).





## **VI.1. ORGANISATION**

Dans ce paragraphe, nous utilisons exclusivement l'expérience acquise par Mali Aqua Viva, qui, avec 30 installations, a pu mettre en place un service spécifique de maintenance solaire.

### **VI.1.1. Le personnel**

Une équipe de deux personnes convient parfaitement :

- 1 ouvrier-chauffeur : homme à tout faire de l'équipe, il ne devra pas être spécialisé, mais l'esprit ouvert à toutes les techniques ( mécanique, électricité, maçonnerie... ).
- 1 technicien : chargé particulièrement de la détection des pannes, des mesures sur site, des réparations et rénovations en atelier. Ce sera de préférence un électro-mécanicien. Il devra travailler avec soin et méthode. Son sens de l'organisation et du travail manuel devra être pris en compte. Des connaissances en génie civil et hydraulique seraient appréciables.

### **VI.1.2. Moyens nécessaires**

- 1 véhicule : type 504 pick-up, pour le transport du matériel, pompe, chèvre... ( le tout terrain n'est pas toujours nécessaire... à étudier cas par cas ).
- 1 chèvre de 4 m pour montage et démontage des pompes.
- 1 palan de 500 kg.
- Caisse à outils mobile : tous les outils légers pour les interventions mécaniques classiques ( voir annexe XI ).

- Matériel de mesures :
  - . électrique ( multimètre - tension, courant, résistances - shunt )
  - . hydraulique ( niveaux statiques, dynamiques, débit )
  - . mécanique ( compte tour )
  - . ensoleillement ( énergie et puissance ).
  
- Disposer d'un atelier de mécanique :
  - . étaux
  - . établi
  - . presse hydraulique
  - . perceuse
  - . ( tour )
  
- Outillage d'atelier spécifique :
  - . filière pour tube ( jusqu'à 3" )
  - . clé de démontage corps de pompe ( F6 Guinard )
  - . masselotte + poignée pour changer les chemises d'arbres Alta X
  - . banc de test et redressement des arbres Alta X
  - . chalumeau à gaz
  - . clés à chaîne ou clés à griffe pour tube 6" et 2".

Pour le détail, voir la fiche en annexe.

## VI.2. REPARTITION GEOGRAPHIQUE

---

L'équipe se déplacera à partir d'un point fixe ( un seul atelier centralisé ). De plus, pour faire un travail efficace sur le terrain ( visite, mesures, sensibilisation, petit entretien... ), nous partirons de l'idée de faire une seule visite par jour.

Compte tenu du fait qu'il est difficile de faire plus de 2 à 4 heures d'automobile par jour ( piste et goudron ), nous pouvons toucher une zone de rayon variable de 100 à 200 km suivant les conditions locales, à partir de la base centrale.

Cela correspond cependant à une surface de 70 000 km<sup>2</sup> ( 1/8 France ).

Nous considérons ici une zone d'activité centrée.

Dans le cas de certains systèmes ( réseaux hertziens ), cette zone aurait un axe préférentiel, les distances seraient beaucoup plus longues, les contraintes d'organisation légèrement différentes.

### VI.3. NOMBRE D'INTERVENTIONS ANNUELLES

---

Dans le Chapitre I, nous avons détaillé les différents types de matériels disponibles sur le marché.

En fonction des données techniques et de l'expérience acquise par le service de maintenance de systèmes solaires de Mali Aqua Viva, nous pouvons prévoir les chiffres suivants :

- a/ Pour chaque type de pompe, nous pensons actuellement que deux visites annuelles systématiques sont nécessaires et suffisantes. Nous donnerons en annexe le programme type d'une visite.  
La visite sera beaucoup plus destinée à garder le contact avec la population que purement technique. Elle aura pour but le " contrôle " du comité de gestion de l'eau et l' " animation " du point d'eau.
- b/ Pour chaque site, il semble important de prévoir un déplacement imprévu ( panne, petite intervention, inquiétude des villageois... ). Cela pourra être lié à la station de pompage ou aux aménagements.
- c/ Groupe motopompe à arbre long ( Alta X ) : il est préférable de prévoir une rénovation de colonne par an ( 3 jours de travail dont la moitié en atelier ). Cette intervention dépendra des sites, de l'eau et des résultats des modifications en cours.
- d/ Groupe motopompe immergé à cc : tous les deux ans, on procèdera à un échange standard du groupe pour le ramener en atelier, en vue d'un changement des balais, vérification de l'accouplement, des butées de poussée axiale.  
On considèrera que deux jours sont nécessaires pour cela, soit 1 jour par an.
- e/ Groupe motopompe à ca : au niveau de la pompe, pas d'intervention préventive, changement standard en cas de panne ( les moteurs alternatifs sont extrêmement fiables ). Le déplacement prévu en supplément des deux visites annuelles peut être utilisé pour un changement de carte électronique éventuel. Tout problème électronique devrait être résolu rapidement dans la mesure où les systèmes seront de conception modulaire.
- f/ Groupe motopompe de surface : pas d'intervention spécifique.

A noter que la puissance des installations n'intervient pas dans le nombre des interventions.

En résumé, nous aurons donc : ( unité utilisée = le jour )

Type d'intervention par an Type de station	Visite	Imprévus divers	Rénovation de colonne	Changement standard	Total
Alta X	2	1	3	-	6
Moteur c.c.	2	1	-	1	4
Moteur c.a.	2	1	-	-	3
Surface	2	1	-	-	3

#### VI.4. NOMBRE DE POMPES

---

Si nous partons sur une base de 240 jours ouvrables, nous pouvons envisager pour une équipe de deux personnes :

$$\frac{240}{6} = 40 \quad \text{Alta X}$$

$$\frac{240}{4} = 60 \quad \text{Immergée à moteur à courant continu}$$

$$\frac{240}{3} = 80 \quad \text{Immergée à moteur alternatif ou groupe de surface}$$

Soit en comptant une répartition égale de chaque type :

$$\frac{40 + 60 + 80 + 80}{4} = 65 \text{ stations en moyenne.}$$

**Nota :** Ces chiffres sont donnés pour une équipe bien constituée, avec du matériel adapté et disposant de pièces détachées et moyens de fonctionnement.

## VI.5. COUT DE LA MAINTENANCE

Nous continuons à considérer un cas particulier : celui du Mali en Février 1984 ( Réf. Mali Aqua Viva ).

### VI.5.1. Coût de la structure et du matériel ( Février 1984 )

Personnel local : 1 technicien : 3 000 x 12	36 000 FF
1 ouvrier-chauffeur : 2 000 x 12	24 000 FF
Véhicule : 70 000 F sur 2 ans	35 000 FF
50 000 km à 1 F.	50 000 FF
1 caisse à outils sur 4 ans ( 10 000 F. )	2 500 FF
1 chèvre et 1 palan sur 5 ans ( 20 000 F. )	4 000 FF
Outillage lourd ( 10 000 F sur 5 ans )	2 000 FF
Location outillage, atelier...	10 000 FF
	<hr/>
	<b>163 500 FF</b>

En considérant 65 pompes de taille moyenne, soit 35 m<sup>3</sup>/j, donc 12 000 m<sup>3</sup>/an ( 65 x 12 000 = 780 000 m<sup>3</sup>/an ), nous aurons donc un coût de :

$$\frac{163\,500}{780\,000} = 0,21 \text{ F./m}^3$$

### VI.5.2. Coût des pièces détachées

Les chiffres donnés ci-dessous sont données d'après les indications des constructeurs, mais n'ont aucune valeur de tarif ( Février 1984 ).

<u>Alta X</u>			Par an
- Chemise + coussinet	200 F/m	25 m/an	5 000
- Jeu de balais	250 F	2 ans	125
- Jeu de paliers pour pompe	500 F	5 ans	100
- Roulement	300 F	5 ans	60
- Garniture du presse étoupe	50 F	3 ans	20
			<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
			5 305

Immergé à courant continu

- Jeu de balais	250 F	2 ans	125
- 1 palier de contre poussée axiale	2 500 F	5 ans	500
- 1 nécessaire rénovation accouplement	2 000 F	2 ans	1 000
- 1 pochette joints d'étanchéité	100 F	2 ans	50
- 1 nécessaire rénovation pompe	500 F	5 ans	100
			<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
			1 775

Immergé à courant alternatif ( avec onduleur )

- Carte électronique	6 000 F	2 ans	3 000
- Rénovation pompe	2 000 F	5 ans	400
			<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
			3 400

Groupe motopompe de surface

- 1 jeu de balais	250 F	2 ans	125
- 1 rénovation de presse étoupe	60 F	3 ans	20
- 1 refoulement	5 000 F	2 ans	2 500
			<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/>
			2 645

A l'entretien des pompes s'ajoute évidemment celui des générateurs et armoires électriques.

Il y a actuellement très peu de problèmes connus. Pour ce matériel, et tous les petits matériels non comptabilisés, nous allons ajouter un surcoût arbitraire de 250 F/pompe et par an.

Il est bien évident que tous les systèmes avals sont pris en charge complètement par les populations ( robinet, vannes, nettoyage bassins, tubes PVC cassés... ).



En considérant une répartition égale de chaque type de pompe, soit :

- 17 Alta X ( 5 305 + 250 )
- 16 immergées cc ( 1 775 + 250 )
- 16 immergées ca ( 3 400 + 250 )
- 16 pompes de surface ( 2 645 + 250 )

nous aurons un coût total de 231 555 F./an pour 780 000 m<sup>3</sup>, soit **0,30 F./m<sup>3</sup>**.

### VI.5.3. Coût total

Compte tenu des paragraphes précédents, nous pouvons estimer l'influence de la maintenance qui s'élève à :  $0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ F./m}^3$ .

C'est un coût fixe, peu fonction de la taille des systèmes. Il pourra par contre être modifié par la situation des pompes et les conditions locales ( transports, salaires... ).

Ce prix au m<sup>3</sup> dépend évidemment du rapport Q-HMT. Nous nous sommes placés dans un cas moyen ( HMT à 20 m ).

**Nota :** Le coût total de l'entretien est une estimation.

## VI.6. TRAVAIL DE L'EQUIPE DE MAINTENANCE

---

### VI.6.1. Les visites

Deux fois par an, l'équipe se déplace pour aller voir la pompe, sans y être appelée par un évènement exceptionnel.

Suite à un calendrier pré-établi, la visite sera l'occasion de vérifier plusieurs choses :

- performances : plusieurs mesures sur la station ( voir annexe I ) avec détermination des rendements et comparaison par rapport aux mesures précédentes. Suivi du vieillissement.
- état de l'installation :
  - modules ( nettoyage, fixation, aspect extérieur )
  - armoire ou onduleur ( aspect, nettoyage )
  - moteur de pompe s'il est extérieur
  - état de la fontaine - environnement du forage
  - canalisations d'eau - fuites - vannes - robinets
  - état des bassins - de l'aire de levage - puits perdu.

Ces constatations permettront de compléter la formation du gardien.

Ce travail étant fait, il permet une deuxième série d'actions :

- remplir des fiches de suivi technique
  - remplir des fiches de mesures
  - diagnostic de l'état du matériel, vieillissement
  - envisager les interventions préventives
  - réparer, si la population n'a pas d'autres moyens, les vannes et robinets endommagés après paiement
  - dialoguer avec les responsables locaux à propos de l'utilisation de l'eau, la prise en charge de l'installation, les travaux à envisager...
- } voir annexes III et IV

Les visites régulières des installations permettent de garder un contact étroit avec les populations. Cela permet d'être mieux connu, de donner confiance aux villageois.

Ces conditions sont favorables à une sensibilisation en profondeur qui permet la mise en place des comités de gestion de l'eau, étape nécessaire à la prise en charge des stations de pompage par les utilisateurs.

La visite est l'occasion de percevoir une part du montant forfaitaire de la redevance.

#### **VI.6.2. Les pannes**

En cas de panne, prévenue par les villageois, l'équipe, en fonction du type de pompe, des fiches de suivi technique, des remarques notées lors de la dernière intervention, des remarques du gardien de la pompe, établit un " diagnostic a priori ".

Elle prévoit ainsi le matériel nécessaire pour le dépannage, se rend sur les lieux pour :

- diagnostic de la panne
- démontage
- réparation
- remontage.

Dans la mesure du possible, on fera l'intervention sur le site pour limiter les déplacements.

Si la solution est possible, on pourra faire un échange standard de matériel permettant de ne pas arrêter l'installation et de dépanner en atelier dans des conditions plus confortables.

L'échange standard est la solution qui correspond le mieux aux groupes motopompes immergés.

### **VI.6.3. La gestion du service**

Quelques heures par semaine seront réservées à du travail de bureau :

- remplir les fiches
- analyser les mesures : . comparer les chiffres  
                                      . tracer des courbes
- comptabiliser : . les interventions  
                          . les pièces du stock  
                          . les déplacements  
                          . les factures données aux villageois.

La gestion administrative et comptable du service pourrait être assurée par la structure d'accueil.

---

CHAPITRE VII

PRISE EN CHARGE LOCALE

---



## VII.1. PRISE EN CHARGE FINANCIERE

---

Nous avons vu l'importance des investissements pour les systèmes de pompage photovoltaïque ( 300 000 F. pour 30 m<sup>3</sup>/j à 20 m ). Il est actuellement impossible d'envisager la prise en charge totale par les populations locales.

Il faut l'appui des organismes de financement :

- banques locales
- organismes de coopération bilatérale ou multilatérale ( FAO, CCE, FED, Banque Mondiale... )
- dons privés, ONG...

Dans tous les cas, il est impératif de faire participer financièrement la population pour qu'elle prenne conscience que la pompe est sa propriété, l'entretien, l'utilisation et les frais qui en découlent sont sous sa responsabilité.

L'idéal serait d'arriver à un financement total de l'installation et de l'entretien par un système de crédit :

- la pompe serait achetée par un financier
- la maintenance mise en place par l'organisme de financement.

Par un système de vente d'eau ( au m<sup>3</sup> et au jour le jour à prix coûtant ou par un système de forfait périodique et collectif ), les investissements seraient peu à peu remboursés.

La maintenance payée à son coût réel serait peu à peu libérée du contrôle de l'investisseur pour une privatisation permettant une plus grande souplesse et un développement en harmonie avec les besoins des utilisateurs.

Dans les cas où cette prise en charge sera possible, elle permettra d'assurer le maintien en exploitation de la station et son renouvellement éventuel quand cela s'avèrera nécessaire.

Exemple : Un prix de vente de 150 F CFA le m<sup>3</sup>, c'est-à-dire 3 F CFA le seau de 20 l, pourrait rapporter pour une pompe de 25 m<sup>3</sup>/j la somme de 1 350 000 F CFA/an ( 27 000 FF./an ), ce qui permet l'entretien et l'amortissement du matériel.

Dans les cas où le niveau financier des utilisateurs n'est pas suffisant ( comment le déterminer ? ), la participation à une partie de l'investissement ( 10 à 20 % ) et la prise en charge totale de la maintenance est la condition nécessaire pour garantir la survie de l'installation et l'utilisation, au mieux, de la ressource en eau. Sinon, très rapidement, on observera un phénomène d'attentisme, de passivité avec l'espoir d'une assistance extérieure.

Ce critère financier limite les populations qui peuvent accueillir des systèmes de pompage photovoltaïque. Le choix du site revêt donc une importance fondamentale, car il conditionnera la survie de l'équipement.

Les critères suivants devront retenir toute l'attention nécessaire :

- motivation
- possibilité financière ( présent et avenir en fonction de la valorisation de l'eau )
- besoins en eau/populations
- utilisation et valorisation de l'eau envisagée
- connaissances des contraintes imposées par le système de pompage.



## VII.2. PRISE EN CHARGE TECHNIQUE

---

Dans l'état actuel des techniques et compte tenu du niveau de formation des utilisateurs, la prise en charge directe et complète n'est pas envisageable.

L'aspect technique repose donc sur l'équipe de maintenance ( 2 personnes ).

Ce personnel doit posséder certaines qualités sans lesquelles la qualité du service ne sera pas assurée :

- motivation
- intégrité financière
- capacité technique
- organisation.

Il faudra assurer la formation sur place. Actuellement, peu d'organismes forment réellement des gens de terrain compétents. Des études théoriques associées à des stages devraient suffire, reste à trouver des lieux de stage adaptés.

L'appui technique et humain aux projets et structures existantes est fondamental dans la phase de démarrage.

### VII.3. LES LIMITES DE LA PRISE EN CHARGE

---

Il sera possible de mettre en place le dispositif de prise en charge uniquement si plusieurs conditions sont réunies :

- \* Au niveau des utilisateurs :
  - besoin réel de l'eau de la pompe
  - possibilités financières
  - pas de blocages traditionnels
  - disponibilité des capitaux de base
- \* Au niveau régional :
  - disponibilité du personnel de terrain requis
  - volonté politique
  - moyens matériels et financiers.

Sur le terrain, on rencontre souvent des obstacles difficiles à prévoir lorsque l'on n'est pas intégré au milieu d'accueil.

Ainsi, le choix des sites répondra parfois à des critères politiques, aux possibilités du forage, aux moyens d'accès...

Sur un site apparemment parfait, on pourra rencontrer des problèmes liés aux relations internes de la communauté, aux interdits religieux et traditionnels, aux habitudes ( on n'achète pas l'eau par exemple ).

Tous ces facteurs difficiles à déterminer a priori, rendent l'étude préalable extrêmement importante.

## CONCLUSION

---

Les techniques de pompage solaire laissent apparaître la multiplicité des solutions. L'optimisation des rendements et des coûts ne permet pas de généraliser une seule technique. Au contraire, chaque créneau a son modèle particulier.

Derrière l'analyse comparative des différents modes de pompage et de leurs coûts, apparaît la réalité de n'importe quelle technique de pompage. En milieu difficile, l'exhaure en quantité et avec des performances acceptables, est et restera à des niveaux de prix peu attrayants, surtout pour des zones sahéliennes pauvres.

La " demande " prime tout. On ne choisit pas une technique uniquement en fonction des critères économiques. Le besoin déterminera :

- les caractéristiques souhaitées
- le niveau des contraintes acceptables ( entretien, utilisation, engagement financier )
- l'intérêt des utilisateurs pour le système donc la survie du matériel dans le temps.

La survie d'une station de pompage solaire nécessite une autonomie à terme des services gérant l'entretien. Il faudrait que l'eau soit payée au prix coûtant, permettant la prise en charge de la maintenance et si possible de l'investissement ( celui-ci pouvant être en partie subventionné ).

Il faudrait favoriser les structures décentralisées et la privatisation du circuit de distribution et du service après-vente. Le solaire, passé la phase de mise au point ( mal définie ), doit être considéré à terme comme les autres techniques. Les automobiles, camions et mobylettes sont pris en charge par des mécaniciens locaux, pourquoi les pompes ne le seraient-elles pas ?

Les constructeurs commencent à avoir des représentations locales et des réseaux commerciaux, dans certains cas elles prennent en charge des contrats de maintenance. La disponibilité immédiate du matériel ( stocks ) sur place permettrait d'augmenter la rapidité de pénétration des systèmes photovoltaïques.

Le pompage solaire reste toujours une des solutions d'avenir, mais il a du mal à sortir de la phase d'essais dans la mesure où les gammes et les prix sont encore mal fixés. Néanmoins, on observe une meilleure connaissance des conditions nécessaires sur le terrain pour une utilisation optimale de l'investissement.

Reste à l'intégrer à des projets de développement de plus en plus vastes de manière à se rapprocher des conditions d'autonomie réelle.

Seule la multiplication rapide des installations permettra d'atteindre l'optimisation de l'entretien et de la production, c'est-à-dire la sécurité maximale pour l'utilisateur, au meilleur coût. Le solaire risque alors de passer la barrière grand public si la prise en charge ne s'avère pas totalement impossible.

## ANNEXES

---

- I**      *Visite d'une installation de pompage photovoltaïque*  
Opérations types - Contrôles
  
- II**     Panne d'une station
  
- III**    Fiche de suivi d'une station
  
- IV**    *Fiche de mesure*
  
- V**     Rôle d'un responsable de pompe
  
- VI**    Cahier de suivi d'une station
  
- VII**   Exemple d'aménagement
  
- VIII** Aménagement simplifié
  
- IX**    Formation du technicien responsable de l'équipe
  
- X**     Matériel de mesure
  
- XI**    Outillage type
  
- XII**   Constructeurs de pompes solaires



## ANNEXE I VISITE D'UNE INSTALLATION DE POMPAGE PHOTO-VOLTAIQUE - OPERATIONS TYPES - CONTROLES

### I - L'environnement

#### - La station de pompage :

- . fermeture de la porte d'accès
- . état du grillage de protection
- . état du sol à l'intérieur de l'enclos
- . propreté des modules
- . état des supports des modules, d'armoire et de tête de forage
- . état des armoires électriques, coffrets de jonctions
- . fixations des modules, de l'armoire.

#### - Les aménagements :

- . propreté de l'aire de lavage
- . propreté des bassins et abreuvoirs
- . état des robinets, des vannes
- . état des tuyaux d'arrivée d'eau
- . état du puits perdu ( très difficile à réaliser et garder efficace )
- . état des abords
- . état de l'environnement de l'abreuvoir.

Toutes ces observations sont à la base de la visite, elles doivent donner lieu à une discussion avec le responsable et le gardien de la station, avec les autorités locales en vue d'une prise de conscience de ce qu'est la pompe, qu'elle est la propriété de la communauté et est placée sous sa responsabilité.

#### - Utilisation de l'eau :

- . travaux aux abords de la station ( jardins, briques en terre... )
- . enquête auprès des utilisateurs.

Sensibilisation de la population au problème de gestion de la ressource et exploitation de celle-ci.

### II - Le matériel de pompage

Il s'agit ici de faire une évaluation de l'état technique de la station.

#### - Mesures :

- . tension moteur V (V)
- . courant I ( à l'aide d'un shunt ) (A)
- . ensoleillement E (W/m<sup>2</sup>)

- . HMT ( niveau dynamique + perte de charge dans les aménagements )  
(m)
- . débit Q (m<sup>3</sup>/h)
- . vitesse de rotation du moteur N ( cas des moteurs extérieurs type Alta X ) (tr/mn)

Ces mesures seront réalisées sur la demi-journée ( au minimum ) de manière à évaluer l'influence des différents paramètres ( fonctionnement en régime variable ).

Elles permettront de déduire :

\* Puissance électrique moteur :  $P_e = V.I.$  (W)

\* Puissance hydraulique :  $P_h = \frac{Q \times HMT}{0,367}$  (W)

\* Rendement groupe motopompe :  $\eta_p = \frac{P_h}{P_e}$

\* Puissance incidente :  $E \times S = P_i$  (W)      S : surface de silicium

\* Rendement générateur P.V. :  $\eta_{pv} = \frac{P_e}{P_i}$

\* Rendement global :  $G = \frac{P_h}{P_i} = \eta_{pv} \times \eta_p$

La vitesse de rotation quand elle est connue, permet de situer les performances réelles du groupe motopompe par rapport aux courbes théoriques et aux courbes d'usine.

En comparant les résultats obtenus ici et les résultats relevés lors de précédentes visites ( ou en usine ), on peut alors dire quel est l'état du matériel, comment évoluent les performances. Ces conclusions permettront d'envisager ou non une intervention pour révision.

Pour les systèmes du type Alta X, un technicien habitué à ce matériel pourra faire une première analyse en écoutant le bruit du moteur et de la colonne de transmission. Ce n'est plus possible d'envisager cela avec les pompes à moteur immergé.

Les mesures devront bien sûr faire l'objet d'une courbe et d'un tableau récapitulatif complet. A la suite de la visite, une fiche de visite sera remplie avec les informations nécessaires et remarques importantes. ( Annexes III et IV ).



## ANNEXE II            PANNE D'UNE STATION

### I - Mettre en route

- Faire une mesure : V - I - Q - HMT - N - E

### II - Test des différents éléments :

- Commande du moteur :

- . contacteur M/A
- . carte de . protection manque d'eau
  - . cuve pleine
  - ...

- désaccoupler le générateur et le moteur :

#### \* Test du générateur :

Dans la boîte de jonction, débrancher toutes les branches pour les vérifier séparément :

- . tension à vide
- . courant de court-circuit

Mesurer l'ensoleillement.

#### \* Test du moteur :

- . à l'ohmmètre : mesure de la résistance des bobinages ( impossible dans le cas d'une commutation électronique ).

- si le défaut est sur le générateur, tester les modules et diodes de protection, si c'est sur le moteur, le démonter pour vérification et réparation ( en atelier ).

- s'il n'y a pas de défaut évident, rebrancher le tout et refaire une mesure, puis sortir la pompe après vérification des éléments de surface.

### III - Sortie du groupe motopompe :

Inspection à l'oeil à la sortie du forage, si le défaut n'est pas évident, échange standard en vue d'une révision en atelier.

### IV - Intervention sur le groupe motopompe

En atelier dans des conditions de propreté et avec le matériel adapté.

**ANNEXE III**

**FICHE DE SUIVI D'UNE STATION**

**Site :**

**Situation :**

**Caractéristiques :**

Pompe :

Moteur :

Générateur :

**Caractéristiques du forage :**

**Aménagement :**

Date	Motif	Remarques sur environnement et fonctionnement	Travail effectué	Mesures effectuées

## ANNEXE IV

## FICHE DE MESURES

Site :

Date :

Situation :

Caractéristiques du matériel :

- . générateur :                      . pompe :                      . moteur :
- puissance
  - surface

heure	Ensoleillement	Tension	Courant	Puissance	Débit	HMT	Puissance hydraulique	Vitesse de rotation	Rendement générateur	Rendement moteur + pompe	Rendement global	Remarques
n	W/m <sup>2</sup>	V	A	W	m <sup>3</sup> /h	m	W	tr/mn	%	%	%	
	Mesure	Mesure	Mesure	V x I	Mesure	Mes.	$\frac{Q \times HMT}{0,367}$	Mesure	Calcul	Calcul	Calcul	

- \* Assurer le lien entre l'équipe technique d'entretien et les utilisateurs.
- \* Assurer la tenue du cahier de la station avec les remarques concernant :
  - . le fonctionnement :
    - heures par jour
    - pannes : dates
    - mauvais fonctionnement : nature
    - interventions : durée, date, nature
  - . l'utilisation de l'eau.
- \* Organiser le gardiennage de la station si nécessaire.
- \* Organiser le Comité de Gestion de l'eau qui vend l'eau afin de couvrir au minimum les frais d'entretien.
- \* S'assurer :
  - . du nettoyage des modules
  - . de la propreté de l'enclos
  - . de la vidange et du nettoyage des bassins
  - . du changement des robinets et vannes usés
  - . de la propreté de l'aire de lavage.
- \* Prendre des décisions :
  - . en cas de panne : avertir l'équipe de maintenance par le moyen le plus rapide adapté
  - . en cas de mauvais fonctionnement ( bruit anormal, débit très faible ), arrêter l'installation pour limiter la destruction de certaines parties et avertir l'équipe de maintenance.
- \* Actuellement, il n'est pas envisagé de le faire intervenir directement en cas de panne compte tenu des techniques mises en oeuvre.

Il devra donc si possible savoir lire et écrire, être bien intégré au village, faire partie des sphères influentes et dirigeantes ( chef du village, instituteur, animateur rural,... ).

## ANNEXE VI

## CAHIER DE SUIVI D'UNE STATION

Pour avoir une information précise du fonctionnement de la station de pompage, on essayera, dans la mesure du possible, de trouver un responsable local capable de tenir un cahier relatant l'histoire de la pompe.

Une fois par semaine environ, il consignerait des données concernant :

- le fonctionnement de la pompe
- l'utilisation de l'eau
- la propreté des bassins
- les problèmes remarqués.

Cela pourrait être présenté de la manière suivante :

Semaine du au	Nettoyage module	Nettoyage bassins	Utilisation de l'eau	Fonctionnement de la pompe ( panne, réparation... )	Divers problèmes rencontrés

## ANNEXE VII      EXEMPLE D'AMENAGEMENT

Les idées de base sont les suivantes :

- 1/ avoir de l'eau propre ( potable si possible ) en permanence.
- 2/ ne pas perdre l'eau extraite par voie solaire.
- 3/ pouvoir l'utiliser dans des conditions convenables.

Nous pouvons donc réaliser les aménagements suivants :

- 1/ bassin fermé relié directement à la sortie de la pompe, muni de robinets.
- 2/ stockage du volume moyen pompé journellement dans un bassin.
- 3/ . robinets et vannes d'utilisation sur les bassins
  - . aire de l'avage cimentée avec puits perdu
  - . abreuvoir pour le bétail éloigné de la pompe.

A titre d'exemple, nous avons réalisé les installations suivantes au Mali : voir tableau page suivante.

Au Mali, une telle installation :

- bassin bétonné de 35 m<sup>3</sup>
- bassin fermé de 8 m<sup>3</sup> en tôle
- aire lavage 100 m<sup>2</sup>
- puits perdu
- abreuvoir de 20 m à 200 m du forage
- vannes et robinets nécessaires

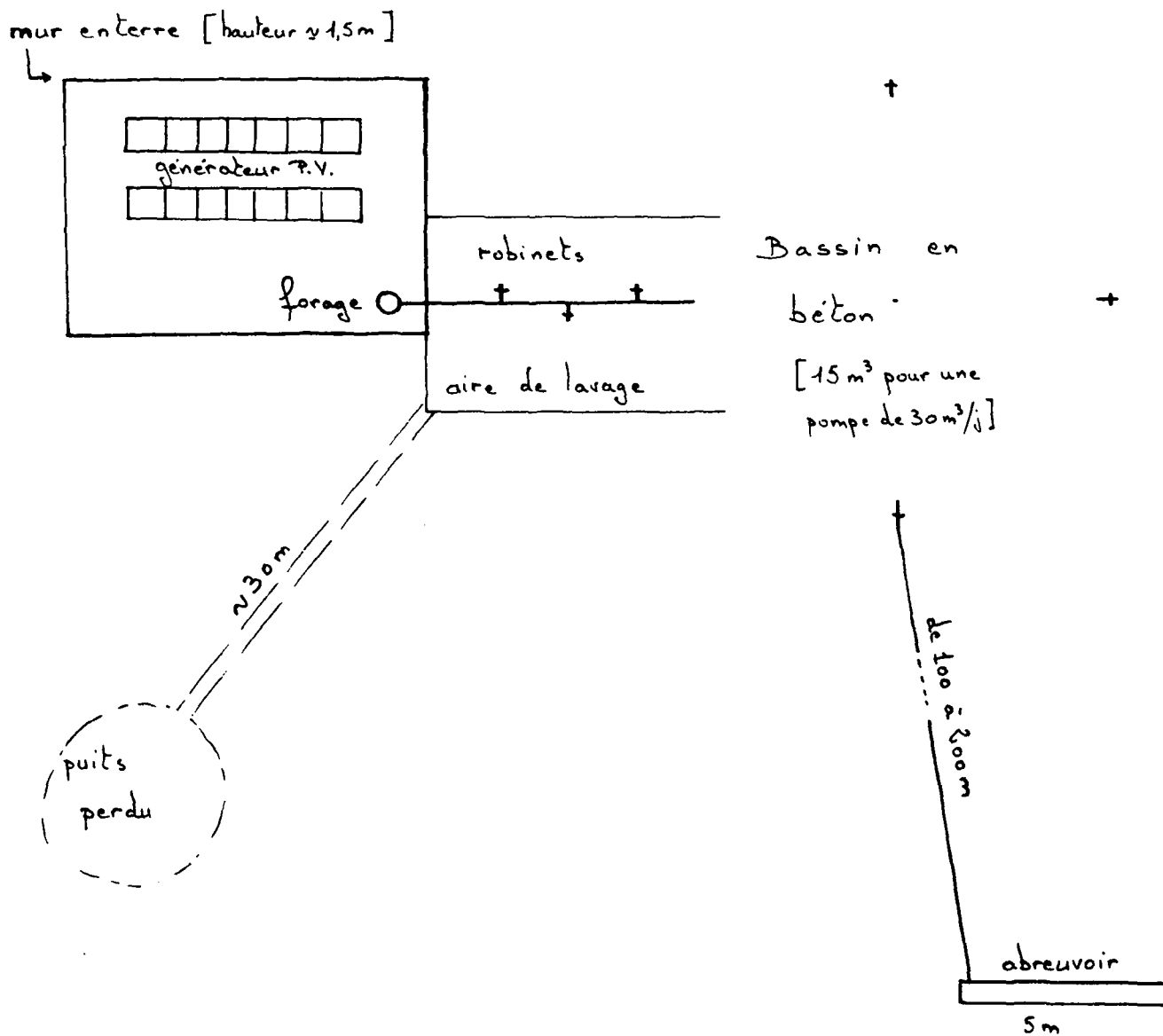
coûte : **80 000 FF** ( prix indicatif novembre 1983 ).

Le génie civil nécessaire au générateur ( grillage de protection - béton de propreté - fixation des supports ) est évalué à **25 000 FF**.

Coût total de l'installation : **105 000 FF**.

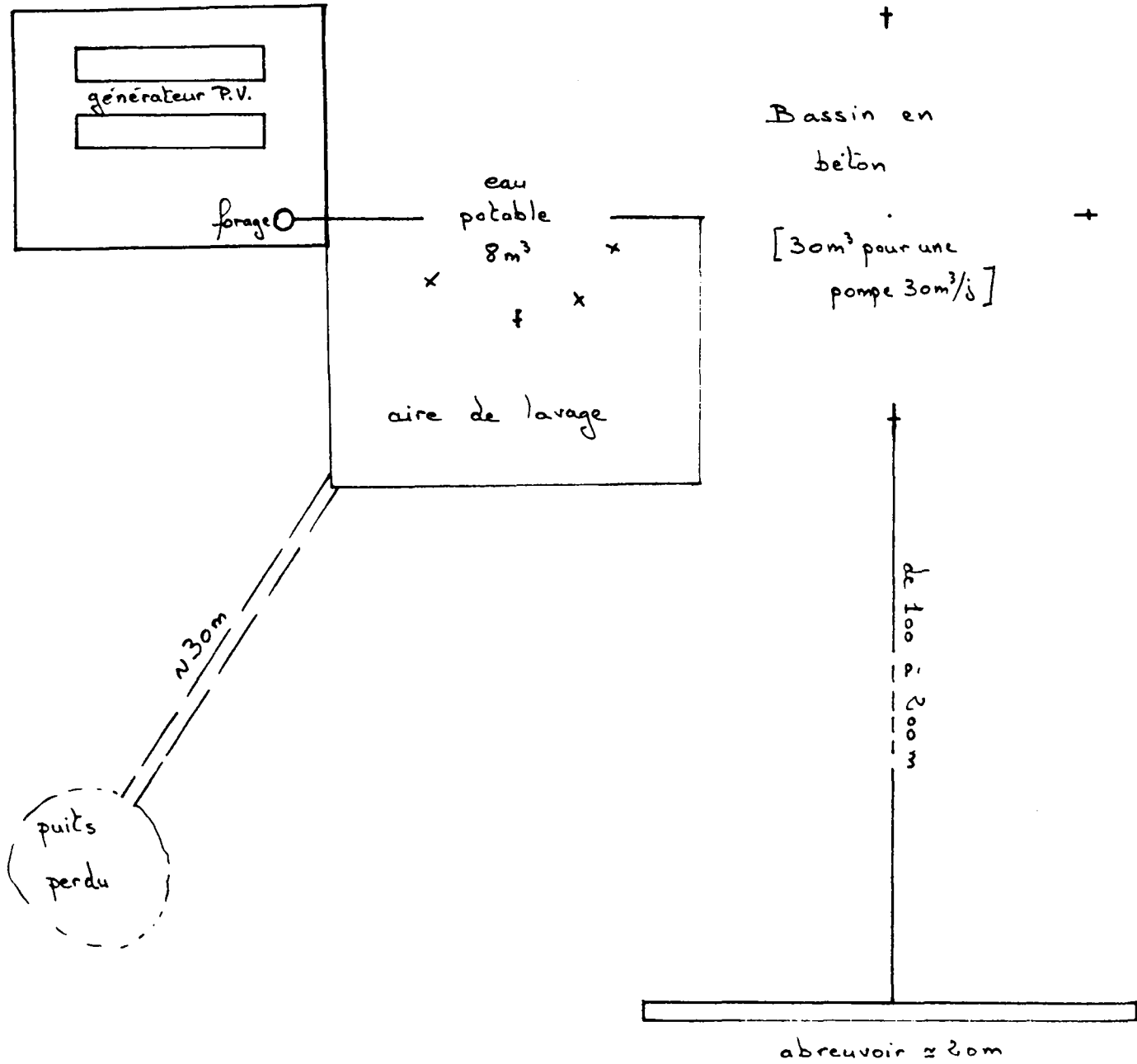
ANNEXE VIII

AMENAGEMENT SIMPLIFIE D'UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE



Coût d'un tel aménagement évalué à 50 000 FF.

# Schéma d'une installation complète





Il s'agit de satisfaire aux critères suivants :

- fournir de l'eau propre pendant la durée de fonctionnement de la pompe.
  - le stockage de l'eau propre est assuré au niveau individuel par les utilisateurs.
  - le stockage permet de décaler l'utilisation dans le temps ( le volume d'eau pompé quotidiennement ne permet pas d'envisager un stockage de longue durée, toute l'eau est utilisée ).
  - les abreuvoirs sont déterminés en fonction du débit de la pompe, ils permettent de limiter la quantité de têtes abreuvées par jour.
  - le génie civil au niveau du générateur est limité à la fixation des supports.
- La protection des modules est assurée par un mur en terre de fabrication locale.

## ANNEXE IX      FORMATION DU TECHNICIEN RESPONSABLE DE L'EQUIPE

Il faudra un homme polyvalent doué d'un bon sens de l'organisation, d'un bon sens pratique ( système D... ), d'une honnêteté financière sans faille ( collecte des remboursements villageois ).

Sa formation sera axée sur quatre thèmes :

### Electricité

- . détection de panne ( sondage d'un circuit )
- . mesures électriques ( V - I - r )
- . calculs de puissance et de rendement
- . rectification d'un collecteur, notions de bobinage.

### Mécanique

- . démontage des pompes ( calage )
- . changement des roulements
- . changement des chemises d'arbres
- . utilisation sommaire d'un tour, d'une presse hydraulique, d'une perceuse
- . connaissance de l'accouplement magnétique ( principes, règles de base )
- . connaissance des étanchéités ( sur arbre, sur flasque )
- . mesures de cotes sur des pièces ( arbres de transmission... ).

### Gestion d'un service

- . fiches de suivi : - visites des pompes
  - mesures
  - stocks
- . interprétation de mesures
- . rapports de fonctionnement du service
  - . suivi économique : - facturation
  - kilomètres parcourus
  - achat de matériel
- . commandes de matériel.

## Animation

- . choix des villages = sensibilisation préalable aux problèmes liés à la pompe et à son utilisation
- . formation des responsables de la station :
  - formation technique ( arrêt de la pompe )
  - formation gestion ( cahier de suivi )
  - formation financière ( vente de l'eau )
- . animation rurale :
  - utilisation de l'eau
  - entretien des installations ( nettoyage - petit entretien )
- . dialogue avec les utilisateurs pour tous les problèmes les concernant.

Ces multiples critères nécessaires à un bon chef d'équipe d'entretien seront très difficiles à réunir.

Une assistance pour certains aspects de ce travail pourra être demandée à du personnel extérieur ( cela dépendra de l'organisation de la structure d'accueil ).

## ANNEXE X

## MATERIEL DE MESURE

- Multimètre ( V - I -  $\Omega$  ) : portable et autonome
  - 0 à 500 V  $\sim$  0 à 10 M $\Omega$
  - 0 à 500 V = 0 à 10 A
  
- Shunt de mesure : - 10 A
  - 20 A
  - 50 A
  - 100 A
  
- Sonde de niveau d'eau électrique, la plus petite possible; la longueur maximum dépend des forages.
  
- Chronomètre ( en général inutile, tout le monde a une montre avec l'indication des secondes )
  
- Seau de 10 ou 20 l ( quelconque, il suffit de connaître la contenance pour déterminer le débit :  $Q = V/t$  )
  
- Mesure de l'ensoleillement : puissance et énergie
  
- Compte-tour opto-électronique
  
- Fréquence-mètre ( pour onduleurs ) 0 à 10 KHz maximum
  
- Boussole ( orientation des générateurs )
  
- Pince ampèremétrique ( mesure des courants alternatifs sinusoïdaux ).

## **ANNEXE XI            OUTILLAGE TYPE**

Pour une équipe correctement équipée, il est nécessaire de prévoir trois types d'outillage :

- caisse outils légère et mobile pour les interventions
- matériel lourd de démontage de pompe
- matériel spécialisé et d'atelier.

### **I - Caisse outils**

- Assortiment clés plates ( 4 à 32 )
- Assortiment clés à douilles avec cliquet ( 6 à 32 )
- 2 marteaux ( 1 gros et 1 petit )
- 1 scie à métaux
- 1 série de clés à oeil ( 6, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 19 )
- 1 assortiment de tournevis droits
- 1 assortiment de tournevis philips
- 2 limes ( 1 plate et 1 triangulaire )
- 1 jeu de clés allen
- 1 clé à mollette ouverture max 40 mm
- 1 pince étau
- 1 pince à sertir
- 1 fer à souder + 1 pompe à dessouder
- 1 pince à dénuder
- 1 burin
- 1 poinçon
- 1 brosse métallique
- 1 couteau
- 1 pinceau
- 1 pierre à roder
- 1 mètre à ruban ( 2 m )
- 1 truelle
- 1 niveau

#### Produits consommables

- teflon
- graisse
- chatterton
- toile émeri
- loctite
- cosses à sertir
- fil électrique.

### **II - Matériel lourd d'intervention sur site**

- Chèvre de 4 m
- Palan de 500 kg manuel ou électrique ( 12 V )
- 2 clés à griffes d'ouverture 150 mm
- 2 clés à griffes d'ouverture 70 mm
- manchons adaptateurs pour soulever les tubes

### **III - Matériel spécialisé et d'atelier**

- 1 tour ( si disponible sur place, facilite certains travaux )
- 1 perceuse
- 1 étau et établi
- 1 lampe à souder ( Butagaz )
- 1 presse hydraulique
- outillage spécialisé à réaliser :
  - . masselote de démontage des chemises pour Alta X
  - . clé de démontage des corps de pompe ( Alta X. F6-11 )
  - . fourreau pour mise en place des chemises d'arbre ( Alta X )
  - . banc de test et redressement pour arbres Alta X.

Nous ne parlons que du matériel nécessaire à maintenance des pompes Alta X, pour les systèmes immergés, compte tenu de la nouveauté des produits et du nombre d'installations, s'il s'avère nécessaire il reste à réaliser.

## ANNEXE XII      CONSTRUCTEURS DE POMPE SOLAIRE

**Leroy Somer**            Z.I. des Agriers  
16015 ANGOULEME Cédex  
Tél. (45) 95 70 66

- Groupe motopompe immergé à courant continu dans l'air et dans l'huile
- Groupe Alta X F ( Guinard ) arbre long
- Groupe de surface
- Tous systèmes photovoltaïques ( éclairage, réfrigérateur, télécommunications... )

**Photowatt**            131, route de l'Empereur  
92500 RUEIL MALMAISON  
Tél. (1) 708 05 05

- Arrêt de la fabrication des pompes à moteur immergé ( courant continu dans l'air ), commercialisation du produit Grundfos
- Tous systèmes photovoltaïques
- Modules.

**Sofretes**            La Grande Bastide  
BP 32  
13115 SAINT PAUL LES DURANCE  
Tél. (42) 25 70 00

- Arrêt de l'activité Sofretes, poursuite des contrats en cours, recherche et développement avec le CEA ( moteur à courant continu et moteur alternatif avec onduleur ).

**Grundfos**            Route de Faulquemont  
BP 7  
57740 LONGEVILLE LES SAINT AVOLDE  
Tél. (8) 791 36 65

- Groupe motopompe immergé dérivé d'un produit de grande série, onduleur adapté.
- Modules Arco-Solar C°.

**KSB France**            4, rue des Nanettes  
75540 PARIS Cédex 11  
Tél. (1) 355 39 40

**Elene**            23, rue Jean Giraudoux                            Filiale CGE et ELF  
75016 PARIS  
Tél. (1) 720 50 55

- Etude d'un moteur à commutation électronique, pas encore commercialisé.

**Aérowatt**

Z.A. de Petits Carreaux  
6, avenue des Coquelicots  
94385 BONNEUIL Cédex  
Tél. (1) 339 78 83  
Télex : 680 160 F

- Propose un groupe motopompe de surface de petite puissance animé par un moteur à courant continu ( 24 V - 48 V ou 120 V ).

Performances : quelques m<sup>3</sup>/h pour quelques mètres ( maximum 30 m ).

**Total Energie Développement**

24 avenue Joannès Masset  
69009 Lyon Vaise  
Tel : 78 47 72 72



## BIBLIOGRAPHIE

---

- SEMA** Rapport d'assistance à la réalisation des pompes photovoltaïques d'irrigation de Logome Birni. Avril 1982.  
Projet financé par le FED. Périmètre irrigué avec diesel. Deux pompes solaires photovoltaïques ( Guinard et Sofretes ) en complément. Pompage de surface sur radeau ( environ 4 000 W<sub>C</sub> et 5 000 W<sub>C</sub>, soit 1 000 000 FF ) au Nord Cameroun.
- SEMA** Diagnostic de l'opération de pompage pour l'irrigation de Logome Birni ( Nord Cameroun ). Février 1983.  
Suite à l'hivernage : tuyaux de refoulement crevés et endommagés, l radeau coulé, pour l'AFME, diagnostic et solutions envisageables ( inutilisation des installations ).
- SEMA** Comparaisons socio-économiques entre solutions énergétiques conventionnelles et renouvelables dans les secteurs de l'hydraulique villageoise et la micro-irrigation au Mali.  
( Hamed SOW ), mémoire de DEA.  
Etude économique de cas d'installations de pompage ( solaire, manuel, diesel... ). Coûts, impact, intégration au milieu, prise en charge.  
Mali, 1983.
- SEMA** Etude de l'insertion des énergies renouvelables dans les programmes d'aide française au Tiers Monde. Janvier 1983.  
Pour l'AFME : les apports de la France aux pays en développement, l'intégration des volets solaires ( facteurs favorables ou défavorables, montants ). Perspectives en 1990.  
Suite aux projets démonstratifs spécifiquement solaires, on essaye d'envisager une étape qui consisterait à intégrer à des projets plus généraux des systèmes solaires satisfaisant une part du besoin.
- SEMA** L'énergie solaire au service de l'hydraulique villageoise, 1982.  
Réalisé pour la CEE.  
Présentation du photovoltaïque, des techniques, des performances, des besoins.  
Quelques chiffres ( besoins, puissances ). Contraintes pratiques, maintenance ( mesures à effectuer ). Des idées sur le transfert de technologie.

- SEMA** Le générateur photovoltaïque : une réponse optimale pour 22 utilisations en site isolé.  
22 cas d'installations, avec comparaison entre photovoltaïque et système classique.
- SEMA** Marché français des photopiles.  
SEMA + AMI  
Les possibilités de développement :  
- fonction des prix ( distance d'une ligne EDF )  
- fonction des décideurs.
- SEMA** Evaluation des énergies renouvelables pour les PED. 1980.
- SEMA** Evaluation des projets énergies renouvelables au Sahel. Avril 1982.  
Evaluations sur le terrain, bilan et recommandations.
- SEMA** Utilisation des énergies renouvelables pour l'alimentation d'équipements électriques dans les pays ACP.
- SEMA** Guide d'évaluation a posteriori des projets énergies renouvelables dans les pays en développement.  
( Madon ). Février 1983.  
Procédure peu efficace car inapplicable sur un projet. L'évaluation et son exploitation demanderaient plus de travail que le projet lui-même.
- SEMA + Etude de faisabilité CRES ( Avec FGU/Kromberg et Orgatec ).**
- BURGEAP** Campagne de forages galeries et captage dans l'île de Saint Nicolas, 1979-80.  
- Etude pour l'organisation du service de l'eau  
- Campagne de forages galeries et captages à Saint Nicolas et Santiago, 1981-82.  
Projet mené par le BURGEAP dans les îles du Cap-Vert. Recherche de l'eau et exploitation ( maintenance, organisation, coût, vente de l'eau... ).  
Prise en charge progressive par du personnel local.
- Petits périmètres irrigués villageois dans la région de Boghe, Mauritanie.**  
Rapport d'évaluation. Septembre 1982. FAC CCCE.  
Investissement, maintenance. Evolution. Prise en charge par les populations.
- SOGREAH** Les pompes et les petites stations de pompage ( 2ème étude du Ministère de la Coopération ). 1978.  
Les techniques de pompage, théorie et pratique. Pas de prix, pas de maintenance. Ouvrage de base en hydraulique villageoise.

**Les cellules solaires** ( F. JUSTER, ED. Tech. et Scient. française ).

Bonne approche théorique des cellules, ouvrage de vulgarisation, clair et complet.

**Pompes solaires sur forages**, PNUD, 1981, liste d'installations.

**Dossier d'appel d'offres pour les prestations de sensibilisation, d'animation et de suivi du programme d'hydraulique villageoise dans les pays membres du conseil de l'entente.** Novembre 1982.

Pour des pompes manuelles.

Analyse des structures pour l'exhaure de l'eau ( Bénin, Niger, Haute-Volta ).

Animation.

**Compte rendu de mission au Niger**, Novembre 1983.

Contrat AFME-CEA pour coopération énergie renouvelable au Niger.

Visite des pompes de Dargol et Bandio.

Problèmes de maintenance ( séminaire ), pièces détachées, animation.

**Co-évaluation au Sénégal des micro-réalisations FED et des co-financements ( CEE ONG ).** Mai 1980.

Etude assez générale de deux types de financement, peu de détails matériels, essai d'évaluation de l'impact sur le développement du pays...

**L'exhaure de l'eau**, Yves Lambert, AFME.

Document très général des diverses techniques.

**Evaluation de l'impact des 3 grands projets d'hydraulique villageoise**

PNUD/HELVETAS/MAV sur les conditions d'alimentation en eau des populations rurales.

Pierre Paris, GRET, détails sur trois projets au Mali.

**L'hydraulique villageoise dans les pays membres du CILSS. La situation au Mali** ( BURGEAP OCDE ). Décembre 1982.

Enquête et propositions en vue d'une gestion rationnelle de l'eau.

**FAO UNDP**

China Workshop on Water Lifting devices and Water management.

Intéressante liste de système de pompage existant en Chine, détails sur le fonctionnement et la technique surtout des systèmes manuels et animaux. Quelques adaptations sur moteur thermique.

**FAO**

Danida Workshop on Water Lifting devices in Asia and the Near Est. Idem Chine.

- UND Project** Phase I. Juillet 1981.  
Small scale solar powered irrigation systems.  
Préparation au rapport général, premières mesures, sélection.
- UNDP Project** Phase II. Septembre 1981.  
Small scale solar powered irrigation pumping systems  
Technical and economic review.  
Préparation du rapport général avec des données économiques.
- UNDP Project** GLO/80/003. Janvier 1983.  
Small scale solar powered pumping systems : The technology it's economics and advancement.  
Résultat des essais et études menées sur les systèmes de pompage actuels photovoltaïques. Résultats techniques et économiques. Comparaison chiffrée des performances. Le seul endroit où l'on peut trouver des chiffres sur les performances de nombreux groupes de pompage (excepté les données constructeurs), commercialisés ou non.

**Pompes Guinard : pompes solaires Alta X, installation, entretien.**

Novembre 1978.

Manuel de montage, à l'usage de personnes déjà formées, montre des détails techniques et points critiques de l'installation et de l'entretien.

**CEEMAT**

J.-F. Cruz, 1981.

Les groupes motopompes sur les petits périmètres irrigués des fleuves sahéliens.

**SATEC**

Projet d'aménagement hydro-agricole dans le département de Matam.

Phase II : avant-projet et factibilité économique.

Evaluation économique d'un projet de cultures irriguées (périmètres de 20 ha avec groupes électrogènes de 20 CV) sur les rives du fleuve Sénégal (HMT = 8 m).  
Maintenance, coûts, résultats agricoles.

**Systèmes photovoltaïques pour les pays en développement**

AFME/MRE, Théodore Fogelman, AMI

Manuel d'installation et d'utilisation

Tout sur le photovoltaïque : de la cellule aux systèmes.

Lecture et présentation claire. Très pratique.

## **L'électricité solaire photovoltaïque, principes et applications ENELEC**

G. Moine

Cours sur le photovoltaïque, de la cellule aux systèmes

Document très complet, l'indispensable à savoir pour parler photovoltaïque.

### **Rapport n° 7**

1979-81, Mali Aqua Viva.

Un projet qui avance, 30 pompes photovoltaïques qui tournent.

### **Campagne de forage 1982-83. Maintenance d'un ensemble de systèmes photovoltaïques et éoliens. Jérôme Billerey. Mali Aqua Viva.**

Cas pratique d'un service de maintenance de 30 pompes photovoltaïques. Des chiffres, une expérience.