



MEMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

PRESENTE PAR:
SEOUSSOU DJIMET RAMDOU
ANNEE 1992-1993

COMPARAISON TECHNICO-ECONOMIQUE
ENTRE POMPAGE SOLAIRE PHOTO-
VOLTAIQUE ET POMPAGE THERMIQUE SUR MARAICHAGE
(SITE : LOUMBILA)

E. I. E. R.
Inscrit à l'Université
le 21/2/93

D E D I C A C E

A la mémoire de feu mon père

A ma mère

A mes chers parents et amis

**je dédie ce mémoire, fruit de la
misericorde de Dieu.**

SOMMAIRE

DEDICACE
AVANT-PROPOS
RESUME

INTRODUCTION

I/ SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I - 1 Présentation du pompage solaire photovoltaïque et du pompage thermique.

1.1.1. Pompage solaire photovoltaïque

1.1.2. Pompage thermique

I - 2 Aperçu sur quelques coûts antérieurs de deux modes de pompage

II/ CADRE DE L'ÉTUDE

2- 1) Données générales de la Zone

2.1.1) Situation physique

2.1.2) Situation humaine et économique

2.2) Détermination des besoins en eau d'irrigation

2.3.) Présentation de deux dispositifs de pompage

III/ ÉTUDE TECHNICO - ÉCONOMIQUE DES DEUX SYSTÈMES

3.1. Aspect Technique

3.1.1) Performances techniques

. Protocole expérimental

. Résultats et interprétations

3.1.2.) Contraintes d'exploitation et de maintenance

3.2 Aspect Économique

3.2.1.) Coût d'investissement

3.2.2.) Amortissement de l'investissement

3.2.3.) Coût de fonctionnement

3.2.4.) Coût du m³ pompé

3.2.5.) Charges récurrentes par exploitant

3.2.6.) Généralisation des coûts du m³ pompé

IV/ ANALYSE COMPARATIVE

Conclusion

Bibliographie

Annexes

AVANT-PROPOS

Ce sujet de mémoire de fin d'études proposé par ADRA et SAHEL ENERGIE SOLAIRE entre dans le cadre de la formation à l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (E.I.E.R).

ADRA (Adventist Développement and Relief Agency) est une ONG établie par l'organisation des églises adventistes dans le but du développement de l'individu et de la communauté défavorisée. ADRA international a été créée en 1984 et sa branche ADRA Burkina a vu le jour en 1986.

SAHEL ENERGIE SOLAIRE est un établissement privé burkinabé en 1982. Il a comme domaine d'activité, le développement des équipements solaires photovoltaïques avec un chiffre d'affaire de 80000000FCFA.

La réalisation de ce mémoire, traitant de la comparaison entre le pompage photovoltaïque et le pompage thermique, étude facilitant le choix de l'un ou l'autre de deux systèmes dans le cadre d'aide aux groupements villageois par les ONG, a été possible grâce à la collaboration de plusieurs personnes envers qui j'exprime ma profonde reconnaissance.

Mes sincères et profonds remerciements s'adressent à :

- M. LONG, Directeur d'ADRA et M. THIBAULT, Directeur de SAHEL ENERGIE SOLAIRE, pour leur disponibilité sans faille à toujours mettre à ma disposition des moyens et informations nécessaires à la réalisation de ce travail.

- M. Jean DJOUKAM et M. Thomas DJIAKO, professeurs à l'E.I.E.R. pour leur encadrement et leur disponibilité, tout au long de l'élaboration de ce document.

- MM. Lamine MAR, J. RIPOCHE et TRAN MINH Duc pour leur soutien à la réalisation de travail.

Enfin à tous ceux, qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce document.

RESUME

Les cultures maraîchères, longtemps irriguées par des pompes thermiques, bénéficient actuellement d'un autre système de pompage en pleine expansion : Le pompage photovoltaïque. Les ONG dans leur intervention en faveur des groupements villageois ont besoin d'une analyse comparative avant d'opter pour l'un ou l'autre des deux systèmes.

Le but de cette comparaison technico-économique entre le pompage photovoltaïque et le pompage thermique est de trouver le système le mieux adapté au groupement villageois de Loumbila.

Cette localité dont le besoin en eau des cultures calculé est en moyenne de 65 m³/ha/j, est sur le plan climatique très favorable aux installations solaires.

Le système solaire mis en place est composé d'un générateur 1005 wc et d'une pompe hydrosol HF-1000, 60 volts. Le débit obtenu pendant les essais est de 49 m³/j avec une HMT (Hauteur manométrique totale) atteignant 7,8 m et un fonctionnement de la pompe solaire entre 8h et 16 h. Le débit journalier type pour les 245 jours d'irrigation du groupement maraîcher de Loumbila, obtenu à partir de l'évolution des paramètres (débit, ensoleillement, rendement) et des données de la station météorologique de Ouagadougou est de 54 m³/j.

La comparaison technico-économique entre le système solaire et un système thermique (pompe à essence Robin TE 2-80) avec le même débit journalier de 54 m³/j et la HMT de 7,8 m montre d'une part que le système solaire avec une facilité d'utilisation, une astreinte d'entretien faible et fiabilité élevée par rapport au système thermique qui a seulement comme atout la stabilité du débit, est avantageux techniquement. D'autre part à travers le coût du m³ pompé (37,9 F CFA/m³ pour le solaire et 54,6 F CFA/m³ pour le thermique) et les charges récurrentes par exploitant (8 550 F CFA/an pour le solaire et 33 145 F CFA/an pour le thermique), la comparaison montre que le système photovoltaïque est aussi économiquement plus avantageux et donc le mieux adapté pour le cas de Loumbila pour une superficie d'environ 1 ha. Seulement l'investissement initial très élevé du pompage solaire (25 fois celui du thermique) limite les villageois.

L'élargissement de cette étude à une irrigation plus importante montre que le système photovoltaïque est le mieux adapté jusqu'à 7 ha environ. Au delà le coût du m³ d'eau de ce dernier devient très cher.

INTRODUCTION

La principale activité économique du monde rural est l'agriculture. Dans nos régions où la pluviométrie est déficitaire, l'irrigation joue un rôle capital. Les groupements villageois pour leurs cultures maraîchères ont utilisé durant longtemps des pompes thermiques (diesel ou à essence).

Suite à la découverte de l'effet photovoltaïque en 1954 offrant la possibilité de transformer le rayonnement solaire en énergie électrique et compte tenu des conditions climatiques un autre système de pompage s'est développé dans nos régions : le pompage solaire photovoltaïque.

Le soleil source d'énergie de ce système, situé à une distance de 150 millions de km de la terre en moyenne, livre à la limite de l'atmosphère une puissance rayonnée de 1400 w/m².

Les ONG, dans leur intervention auprès de groupements villageois ont à choisir entre les deux modes de pompage. Pour adopter l'un des deux systèmes (système solaire photovoltaïque et système thermique) au détriment de l'autre, il faut au préalable une analyse comparative.

C'est dans ce cadre que ADRA en collaboration avec SAHEL ENERGIE SOLAIRE a proposé le sujet intitulé : "comparaison entre pompage solaire photovoltaïque et pompage thermique sur maraîchage. (site : Loumbila)".

L'étude réalisée sur l'installation solaire photovoltaïque de Loumbila (pompe hydrasol HF-1000) et sur un système thermique (pompe à essence) a pour but de déterminer le système le mieux adapté au groupement villageois de la localité. L'élargissement de cette étude aux systèmes photovoltaïque et thermique en général permettrait de connaître la limite de la plage favorable (techniquement et économiquement) à l'un des deux systèmes dans le même contexte de Loumbila.

La méthode de travail est basée sur la recherche documentaire, les essais sur site (Loumbila) et les enquêtes. Le document qui en résulte est composé de quatre parties :

- La première partie faisant une synthèse de la recherche documentaire.

- La deuxième partie, après avoir situé la zone d'étude, aborde les besoins en eau des cultures qui s'y trouvent, permettant de déterminer la superficie pouvant être irriguée par les pompes (pour l'étude) et la présentation de deux systèmes installés.

- La troisième partie aborde l'étude technico-économique.

- Enfin vient l'analyse comparative permettant de tirer la conclusion finale.

I SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1 -1 Présentation du pompage solaire photovoltaïque et du pompage thermique.

1.1.1. Pompage solaire photovoltaïque

C'est l'exhaure de l'eau par une pompe fonctionnant à partir de l'énergie obtenue par conversion photovoltaïque du rayonnement solaire.

Un groupe de pompage solaire photovoltaïque est composé de :

- un générateur
- un coffret de commande et contrôle
- un groupe électropompe

Le générateur photovoltaïque, fournisseur de l'énergie électrique à l'utilisation finale, est composé de modules photovoltaïques avec supports, boîtes de connexion, câbles d'interconnexion, diode de protection en série et autres composantes (régulateur, onduleur).

La composante élémentaire de ce système est la cellule photovoltaïque ou photopile réalisée sous forme de pastille plate circulaire ou polygonale à partir de matériaux semi-conducteurs : silicium mono ou polycristallin (plus de 90 % de la production des photopiles) ou le silicium amorphe. La réalisation des photopiles est une opération techniquement très complexe et donc assez onéreuse . La photopile assure la conversion directe du rayonnement solaire en courant continu de très basse tension (une cellule de diamètre 100 mm donne 0,5 V avec 2 A). C'est l'ensemble des photopiles regroupées en série ou en parallèle avec diodes de protection en parallèle associées qu'on appelle module.

La position du générateur est un facteur très important au niveau du rendement :

Les panneaux solaires sont orientés de telle sorte que le rayonnement solaire soit utilisé au maximum (optimalisation du rendement du générateur). L'orientation s'effectue par rapport au nord géographique au nord vrai obtenu à partir de la déclinaison magnétique (angle formé entre le nord géographique et le nord magnétique).

Au Burkina Faso, la déclinaison magnétique atteint 7° W. En plus de l'orientation, l'angle d'inclinaison du panneau formé avec l'horizontale est d'une importance capitale pour la quantité de l'énergie reçue par le générateur. Cet angle est fonction de la latitude du site.

Un générateur est caractérisé par sa puissance-crête. Cette dernière est la puissance électrique maximale qu'il peut fournir, dans les conditions suivantes :

- lorsqu'il est connecté à sa charge optimale,
- lorsqu'il reçoit du soleil une puissance de 1000 w/m^2
- sa température étant de 28° c ou 25° c

La puissance-crête est exprimée en watt-crête (wc)

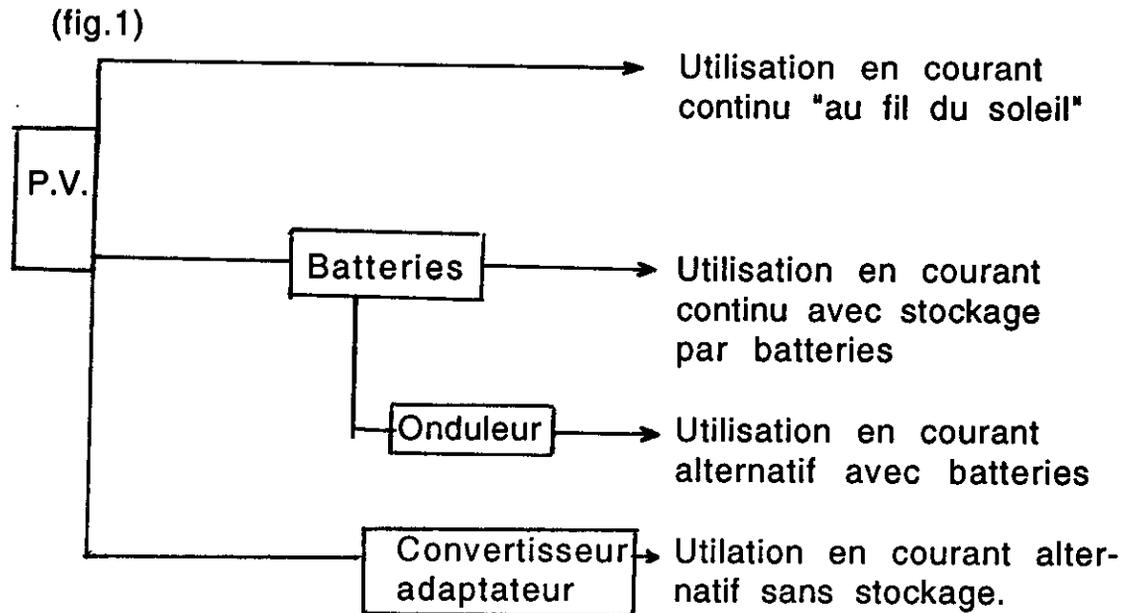
Le coffret de commande et de contrôle comprend selon le cas :

- un simple interrupteur
- un adaptateur d'indépendance
- un onduleur
- une carte électronique de commande

Le groupe électro-pompe est composé d'un moteur immergé ou hors de l'eau et d'une pompe.

Suivant les applications du système photovoltaïque, on distingue différents modes d'utilisation de l'énergie produite par les photopiles :

- l'utilisation du générateur photovoltaïque sans stockage de l'énergie électrique ou "au fil du soleil" en continu ou en alternatif.
- l'utilisation, soit en continu, soit en alternatif, avec sotckage intermédiaire par batteries. (Schématisation fig. 1).



Le pompage solaire photovoltaïque, objet de cette étude, est un pompage de surface fonctionnant en courant continu au fil du soleil.

1.1.2. Pompage thermique

A la différence du pompage photovoltaïque dont l'énergie électrique est fournie par un générateur utilisant une énergie renouvelable, les pompes de ce système, sont entraînées par des moteurs thermiques c'est-à-dire des moteurs à combustion interne consommant les uns de l'essence (moteur à essence) et les autres du gaz oil (moteur diesel).

Ce système a comme composantes : le moteur et la pompe. Les moteurs à essence, en raison de leur faible rendement (20 à 25 %) et de leur consommation en carburant élevée, ne sont utilisés que pour des petites installations ne fonctionnant qu'un temps limité (quelques centaines d'heures par an).

Les moteurs diesel, avec un rendement compris entre 30 à 40 % et consommant un carburant moins cher, sont utilisés pour toutes les gammes des installations.

I- 2- APERÇU SUR QUELQUES COÛTS ANTERIEURS DE DEUX MODES DE POMPAGES

Le cas du Mali (1977-1990) à travers MALI AQUA VIVA* a conduit, pour une comparaison du coût, aux résultats suivants** (pompes de forages) :

TABLEAU 1: Coût en F CFA/m³

Gamme débit (m ³ /j) HMT = 20 M	Solaire			Diesel
	540 wc	1440 wc	2880 wc	
< 10	148	74	68	304
10 à 20				177
20 à 50				114
50 à 100				92
> 100				76

La conclusion dégagée : le pompage solaire est plus avantageux que le pompage avec le moteur diesel au point de vue coût, dans la gamme des débits allant jusqu'à 100 m³ /j à 20 m, soit de puissance allant jusqu'à 3 000 wc.

Dans le même contexte pour une HMT = 7,5 m (pompage de surface) et un débit de 300 m³ /j la comparaison a conduit aux résultats ** suivants :

* : Projet crée par le père VERSPIEREN au Mali

** : Source : Agence Française pour la maîtrise de l'Energie

TABLEAU 2

Durée d'utilisation (en jours)	Pompe solaire 3 000 wc		Pompe diesel (6h / j)	
	F. CFA	FF	F. CFA	FF
100	39	0,80	12,0	0,24
200	20	0,40	10,9	0,22
300	13	0,26	10,6	0,4
365	11	0,22	10,5	0,21

La conclusion qui a été dégagée est la suivante :

Ce cas correspond à la limite haute de ce qu'il est raisonnable d'envisager en matière de pompage solaire de surface. Pour des puissances inférieures, le coût du mètre cube d'eau est plus favorable au pompage solaire. Il n'en demeure pas moins que le pompage solaire ne se justifie économiquement que pour une utilisation presque permanente, en tout état de cause pour plus de deux cultures par an (environ 200j/an).

Dans le cadre du programme régional solaire (CILSS/FED)* prévoyant la mise en palce de 829 pompes et 538 systèmes communautaires (soit une puissance totale de 1 257 kwc représentant 4 % de la production mondiale de l'année 1992), une comparaison des coûts des différents systèmes de pompage a été faite sur la base des suppositions suivantes :

- Les systèmes de pompage solaire seront donnés aux groupements sur la seule condition que les paysans ouvrirent un compte bancaire dans lequel ils déposent 10 % de la valeur du matériel fourni et qu'ils signent un contrat d'entretien en garantie totale avec le fournisseur. A part le contrat d'entretien, l'eau leur revient donc gratuitement et les coûts au m³ donnés ci-après sont basés sur les montants nécessaires pour payer le contrat d'entretien et pour épargner afin de remplacer les équipements une fois amortis en toutes taxes comprises.

* : CILSS : Comité Inter-Etats de lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

- Le programme solaire ne fournissant pas de pompes à essence, les groupements préférant des pompes à essence devraient prendre un prêt à la banque pour acheter une pompe à essence ; les coûts du pompage à essence incluent donc les frais financiers (prêt 12 % d'intérêt) ; la comparaison est alors défavorable aux pompes à essence.

- Le débit maximum de la pompe solaire est comparé avec le même débit fourni par une pompe à essence (cette dernière pompe fonctionne donc en dessous de sa capacité ce qui augmente les coûts du pompage à essence.

- La comparaison est présentée pour une période d'irrigation de 180 jours et 250 jours.

Tableau 3

CAS DU BURKINA FASO

Type de pompage	HMT	Débit	Coûts en FCFA/m ³ selon la période d'irrigation	
			180 jours	250 jours
P1 - B1 solaire essence	5 m	36,2m ³ /j	52	38
	5 m	36,2m ³ /j	23	19
P1 - B2 solaire essence	10 m	18,6m ³ /j	103	74
	10 m	18,6m ³ /j	40	31
P2 - B1 solaire essence	5 m	55,6m ³ /j		32
	5 m	55,6m ³ /j	44	15
P2 - B2 solaire essence	15 m			87
	15 m	20,4m ³ /j	121	32
		20,4m ³ /j	35	

La conclusion tirée par le CILSS est que les paysans doivent payer plus pour maintenir le système solaire (contrat d'entretien et épargne pour remplacement à terme du matériel amorti) qu'ils doivent dépenser (y inclus frais d'intérêt) pour des pompes à essence.

2. Situation humaine et économique

Loumbila est peuplé de 5182 habitants. Cependant le groupement villageois exploitant le périmètre de RABEGA, objet de cette étude est composé de 20 personnes dont la moyenne d'âge est de 30 ans.

L'essentiel des activités économiques est centré sur l'agriculture, l'élevage traditionnel et l'artisanat.

La mise en place des périmètres maraichers contribue à l'amélioration des revenus et des conditions de vie des villageois. Les cultures suivantes sont produites alternativement sur le périmètre RABEGA : tomate, chou pompé, poivron vert, courgette, concombre, et corotte. La production se fait en fonction du besoin réel de la clientèle.

II - 2 DETERMINATION DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

La détermination des besoins en eau d'irrigation permet connaître la quantité d'eau à apporter (par irrigation) pour une superficie donnée, à une culture pour croître de façon optimale. Ainsi l'on saura quelle superficie, la pompe solaire installée pourra effectivement irriguer.

Les besoins en eau d'irrigation dépendent essentiellement :

- de la climatologie locale,
- du type de culture,
- du type du sol
- du stade végétatif de la culture,
- de la période de l'année.

Le groupement villageois à trois périodes de production dont l'une s'effectue entièrement pendant la saison pluvieuse. L'irrigation concerne 245 jours. Les enquêtes menées auprès des villageois ont permis de déterminer les cycles culturels pour la détermination des besoins. Les valeurs de l'humidité relative et de la vitesse du vent pour la détermination du coefficient K_{bac} sont celles de la station de Ouagadougou ainsi que celles de

l'évaporation moyenne au bac "classe A" (E_{bac}). La station de Ouagadougou est la plus proche et ayant pratiquement les mêmes valeurs que celles du site. La valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture $ETM = K_c \times ETP$ (évapotranspiration potentielle).

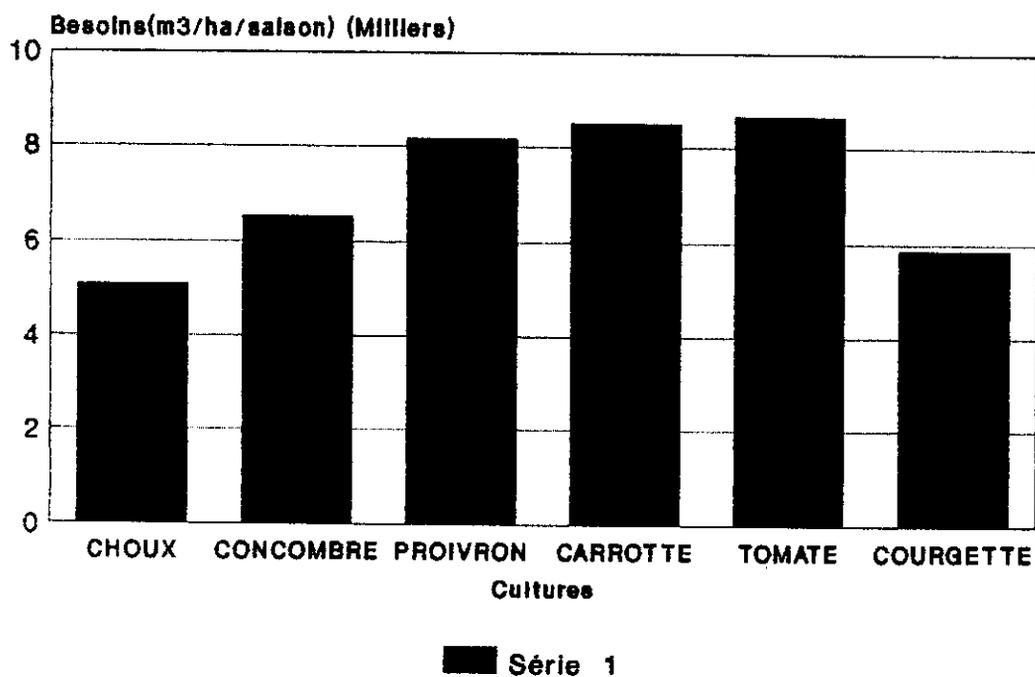
La pluie efficace est déduite de la pluie moyenne :

Si la pluie moyenne $P < 20$ mm, la pluie efficace $Pe = P$ et si $P > 20$ mm alors $Pe = P - 0,15.(P - 20)^*$

Le calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures du périmètre de RABEGA (voir annexe 4) a donné les résultats des figures 1 et 2. Pour l'ensemble des cultures pratiquées dans ce périmètre, on obtient un besoin moyen en eau d'irrigation de $65 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{jour}$.

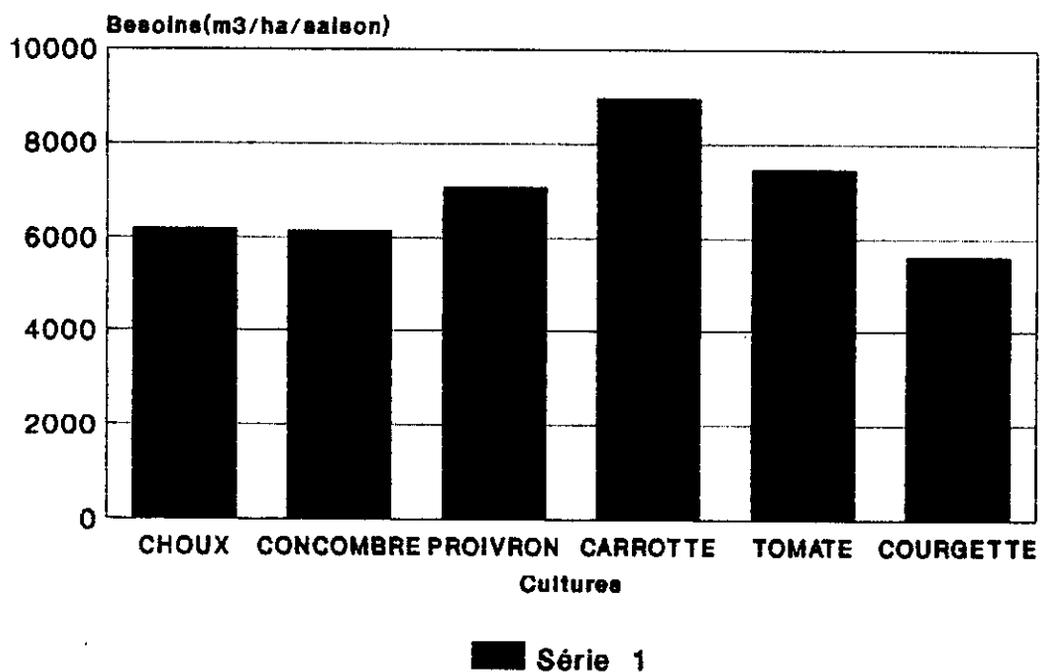
* : Source : IRAT

Figure 2
BESOINS EN EAU D'IRRIGATION DES CULTURES
 Saison de culture(Novembre-février)



Périmètre de Rabega (Loumbila)

Figure 3
BESOINS EN EAU D'IRRIGATION DES CULTURES
 Saison de culture(Mars-Juillet)



Périmètre de Rabega (Loumbila)

2.3. PRESENTATION DES DEUX DISPOSITIFS DE POMPAGE.

Le dispositif de pompage solaire photovoltaïque est composé de :

un générateur de puissance-crête 1005 wc et une électropompe flottante de marque Hydrasol et de model HF-1000, 60 volts.

Le générateur est composé de 32 modules de 33 wc et un module de 45 wc.

L'eau pompée est recueillie dans le réservoir en adobe (74 m³) construit pour la circonstance et distant du petit puit où se trouve la pompe de 28,50 m. La conduite de refoulement est en PVC ø 43 mm avec 3,60 m de tuyau galvanisé. (voir figure 4).

Le dispositif de pompage thermique est en partie identique au premier système : il a été conservé le puits, le réservoir et la conduite de refoulement. Le pompage est effectué par une motopompe à essence ROBIN TE 2-80 de puissance 0,6 KVA. (voir figure 5).

Figure 4 : Installation solaire photovoltaïque de Loumbila

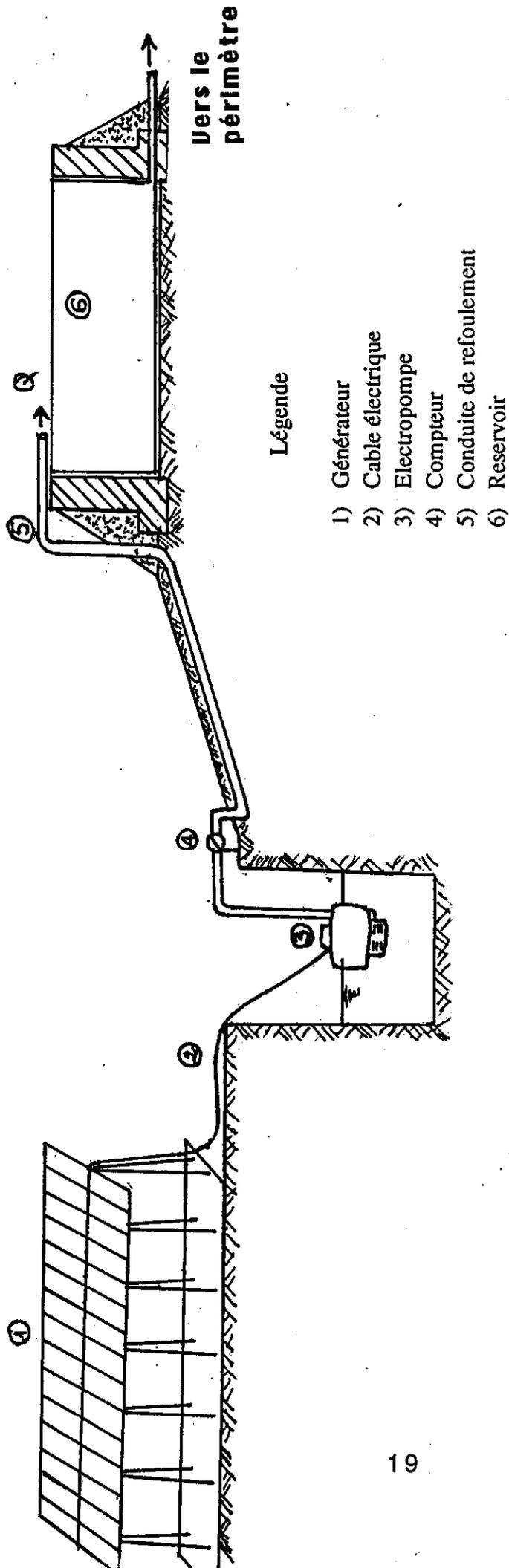
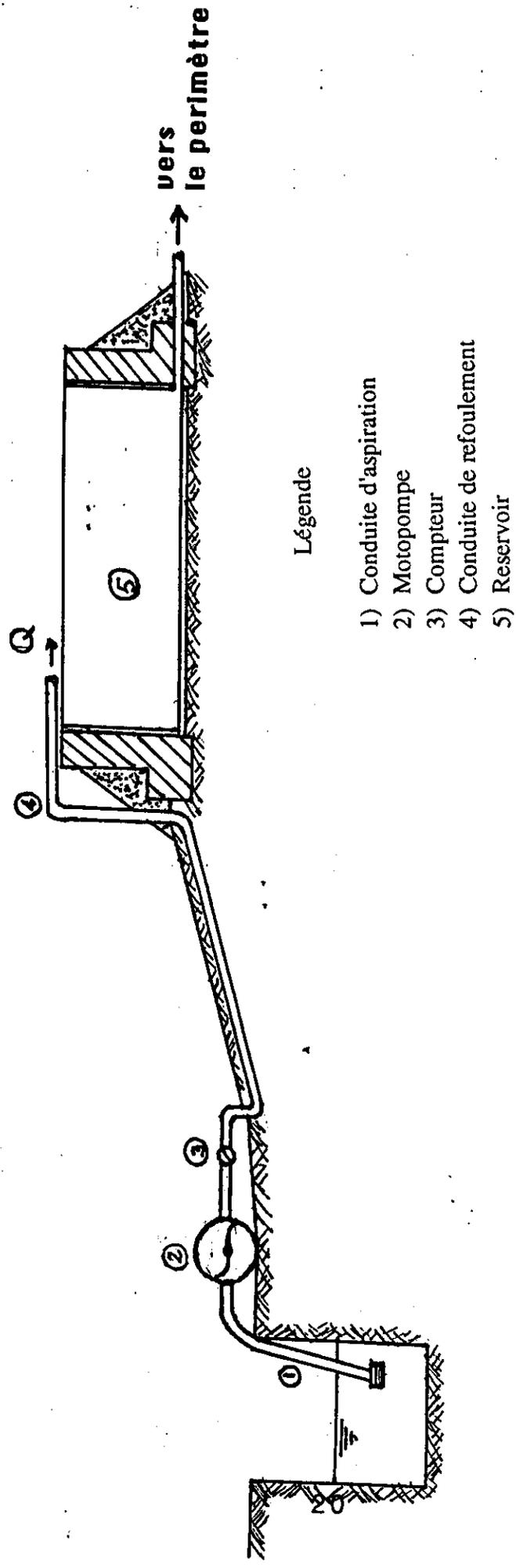


Figure 5 : Installation thermique
(Loumbila)



III- ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE DEUX DISPOSITIFS DE POMPAGE

III.1. ASPECT TECHNIQUE

III.1.1. PERFORMANCES TECHNIQUES

III.1.1.1. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Mesure de l'ensoleillement :

Il a été utilisé un solarimètre pour les mesures du rayonnement global. Les mesures faites tous les 30 ou 60 mn s'effectuent dans le plan du panneau photovoltaïque (fixe). Ce dernier étant incliné de 20° par rapport à l'horizontale.

Mesure des tensions :

Les tensions sont mesurées avec un multimètre

Mesure des intensités du courant :

Elle est faite avec un polytronic 2000

Mesure des températures :

La température est mesurée avec le même multimètre utilisé pour la tension.

Mesure des débits :

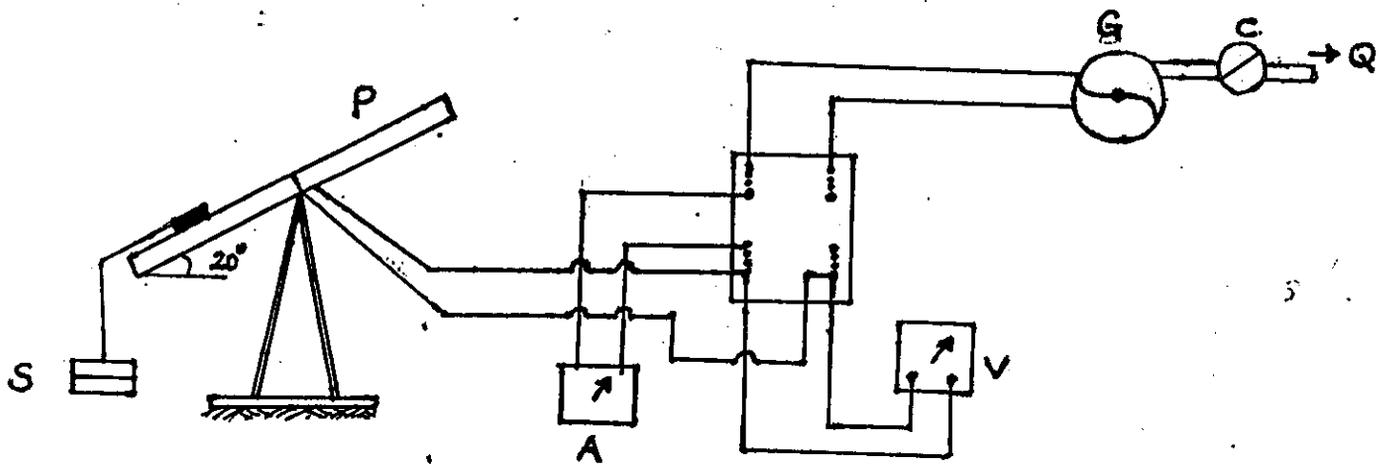
Elle est faite avec un compteur volumétrique et un chronomètre. Pour les deux premiers jours avant l'installation du compteur, les débits étant obtenus à l'aide d'un fût de 214 l et du chronomètre.

Schématisation du protocole expérimental (fig.6).

Pour la hauteur géométrique, il a été utilisé un niveau automatique et une mire.

Les mesures faites sur la motopompe à essence se limitent au débit et à la détermination de la consommation en carburant.

Figure 6 : Schema du protocole expérimental



Légende

- P : Panneau solaire
- S : Solarimètre
- A : Amperemètre
- V : Voltmètre
- G : Groupe électropompe
- C : Compteur

III.1.1.2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Système solaire photovoltaïque

Les mesures effectuées, les calculs des puissances et des rendements sont regroupés à l'annexe 5. Un cas est représenté au tableau 5. La hauteur géométrique mesurée est de 3,86 m. Les pertes de charges, étant élevées (à cause de la conduite de refoulement PVC de diamètre 43 mm et de nombreuses singularités), occasionnent des HMT (hauteur manométrique totale) allant à 7,80 m.

Le rendement maximal du générateur est de 8,8 % et celui de l'électropompe de 38 %. Ce qui donne un rendement global maximal de 3 % (voir figure 7).

Le débit fonction de l'ensoleillement est variable (voir figure 8). La pompe débite sous un ensoleillement minimal de 340 w/m² soit une puissance électrique d'environ 160 w (avec un démarrage entre 8 h et 8 h 30 mn et un arrêt 15 h et 16 h pendant les expériences). Le débit journalier pendant les essais était de 49 m³/j. La pompe était prévue théoriquement pour un débit de 20 m³/h à une HMT de 7,8 m pour une puissance de 1000 w et une tension de 60 v. Bien que la tension de 60 V n'était pas atteinte la valeur ne semble pas être possible en pratique. Il faut tenir compte de l'état du générateur (plusieurs années d'exposition) et des facteurs influençant le rendement (ex : la température.)

On ne peut se baser sur le débit (49 m³/j) obtenu pendant les essais pour effectuer les calculs car le nombre de jours d'essai est très petit par rapport aux 245 jours d'irrigation. Pour cela, à partir des données d'ensoleillement sur un plan horizontal de la station météorologique de Ouagadougou (voir annexe 2), il a été calculé (avec un programme basic)* les rayonnements globaux pour le site avec l'angle d'inclinaison de 20°. A partir de ces rayonnements calculés et de la variation des paramètres (débit et rendement), le débit journalier pour une journée type, durant le temps d'irrigation (novembre-juillet), dans les mêmes conditions d'exploitation, a été calculé (Voir figure 9)

Le débit obtenu est égal à 54 m³/j. Le travail ultérieur s'effectuera avec ce débit de 54 m³/j.

* Source : Spécialisation EDR (E.I.E.R.)

FICHE DE MESURES

Site : Loumbila

Générateur :

Date : 28/05/93

Pompe Solaire Hydraul

Puissance : 1005 Wc

Réalisé par :

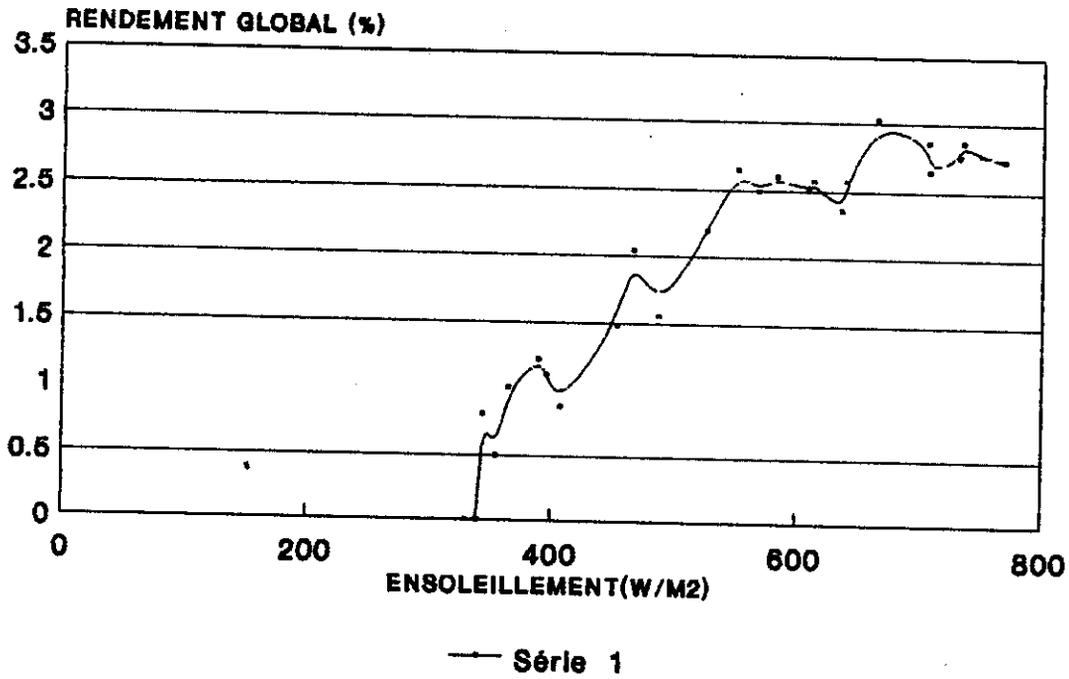
MODEL HF--1000,60V

Surface : 8,5595 m²

SEOSSOU DJIMET

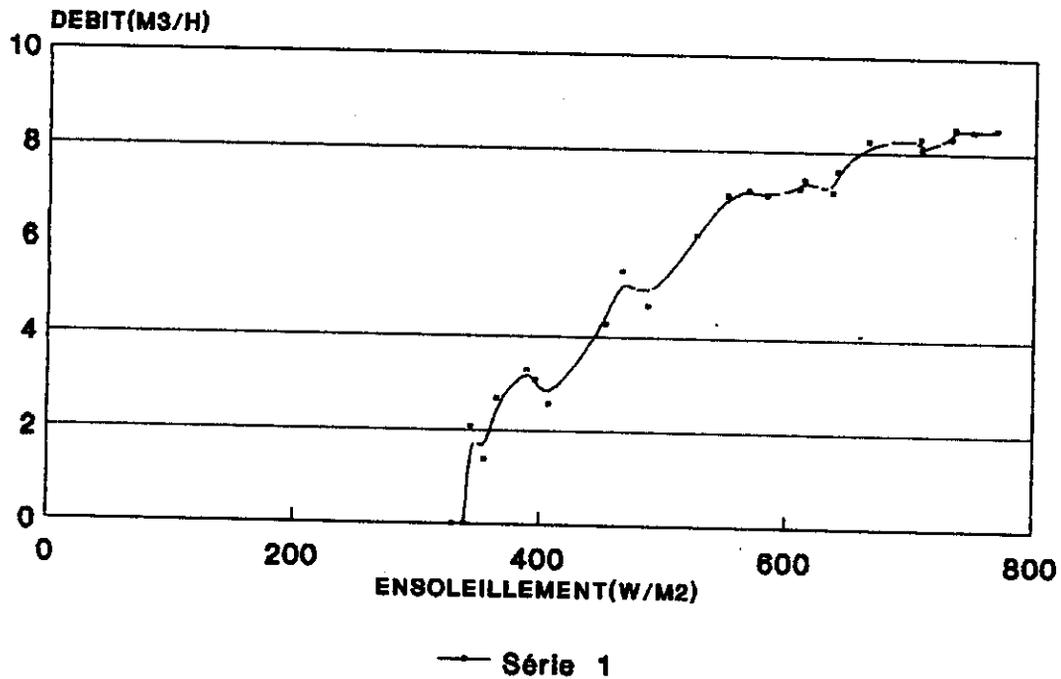
Heures	Ens. glob. (W/m ²)	Tension (V)	Intens. (A)	Débit (m ³ /h)	HMT (m)	Puiss. ens. (W)	Puiss. élect. (W)	Puiss. hydr. (W)	rend. gén. (%)	rend. électrop. (%)	rend. glob. (%)
8h20	344	33,20	4,94	2,103	4,16	2859,80	164,00	23,84	5,74	14,53	0,80
9h	453	41,70	6,62	4,28	4,907	3877,45	276,10	57,23	7,12	20,73	1,48
10h	613	49,30	8,95	7,33	6,718	5246,97	441,23	135,29	8,41	30,66	2,57
10h30	640	50,10	9,33	7,53	6,816	5478,08	467,43	140,78	8,53	30,12	2,57
11h	707	52,30	10,24	8,30	7,65	6051,57	534,55	173,07	8,85	32,32	2,86
11h40	735	52,80	10,61	8,53	7,762	6291,23	560,21	180,88	8,90	32,29	2,87
12h	750	52,90	10,61	8,45	7,736	6419,63	561,27	178,14	8,74	31,74	2,77
12h45	732	52,00	10,67	8,29	7,647	6265,55	554,84	172,74	8,86	31,13	2,76
13h05	708	50,90	10,44	8,05	7,315	6060,13	531,40	160,46	8,77	30,20	2,65
13h45	636	47,90	10,16	7,12	6,633	5443,84	486,66	128,69	8,94	26,44	2,36
14h05	609	45,60	9,04	7,19	6,668	5212,74	412,22	130,64	7,91	31,69	2,51
15h	487	39,90	8,60	4,68	5,095	4168,48	343,14	64,97	8,23	18,93	1,55
15h30	396	35,5	6,70	3,08	4,454	3389,56	237,85	37,38	7,02	15,72	1,10
15h45	355	33,2	5,40	1,38	3,981	3038,62	179,28	14,97	5,90	8,35	0,50
15h55	330	31,50	4,47	0,00		2824,63	140,80	0,00	4,98	0,00	0,00

Figure 7:Essai réalisé du 3 au 8/5/1993
 EVOLUTION DU RENDEMENT GLOBAL EN
 FONCTION DE L'ENSOLEILLEMENT



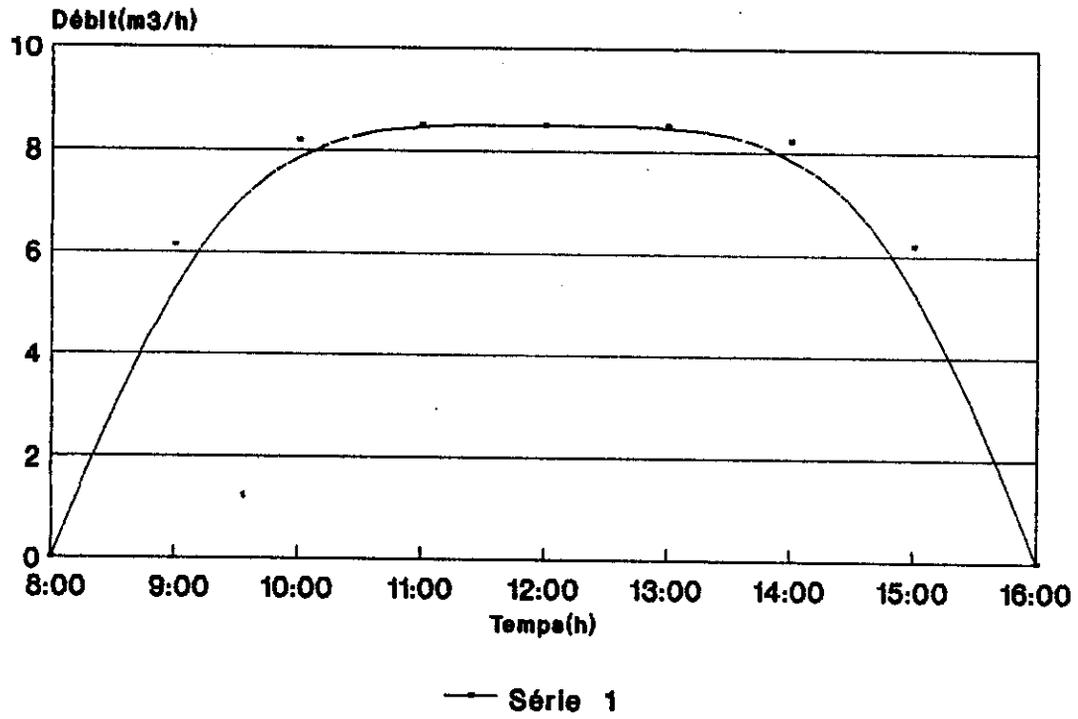
SITE DE LOUMBILA

Figure 8:Essai réalisé du 3 au 8/5/1993
 EVOLUTION DU DEBIT EN FONCTION DE
 L'ENSOLEILLEMENT



SITE DE LOUMBILA

**Figure 9 :JOURNEE TYPE DANS L'ANNEE
EVOLUTION DU DEBIT EN FONCTION DU TEMPS**



Système thermique

Des mesures de débits et de consommation en carburant ont été réalisées suivant les trois régimes de fonctionnement dans les mêmes conditions d'exploitation que la pompe solaire. Les résultats sont regroupés dans le tableau 6 qui suit :

Tableau 6

REGIME	MINIMAL	NORMAL	MAXIMAL
Volume (l)	0	100	100
Temps	-	0' 42" 0	0' 26" 47
Débit (m ³ /h)	0	8,57	13,6
Consommation (l/h)	-	1	2

L'utilisation de la pompe thermique se fait au régime normal. A ce régime le débit est de 8,57 m³/h avec une consommation de 1 l/h. La pompe thermique travaille 4 h/j en fonctionnement normal.

Dans le soucis d'avoir une même quantité d'eau annuelle pour une comparaison plus fiable avec le système solaire, le temps de fonctionnement a été prolongé à 6 h 20 mn. Il est obtenu ainsi un débit journalier de 54 m³/j pour une HMT de 7,80 m.

III - 2 CONTRAINTES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

a. Pompe solaire

1. Contraintes d'exploitation

La contrainte majeure est l'instabilité du débit : la pompe solaire de surface fonctionne au fil du soleil ; le débit, fonction de l'ensoleillement est variable le long de la journée et au cours de l'année. Pour pallier à ce problème et réguler le débit d'irrigation, un réservoir en adobe a été construit avec une capacité de 74 m³ et un revêtement intérieur en plastique.

Le nettoyage des modules est nécessaire pour pallier à la réduction du rendement du générateur à cause de la poussière qui s'y dépose. Ce travail est fait par le gardien ou le responsable de l'installation.

Le démarrage et l'arrêt de la pompe se font par un simple jeu d'interrupteur.

2. Organisation de la maintenance

La maintenance des équipements photovoltaïques demande une équipe spécialisée. La formation d'un certain nombre de personnes au sein du groupement pour la maintenance ne peut-être envisagée car le faible taux des pannes ne favorise pas l'assimilation des connaissances.

La maintenance sera donc assurée par SAHEL ENERGIE SOLAIRE avec une équipe composée de deux personnes :

- un ouvrier-chauffeur
- un technicien

SAHEL ENERGIE SOLAIRE procède à la maintenance de deux manières (en accord avec la collectivité locale) :

- soit par contrat de garantie totale en main d'œuvre et pièces détachées s'élevant à 100 000 F CFA/an,

- soit une visite par an assurant la main d'œuvre et le frais de déplacement qui s'élèvent à 25 000 F CFA. La collectivité locale prendra en charge les coûts des pièces détachées lors de l'intervention.

Compte tenu de la taille du périmètre, de l'installation et de la faible fréquence d'intervention sur les pompes solaires de surface (cas du Mali : une intervention/an), la seconde option est la mieux adaptée au groupement maraîcher de RABEGA.

3. Fiabilité

SAHEL ENERGIE SOLAIRE (avec un parc de 40 stations dont 4 sont des pompes de surface), créée en 1982 n'a pas un recul suffisant dans le temps. Aussi l'utilisation de la pompe Hydrasol par cette ONG est récente. Ce qui ne permet pas un jugement. Tout

de même, on peut se baser sur l'expérience malienne avec MALI AQUA VIVA (15 ans d'expérience) mettant en évidence la supériorité de la fiabilité des pompes photovoltaïques par rapport à celle des pompes à moteur diesel ou à essence. Cette expérience aboutit à la conclusion suivante : durée de vie de l'électropompe : 7 ans (peut être prise égale à 10 ans). Durée de vie du générateur : 20 ans.

b. Pompe thermique

1. Contraintes d'exploitation

La pompe thermique n'exige pas de réservoir de stockage d'eau. Mais contrairement à la pompe solaire, elle demande trop d'entretiens.

L'entretien quotidien consiste à vérifier :

- le niveau du gaz oil dans le reservoir,
- le niveau et l'état du lubrifiant dans le carter du moteur et le carter d'huile de la pompe,
- le filtre à air

La plupart des motopompes (y compris ce cas) exige un amorçage à chaque démarrage (un acte très contraignant). Il y a aussi l'entretien périodique des filtres (filtre à air et filtre à essence ou gaz-oil).

Le démarrage des motopompes demande un effort physique très important.

2. Organisation de la maintenance

La maintenance n'est pas assurée par un groupe spécialisé se déplaçant sur le terrain. Une pompe en panne exige le transport jusqu'à Ouagadougou pour être réparée.

3. Fiabilité

Les pompes thermiques sont d'une utilisation ancienne en Afrique. On sait que les moteurs thermiques demandent une excellente infrastructure d'entretien pour assurer un service convenable ; pratiquement dans les conditions de la région (en général en Afrique), cette infrastructure manque généralement et la durée de vie des équipements, est souvent dérisoire faute d'entretien. L'expérience des ONG en place s'occupant du domaine de

pompage (ADRA) permet de prendre pour les pompes thermiques, une durée d'amortissement de 4 ans.

III.2. ASPECT ECONOMIQUE

Pour faire une comparaison valable, il faut déterminer, au préalable l'ensemble des biens et services directs et indirects associés à la solution étudiée c'est-à-dire qu'il faut inclure l'ensemble des composantes permettant le fonctionnement du système. La comparaison se fait dans un contexte précis (cas du Burkina Faso et précisément la localité de Loumbila) car la variété des situations en matière des coûts d'investissement et de fonctionnement suivant l'origine du produit et le cadre d'implantation de l'équipement ne permet une comparaison générale sérieuse.

L'étude économique s'effectue sur la base du coût d'investissement, de l'amortissement de l'investissement, du coût de fonctionnement, du coût du m³ pompé et des charges récurrentes par exploitant.

III.2.1. LE COUT D'INVESTISSEMENT

Le coût d'investissement prend en compte :

- le coût de l'ouvrage
- le coût des matériels d'exhaure : ensemble de pompage + générateur (pour le système photovoltaïque)
- le coût du montage et du génie civil (éventuellement)
- le coût des aménagements

a. Pompe solaire photovoltaïque

Les pompes de surface en général ne nécessitent pas d'ouvrage. Pour cette étude, la pompe étant flottante, un petit puits de 3 m de profondeur a été creusé par la main d'œuvre locale. Ce petit puits est relié à la source (cours d'eau) par un canal creusé de la même manière. L'estimation du coût en raison de 960 F CFA/jour/homme pour quatre jours de travaux faits par quatre hommes s'élève à 11 520 F CFA.

Les matériels de pompage solaire photovoltaïque livrés par TOTAL dans le cadre du programme régional solaire s'avèrent trop chers et l'analyse économique faite dans ce cadre a montré que pour les paysans, le pompage solaire n'apporte aucun avantage en

terme financier. Ainsi, il sera question pour cette étude de matériels de pompage beaucoup moins chers que ceux de TOTAL : Pompe flottante HYDRASOL. Le coût des matériels d'exhaure installés par SAHEL ENERGIE SOLAIRE s'élève alors à :

- générateur de 1005 wc	4 625 000 F CFA
- pom. hydro. HF-1000,60 v sur flotteur	300 000 F CFA
- cable 4 X 10 mm ²	275 000 F CFA
- prestation de service et genie civil	600 000 F CFA
TOTAL	5 800 000 F CFA

Le coût des aménagements se résume au bassin de stockage d'eau. Le bassin de stockage est fait en adobe (construction locale) pour servir de model pratique et moins coûteux à d'autres groupements villageois. Le coût de la main d'œuvre locale est estimé à 26 880 F CFA. Le bassin possède un revêtement intérieur en plastique dont le coût a élevé à 211 600 F CFA. Le coût total du bassin de stockage s'élève donc à 238 480 F CFA.

b. Pompe thermique

Pour la pompe à essence utilisée pour cette comparaison, le même ouvrage (puit) dont le coût s'élève à 11 520 F CFA est adopté. Le coût de la motopompe s'élève à 225 000 F CFA. Le socle et l'abri sont fait de manière traditionnelle; le coût peut être estimé à 3 000 F CFA. Les villageois n'utilisent pas les citernes pour stocker le carburant mais préfèrent le récipient de 20 l.

III.2.2. AMORTISSEMENT DE L'INVESTISSEMENT

Chacun des coûts soulignés précédemment est caractérisé par une durée d'amortissement qui sera prise égale à la durée de vie du matériel considéré, facteur influent sur la compétitivité relative de deux systèmes (solaire et thermique).

L'ouvrage, le genie civil, le montage et les aménagements sont couramment amortis sur 20 ans. La durée de vie des équipements solaires examinés précédemment est estimée à :

- Durée de vie de l'électropompe 7 ans
- Durée de vie d'un générateur 20 ans

Pour le pompage thermique, la durée de vie de la motopompe est estimée à 4 ans. L'abri fait de manière traditionnelle est renouvelé chaque année. Le calcul de l'amortissement est résumé dans les tableaux suivants :

Tableau 7 : Pompe solaire photovoltaïque

	Investissement (FCFA)	Durée de vie (an)	Amortissement (FCFA)
- Générateur	4 625 000	20	231 250
- Electropompe	300 000	7	42 857
- Génie civil montage	875 000	20	43 750
- Réservoir stockage	238 480	20	11 924
- Puits	11 520	20	576
Amortissement total			330 757

Tableau 8 : POMPAGE THERMIQUE

	Investissement (FCFA)	Durée de vie (an)	Amortissement (FCFA)
Ouvrage (puits)	11 520	20	576
Motopompe	225 000	4	56 250
Abri + socle (traditionnel)	3 000	1	3 000
Amortissement total			59 826

III.2.3. COUT DE FONCTIONNEMENT

Ce coût recouvre les postes suivants :

- frais d'intervention de l'équipe de maintenance
 - . main d'oeuvre
 - . frais de déplacement
- pièces détachées
- main d'oeuvre locale (gardien)
- le coût des carburants et lubrifiants avec leur transport éventuel pour la pompe thermique

a. Pompage solaire

La surveillance de l'installation est assurée par un membre du groupement. Le salaire mensuel du gardien (local) est estimé à 10 000 F CFA. Comme il a été expliqué précédemment, les frais d'intervention de l'équipe de la maintenance (main d'oeuvre plus frais de déplacement) s'élèvent à 25 000 F CFA/an. Le coût des pièces détachées s'élève à 26 000 F CFA/an (voir annexe). Le coût de fonctionnement total s'élève à 171 000 F CFA/an.

b. Pompage thermique

Le coût moyen annuel de l'entretien et pièces détachées de ce type de pompe est estimé à 60 000 F CFA

La consommation du carburant est de 1l/h (en raison de 300 F CFA/l). La pompe fonctionne 4h/j en régime normal. Pour avoir la production d'eau annuelle, elle fonctionnera 6h20 mn/j. Le coût du carburant s'élève donc à 463 050 FCFA/an.

La vidange (1,5l) se fait une fois par semaine en raison de 2195 F CFA le litre d'huile. On obtient un coût de 115 238 F CFA/an. le coût du transport de carburant (Ouaga-loumbila) s'élève à 24 600/an.

Le coût de fonctionnement total pour 245 jours d'irrigation s'élève à 662 888 F CFA/an.

III.2.4. COUT DU M³ POMPE

Ce coût est le rapport du coût total annuel (amortissement + coût de fonctionnement) sur le volume pompé par an. (Tableau 9)

La production annuelle est de 13 230 m³ pour 245 jours d'irrigation . Les résultats sont au tableau suivant :

TABLEAU 9

	Pompe solaire photovoltaïque (FCFA)	Pompe à essence(FCFA)
Amortissement	330 357	59 826
Coût de fonctionnement/an	171 000	662 888
Coût total annuel	501 357	722 714
Production m ³ /an	13 230	13 230
Coût du m ³ /an	37,9	54,6

III.2.5. CHARGES RECURRENTES PAR EXPLOITANT

C'est le rapport du coût de fonctionnement par le nombre d'exploitant. Le groupement étant composé de 20 exploitants. Ainsi la charge récurrente (CR) est :

- pour le système solaire $CR = \frac{171\ 000}{20} \text{ FCFA/an} = 8550 \text{ FCFA/expl./an}$

- Pour le système thermique: $CR = \frac{662\ 888}{20} \text{ FCFA/an} = 33.145 \text{ FCFA/ex./an}$

III.2.6. GENERALISATION DES COUTS DU M³ POMPE

L'étude des coûts faite précédemment se limite aux deux cas particuliers de deux systèmes de pompage. Il est question dans ce cas d'une étude des coûts/m³ pompé en fonction de la puissance hydraulique de deux systèmes de pompage d'une façon générale mais se situant dans le contexte de la localité de Loumbila. Le choix de la puissance hydraulique permet l'adaptation des résultats au changement de la hauteur manométrique totale.

Cette étude permet de connaître jusqu'à quel niveau le coût du m³ pompé par le système photovoltaïque revient moins cher par rapport à celui du système thermique. Pour le pompage thermique c'est le diesel qui est pris car il est le plus adapté par rapport à la pompe à essence pour des débits plus importants.

Les données utilisées dans cette étude sont obtenues à partir des projets réalisés par SAHEL ENERGIE SOLAIRE (pour le système photovoltaïque) et ADRA (pour le pompage thermique).

Les pompes diesel sont prises avec un fonctionnement de 6 h/j en régime normal. Aussi elles engendrent un coût pour la surveillance car supposées très lourdes, leurs déplacements sont alors difficiles.

En toute rigueur, l'augmentation du temps de fonctionnement engendre un accroissement proportionnel du coût de fonctionnement et de l'amortissement. Ainsi la variation du temps n'aura pas une influence significative sur le coût du m³ pompé.

Le détail de calcul de cette étude générale est regroupé aux tableaux 10 et 11.

Il ressort de ces résultats représentés par la figure 10 qu'à partir d'une puissance hydraulique de 1 300 w, la pompe solaire photovoltaïque devient plus chère.

Tableau 10

POMPAGE THERMIQUE

	Motopompe diesel			
	TS - 50 (5cv)	TS - 80 (7 cv)	TS - 105 (9 cv)	TS - 155 (11 cv)
Investissements	750 000	1 250000	1 550000	2 325000
. Motopompe+				
accessoires	11 520	11 520	11 520	11 520
. Ouvrage (puit)	3 000	3 000	3 000	3 000
. Abri				
Amortissement				
. Motopompe +				
accessoires	187 500	312 500	3 875000	587 250
. Ouvrage	576	576	576	576
. Abri	3 000	3 000	3 000	3 000
Amortissement total	191 076	316 076	391 076	584 826
Coût de fonctionnement				
. Surveillance	120 000	120 000	120 000	120 000
. Carburant	352 800	529 200	740 880	1 093680
. Huile	68 267	102 400	143 406	211 627
. Transport (Ouaga-Loumbila)	22 050	33 075	46 305	68 355
. Entretien + pièces	187 500	312 500	387 500	581 250
Coût de fonctionnement total	750 617	1 097175	1 438091	2 074912
Coût total /an	941 693	1 413251	1 829167	2 659738
Débit journalier	102	432	720	1 080
Production de m3/an	24 990	105 840	176 400	264 600
Coût du m3	37,7	13,4	10,4	10,0
Puissance hydraulique (w)	324	1 373	2 289	3 434

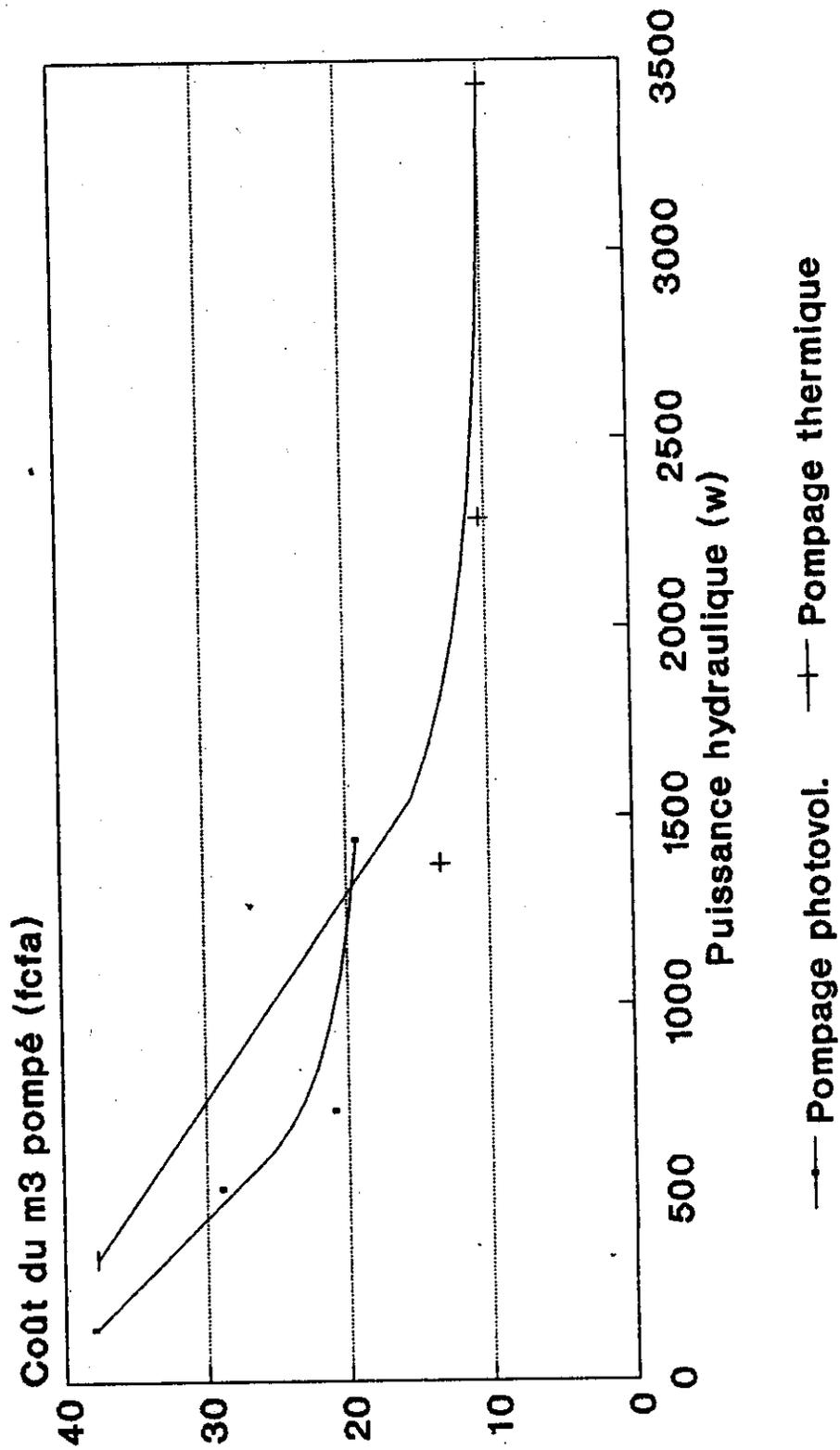
Tableau 11

POMPAGE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

Puissance - crête (wc)	1 000	2 520	3 600	7 200
Investissement				
. Générateur	4 625000	14 370000	16 803640	33 607 280
. Electropompe	300 000	2 100000	2 456360	4 912720
. Génie civil et installation	875 000	1 500000	2 300000	4 600000
. Amenagements	250 000	345 390	488 480	976 960
Investissement total	6 050000	18 385390	22 048 480	44 096 960
Amortissement				
. Générateur	231 250	718 500	840 182	1 680364
. Electropompe	42 857	300 000	350 908	701 816
. Génie civil et installation	43 750	78 500	115 000	230 000
. Amenagements	12 500	17 270	24 424	48 848
Amortissement total	330 357	1 114270	1 133892	2 267784
. Entretien + pièces *	51 000	100 000	100 000	100 000
. Surveillance	120 000	120 000	120 000	120 000
Coût de fonctionnement/an	171 000	220 000	220 000	220 000
Coût total /an	501 357	1 334270	1 358892	2 487784
Production du m3/an	13 230	46 060	64 680	129 360
Coût du m3 pompé	37,9	28,9	20,9	19,2
Puissance hydraulique (w)	136	512	719	1 438

* Pour les puissance-crêtes élevées, il a été adapté le contrat de garantie totale.

Figure 10
**VARIATION DU COUT DU M3 POMPE EN
 FONCTION DE LA PUISSANCE HYDRAULIQUE**



IV - ANALYSE COMPARATIVE

Les besoins en eau des cultures calculés sont en moyenne de $65\text{m}^3/\text{ha}/\text{j}$. Les deux pompes avec lesquelles l'étude a été menée satisfont, chacune aux besoins de 0,8 ha pour une HMT de 7,8 m. Les conditions climatiques de la zone sont favorables à l'installation du système.

Sur le plan technique, le pompage thermique a l'avantage d'avoir un débit constant, indépendant du temps, contrairement au pompage photovoltaïque qui se fait au fil du soleil. Mais ce problème (du pompage solaire) trouve sa solution dans la construction du réservoir. Le rendement permet de connaître la performance du système mais ne peut servir de critère de comparaison. L'avantage technique du pompage solaire est beaucoup plus déterminant :

- une fiabilité élevée permettant une durée de vie élevée et réduisant considérablement le nombre d'interventions à une fois par an contrairement au pompage thermique exigeant des entretiens quotidiens et dont l'insuffisante fiabilité occasionne des pannes fréquentes et par conséquent des pertes de récolte.

- une facilité d'utilisation par rapport à la pompe thermique : Un démarrage très simplifié (interrupteur) par rapport à la motopompe exigeant un amorçage et un effort physique important.

- Un entretien quotidien très simple par rapport aux entretiens quotidiens des pompes thermiques en général. Le système thermique exige aussi pour une grande autonomie, un réservoir pour le stockage du carburant contrairement au système solaire dont la source d'énergie existe sur place.

Pour la maintenance, la technicité est dans les deux cas en dehors de la portée des groupements villageois.

Il apparaît ainsi l'avantage technique du système solaire photovoltaïque par rapport au système thermique. Sur le plan économique l'étude faite sur la pompe solaire photovoltaïque HF - 1000, 60 V et la pompe à essence Robin TE2 - 80 donne les résultats au tableau 12 suivant :

TABLEAU 12

	Pompe solaire photovoltaïque	Pompe thermique (à essence)
Investissement	6 050 000 F CFA	239 520 F CFA
Coût du m ³ pompé	37,9 F CFA	54,6 F CFA
Coût de fonctionnement par exploitant	8 550 F CFA/an	33 145 F CFA/an

L'investissement initial du système photovoltaïque apparaît très élevé par rapport au système thermique (25 fois plus grand). Ainsi l'investissement du système solaire ne peut donc pas être pris entièrement en charge par le groupement villageois.

Par contre le coût du m³ pompé et le coût de fonctionnement par exploitant montre l'avantage économique du pompage solaire photovoltaïque par rapport au système thermique pour une superficie d'environ un hectare.

L'étude générale des coûts de deux systèmes faite dans le même contexte de Loumbila, a permis à partir des courbes tracées (figure 10), de connaître la limite de l'avantage économique du système solaire photovoltaïque pour cette localité. Pour une puissance hydraulique de 1 300 W correspond à environ 7 ha pour une HMT de 7 m les coûts du m³ d'eau pompée des systèmes photovoltaïque et thermique sont à peu près égaux. Au delà, le coût du pompage photovoltaïque devient plus cher.

L'analyse comparative conduit au tableau récapitulatif suivant :

	Pompage photovoltaïque	Pompage Thermique
Coût d'investissement	très élevé	moyen
Coût de fonctionnement	faible	très élevé
Coût du m ³ pompé	inférieur à celui du thermique pour une superficie allant à 7 ha	inférieur à celui du solaire pour une superficie au delà de 7 ha
Charges récurrentes	faibles	élevées
Astreinte de l'entretien	faible	très élevée
Fiabilité	élevée	faible
Durée de vie	élevée	faible
Besoin de stockage	oui	faible

CONCLUSION

De cette comparaison, il ressort pour le système solaire photovoltaïque les avantages techniques suivants :

- facilité d'utilisation et d'exploitation,
- fiabilité élevée,

par rapport au système thermique qui n'a comme avantage technique que la stabilité et l'indépendance du débit par rapport au temps, un avantage négligeable avec la présence du réservoir de stockage d'eau. Aussi les conditions climatiques sont favorables au système solaire.

L'étude faite sur la pompe photovoltaïque Hydrasol HF - 1000 (coût du m³ égal à 37,9 F CFA et les charges récurrentes par exploitant de 8 550 F CFA/an) et la pompe à essence (coût du m³ pompe égal à 54,6 F CFA et les charges récurrentes par exploitant à 33 145 F CFA/an) permet d'affirmer que pour une superficie irrigable d'environ 1 ha, la pompe solaire est la mieux adaptée au groupement villageois de Loumbila. Néanmoins le coût élevé des équipements solaires (25 fois plus que ceux du thermique) ne permet pas un financement de l'investissement initial par des fonds propres des groupements villageois.

L'étude générale faite sur les deux systèmes élargit la plage favorable au système solaire photovoltaïque (techniquement et économiquement) à environ 7 ha.

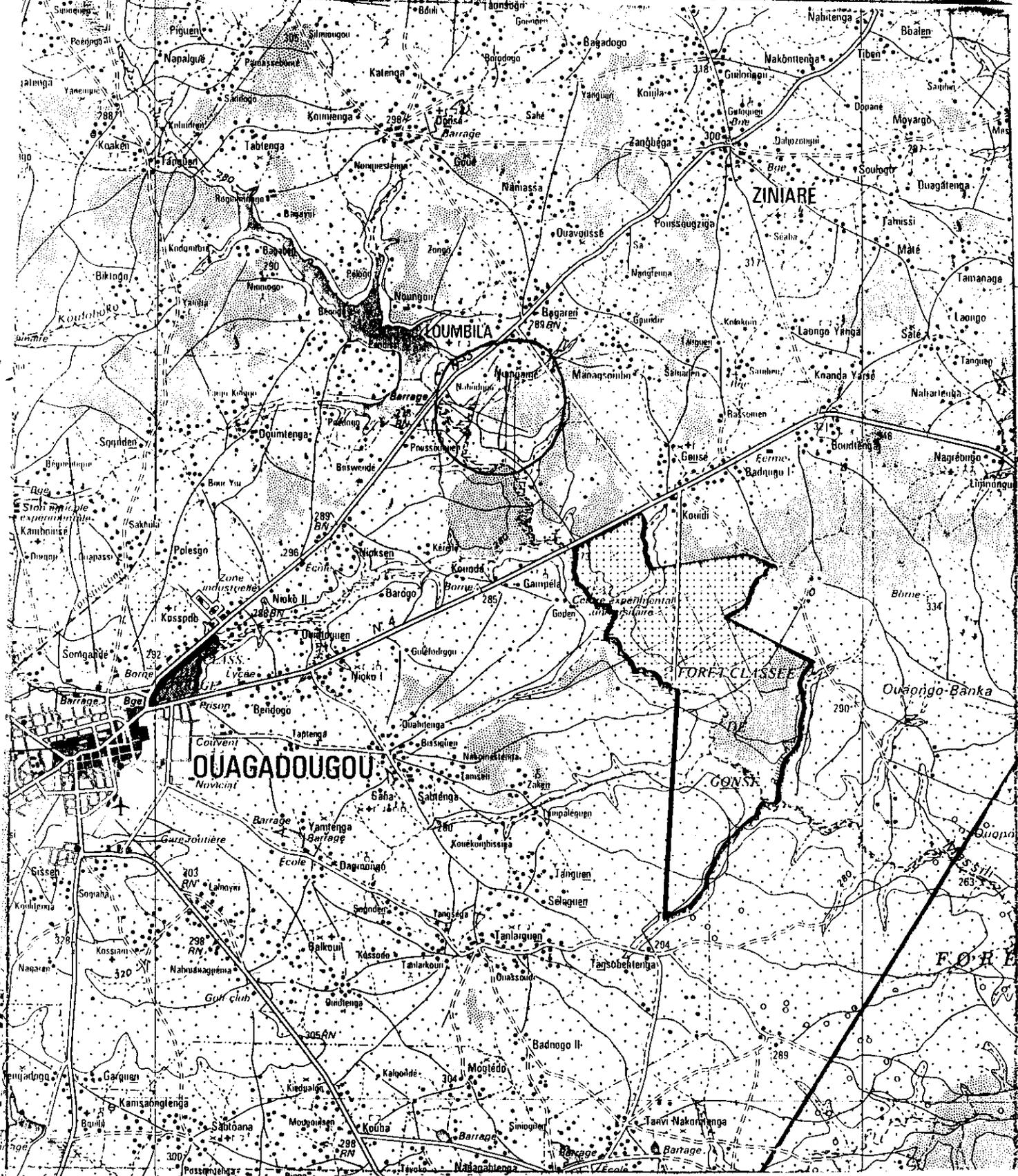
Au delà de 7 ha, le critère économique dans le contexte de la localité de Loumbila est en partie en défaveur du système photovoltaïque car le coût du m³ d'eau pompée devient plus cher.

Mais dans l'étude économique, il n'a pas été pris en compte les pertes de récoltes résultant des pannes fréquentes occasionnées par une fiabilité insuffisante du système thermique. Une intégration de coûts dû à ces pertes (difficilement quantifiable) favoriserait davantage le système photovoltaïque.

A N N E X E S

ANNEXE I

- PLAN DE SITUATION



1°30'

1°15'

Carte : 1/200.000

Source : Institut géographique du Burkina

A N N E X E 2

DONNEES METEOROLOGIQUES DE LA

STATION DE OUAGADOUGOU (1982-1987)

ANNEXE : Journées types de la station de OUAGADOUGOU.

janvier												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	21,0	16,8	17,2	22,5	29,8	32,1	29,0	23,9				
éha °C	11,7	10,7	8,9	11,0	13,8	14,9	14,5	12,9				
éa' °C	3,8	3,4	3,2	-0,3	-0,6	0,1	2,9	3,9				
ea X	32	38	39	22	14	13	19	27				
va m/s	1,3	1,1	1,1	3,7	4,3	3,2	2,1	1,5				
pa mmHg	734	734	734	734	734	733	732	733				
10-°C kJ/(m².j)	20,2								pluviométrie		0 mm	

février												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	24,5	22,4	20,7	26,2	33,4	35,4	33,4	27,4				
éha °C	13,7	12,7	12,6	12,7	15,6	16,6	16,5	14,9				
éa' °C	5,4	4,9	6,4	0,6	1,1	2,2	4,0	6,2				
ea X	29	32	40	19	13	12	16	27				
va m/s	1,1	1,4	1,0	3,4	4,1	3,1	2,2	1,3				
pa mmHg	733	732	732	732	732	732	731	732				
10-°C kJ/(m².j)	22,9								pluviométrie		0 mm	

mars												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	28,2	26,3	24,8	29,9	35,5	37,3	35,2	30,7				
éha °C	16,5	15,8	15,3	16,2	17,8	18,5	18,2	17,5				
éa' °C	8,0	8,9	9,0	6,8	6,0	6,4	7,4	9,3				
ea X	30	33	37	24	16	15	18	27				
va m/s	1,1	1,4	1,3	3,5	3,6	2,6	2,0	1,1				
pa mmHg	731	731	731	731	731	731	730	731				
10-°C kJ/(m².j)	22,6								pluviométrie		11,2 mm	

avril												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	30,7	29,0	27,6	32,1	37,5	39,2	37,1	32,9				
éha °C	19,7	19,6	19,6	21,0	21,6	21,2	20,6	20,3				
éa' °C	14,1	14,9	15,7	15,7	13,8	11,9	12,0	14,0				
ea X	37	42	48	37	24	20	22	32				
va m/s	2,1	2,2	1,6	3,0	3,5	2,9	2,6	1,7				
pa mmHg	730	730	730	730	731	730	729	729				
10-°C kJ/(m².j)	22,7								pluviométrie		15,2 mm	

mai												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	30,4	28,9	27,8	30,3	34,9	37,2	35,3	32,5				
éha °C	22,9	22,7	22,8	23,5	24,1	23,8	23,1	23,1				
éa' °C	19,9	20,3	20,8	20,9	19,8	18,5	18,1	19,4				
ea X	83	85	88	84	77	72	74	79				
va m/s	2,7	3,0	2,2	3,5	3,1	2,6	2,2	2,3				
pa mmHg	731	731	731	731	731	730	729	730				
10-°C kJ/(m².j)	22,4								pluviométrie		79,0 mm	

juin												
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h				
ea °C	27,9	26,8	25,8	28,9	32,1	33,4	31,9	29,8				
éha °C	23,3	22,8	22,6	23,3	24,0	24,0	23,7	23,6				
éa' °C	21,4	21,3	21,4	21,1	20,8	20,4	20,4	21,3				
ea X	68	73	78	63	52	47	51	61				
va m/s	2,7	2,2	2,1	3,3	3,1	2,6	2,4	2,4				
pa mmHg	733	733	733	733	733	732	731	732				
10-°C kJ/(m².j)	21,8								pluviométrie		93,4 mm	

ANNEXE : Journées types de la station de OUAGADOUGOU (suite).

juillet													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	26,3	25,2	24,3	26,7	29,9	31,5	30,3	27,6					
éha °C	23,2	22,8	22,4	23,0	23,8	24,0	23,9	23,4					
éa' °C	22,0	21,8	21,7	21,5	21,4	21,2	21,4	21,9					
ea x	78	82	86	74	61	55	59	71					
va m/s	2,0	2,0	1,7	3,0	2,9	2,6	2,3	1,8					
pa mmHg	733	733	733	733	734	733	732	733					
10-°C kJ/(m².j)	20,9		pluviométrie										160,6 mm

août													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	25,1	24,4	23,8	26,3	29,4	30,2	28,9	26,5					
éha °C	23,3	22,8	22,6	23,2	24,0	24,1	24,1	23,5					
éa' °C	22,5	22,3	22,2	21,9	21,9	21,8	22,2	22,3					
ea x	86	88	91	77	64	61	68	78					
va m/s	1,3	1,4	1,4	2,6	2,9	2,5	2,1	1,7					
pa mmHg	734	733	733	734	734	733	732	733					
10-°C kJ/(m².j)	18,7		pluviométrie										163,8 mm

septembre													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	25,4	24,5	23,7	26,8	30,3	31,7	29,5	26,8					
éha °C	23,2	22,6	22,3	23,2	24,0	24,4	23,9	23,6					
éa' °C	22,3	21,9	21,8	21,8	21,6	21,7	21,8	22,3					
ea x	84	86	89	74	60	56	64	76					
va m/s	1,7	1,3	1,3	2,5	2,5	2,2	2,1	1,3					
pa mmHg	733	733	733	733	734	733	732	733					
10-°C kJ/(m².j)	21,4		pluviométrie										122,8 mm

octobre													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	26,3	24,7	23,7	28,8	33,8	34,8	31,5	28,1					
éha °C	21,3	20,9	20,8	22,3	22,9	22,3	22,0	21,5					
éa' °C	19,2	19,3	19,5	19,6	18,2	16,8	17,9	18,7					
ea x	65	72	78	58	40	34	44	57					
va m/s	1,2	1,0	0,7	1,9	2,3	2,4	1,5	1,2					
pa mmHg	733	733	733	733	733	732	731	732					
10-°C kJ/(m².j)	21,0		pluviométrie										23,2 mm

novembre													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	24,1	22,0	20,4	28,3	34,4	35,6	31,4	26,7					
éha °C	16,5	15,7	15,3	16,7	18,1	18,4	18,3	17,1					
éa' °C	12,0	12,0	12,2	9,3	7,8	7,4	10,6	11,5					
ea x	47	53	59	30	19	18	28	39					
va m/s	1,0	0,4	0,4	2,1	3,1	2,5	1,0	0,6					
pa mmHg	733	733	733	733	732	732	732	732					
10-°C kJ/(m².j)	20,7		pluviométrie										0,4 mm

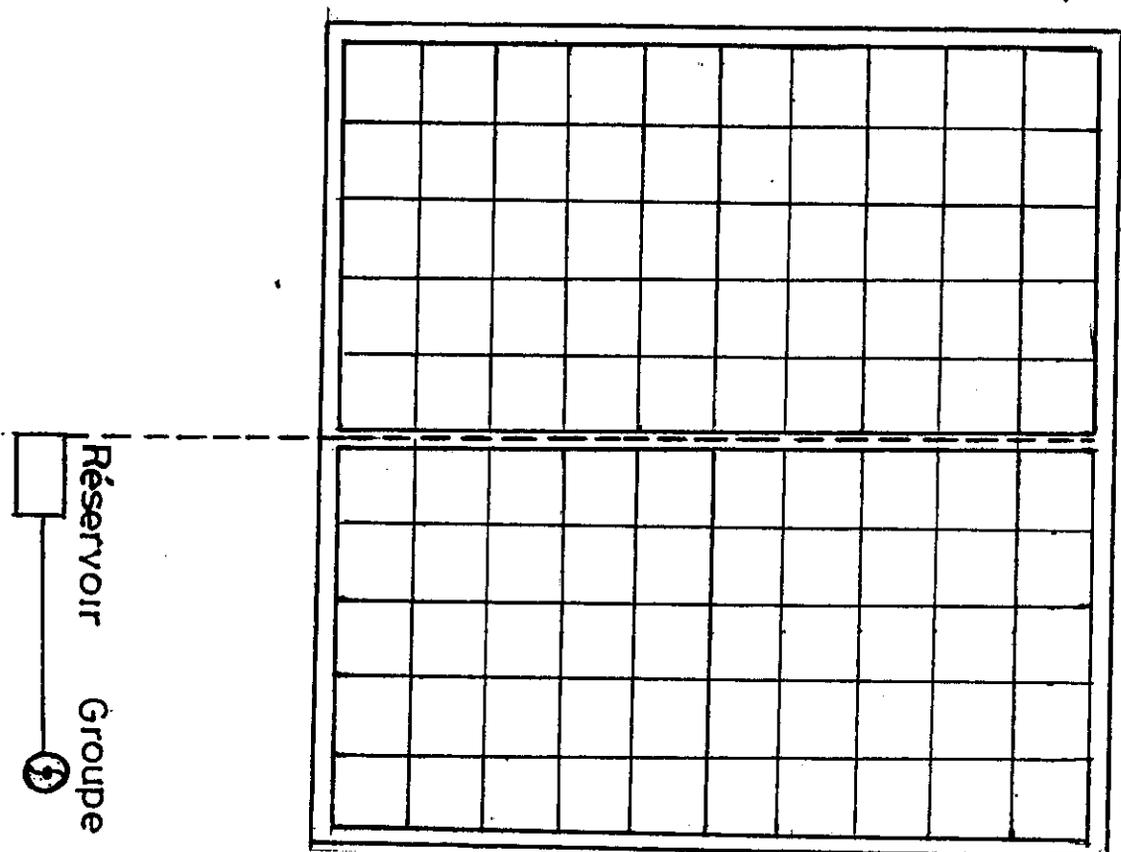
décembre													
heure	0h	3h	6h	9h	12h	15h	18h	21h					
ea °C	21,2	19,2	17,6	24,7	30,4	32,1	28,2	23,7					
éha °C	12,4	13,3	10,7	12,4	14,5	15,4	15,0	13,8					
éa' °C	5,5	9,3	4,8	1,3	1,0	2,1	5,2	5,8					
ea x	36	53	43	22	15	15	23	22					
va m/s	0,9	0,7	0,8	3,6	3,9	3,1	1,6	1,1					
pa mmHg	734	734	734	734	734	733	733	733					
10-°C kJ/(m².j)	18,7		pluviométrie										0 mm

A N N E X E 3

ANNEXE 3

Plan du périmètre

(1 Ha)



10m

Légende

- Limite des parcelles
- - Canal d'irrigation

A N N E X E 4

CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

TABLEAU DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

COURGETTE cycle de 100 jours

	1ère période				2ème période				JULIN
	NOV.	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUN	
Ebac(mm/j)	7,91	7,62	8,35	9,88	10,95	10,95	10,04	8,5	
Kbac	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	
ETP(mm/j)	5,93	5,71	5,84	5,92	7,66	7,59	8,03	6,8	
phase de croissance	phase init. (25j)	phase dév. (35j)	phase mi-s. (25j)	phase or-s. (15j)	phase init. (25j)	phase dév. (35j)	phase mi-s. (25j)	phase or-s. (15j)	
	0,45		0,9		0,75		0,45		0,7
Kc/phase	0,45	0,7	0,9	0,75	0,45	0,7	0,9	0,75	
ETM(mm/j)	2,92	4,03	5,06	5,19	3,75	5,43	6,95	5,1	
ETM(mm/mois)	87,47	125,05	156,8	41,52	112,5	163,02	215,5	40,8	
pluie efficace	87,47	125,05	156,8	41,52	11,2	15,2	70,15	82,3	
					0	0	0	0	
besoins nets(mm)	0,7	0,7	0,7	0,7	101,4	147,82	145,45	0	
efficience	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
besoins bruts(mm)	124,9	178,6	224	59,31	144,8	211,1	207,7	0	
besoins bruts (m ³ /ha)	1249	1786	2240	593,1	1448	2111	2077	0	

TABLEAU DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

POIVRON cycle 120 jours

	1ere periode				2eme periode						
	NOV.	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.		
Ebac(mm/l)	7,91	7,62	8,35	9,88	10,95	10,98	10,04	8,5	6,81		
Kbac	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8		
ETP(mm/l)	5,93	5,71	5,84	6,92	7,66	7,69	8,03	6,8	5,45		
phase de croissance	phase init (25j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (40j)	phase or-s. (20j)	phase init. (25j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (40j)	phase or-s. (20j)			
Kc/phase	0,35	0,7	1,05	0,9	0,35	0,7	1,05	0,9			
ETM(mm/l)	2,42	4,06	6,13	6,52	2,68	5,38	7,98	6,6	4,9		
ETM(mm/mois)	72,64	125,9	190,09	182,69	67,02	161,49	247,3	197,88	19,62		
pluie efficace	0	0	0	0	10,2	15,2	70,15	82,39	139,51		
besoins nets(mm)	72,64	125,9	190,09	182,69	55,82	146,3	177,3	115,49	0		
efficience	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		
besoins bruts(mm)	103,7	179,8	271,5	260,9	79,7	209	253,2	164,9	0		
besoins bruts (m ³ /ha)	1037	1798	2715	2609	797	2090	2532	1640	0		

TABLEAU DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

TOMATE cycle de 120 jours

	1ere période				2eme période				
	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUN	JUIL.
Ebac(mm/j)	7,91	7,62	8,35	9,88	10,95	10,99	10,04	8,5	6,81
Kbac	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
ETP(mm/j)	5,93	5,71	5,82	6,92	7,66	7,68	8,03	6,8	5,4
phase de croissance	phase init. (30j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (35j)	phase or-s. (20j)	phase init. (30j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (35j)	phase or-s. (20j)	
Kc/phase	0,45	0,75	1,15	0,8	0,45	0,75	1,15	0,8	
ETM(mm/j)									
ETM(mm/mois)	80,1	132,7	198,8	174,4	86,2	163,6	257,4	194,1	13
pluie efficace	0	0	0	0	11,2	15,2	70,15	82,39	139,51
besoins nets(mm)	80,1	132,7	198,8	174,4	75	148,4	187,3	111,7	0
efficience	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
besoins bruts(mm)	144,4	189,6	284	249,1	107	212	267,6	159,6	0
besoins bruts (m ³ /ha)	1444	1896	2840	2491	1070	2120	2676	1596	0

TABLEAU DES BESOINS EN EAU DIRRIGATION

CONCOMBRE cycle de 105 jours

	1ère période						2ème période					
	NOV.	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN				
Ebac(mm/i)	7,91	7,62	8,35	9,88	10,95	10,99	10,04	8,5				
Kbac	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8				
EIP(mm/i)	5,93	5,71	5,84	6,92	7,66	7,69	8,03	5,8				
phase de croissance	phase init. (20j)	phase dév. (30j)	phase mi-s. (40j)	phase dr-s. (15j)	phase init. (20j)	phase dév. (30j)	phase mi-s. (40j)	phase dr-s. (15j)				
Kc/phase	0,45	0,7	0,9	0,75	0,45	0,7	0,9	0,75				
ETM(mm/i)	3,16	4,4	80,59	5,19	4,13	5,95	7,15	5,1				
ETM(mm/mois)	94,88	136,47	161,18	67,47	127,92	178,41	221,63	66,3				
pluie efficace					11,2	15,2	70,15	82,3				
besoins nets(mm)	94,88	136,47	161,18	67,47	116,72	163,21	151,48	0				
efficience	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7				
besoins bruts(mm)	135,5	194,9	230,2	96,4	166,7	233,1	216,4	0				
besoins bruts (m ³ /ha)	1355	1949	2302	964	1667	2331	2164	0				

TABLEAU DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

CARROTTE cycle 120 jours

	1ère période				2ème période				
	NOV.	DEC	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUIN	JUIL.
Ebac(mm/j)	7,91	7,62	8,35	9,88	10,95	10,99	10,04	8,5	6,81
Kbac	0,75	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
ETP(mm/j)	5,93	5,71	5,84	6,92	7,66	7,69	7,03	6,8	5,45
phase de croissance	phase init. (25j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (40j)	phase dr--s. (20j)	phase init. (25j)	phase dev. (35j)	phase mi-s. (40j)	phase dr--s. (20j)	
Kc/phase	0,45	0,75	1,05	0,9	0,45	0,75	1,05		
ETM(mm/j)	2,96	4,34	6,13	6,52	3,45	5,77	8,04	5	4,9
ETM(mm/mois)	88,95	134,47	190,09	182,69	186,17	173,02	249,33	197,88	19,62
pluie eff.	0	0	0	0	11,2	15,2	70,15	82,39	139,5
besoins nets(mm)	88,95	134,47	190,09	182,69	174,97	157,82	179,18	115,49	0
efficience	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
besoins bruts(mm)	127,1	192,1	271,5	260,9	249,9	225,4	255,9	164,9	0
besoins bruts (m ³ /ha)	1271	1921	2715	2609	2499	2254	2559	1649	0

TABLEAU DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION

CHOUX cycle de 80 jours

	1ère période				2ème période			
	NOV.	D	EC	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	
Ebac(mm/l)	7,91	7,62		8,35	9,88	10,95	10,99	
Kbac	0,75	0,75		0,7	0,7	0,7	0,7	
ETP(mm/l)	5,93	5,71		5,84	6,92	7,66	7,69	
phase de croissance.	phase init. (20 j)	phase dev. (30 j)	phase mi-s. (20 j)	phase or-s. (10 j)	phase init. (20 j)	phase dev. (30 j)	phase mi-s. (20 j)	phase or-s. (10 j)
Kc/phase	0,45	0,75	1,05	0,9	0,45	0,75	1,05	0,9
ETM(mm/l)	3,26	4,89		5,67	3,71	6,41	7,52	
ETM(mm/mois)	97,84	151,6		107,	103,8	198,78	158,0	
pluie efficace	0	0		0	0	11,2	15,2	
besoins nets(mm)	97,84	151,6		107,	103,8	187,58	142,8 3	
efficience	0,7	0,7		0,7	0,7	0,7	0,7	
besoins bruts(mm)	139,77	216,6		153	148,3	268	204	
besoins bruts (m ³ /ha)	1398	2166		1530	1483	2680	2040	

A N N E X E 5

FIGE DE MESURES

Site : Lournbilla
 Pompe Solaire : Hydrasol
 Model HF-1000,60W

Générateur :
 Puissance : 1005 Wc
 Surface: 8,5595 m²

Date : 24/05/93
 Réalisé par :
 SEOSSOU DUMET

Heures	TEMP. °C	Ens. glob. (W/m ²)	Tension (V)	Intens. (A)	Débit (m ³ /h)	HMT (m)	Puiss. ens. (W)	Puiss. élect. (W)	Puiss. hydr. (W)	rend. gén. (%)	rend. électrop. (%)	rend. glob. (%)
10 h	34,90	568	46,50	7,60	7,13	6,34	4861,80	353,40	123,14	7,27	34,84	2,50
11 h	34,50	526	46,00	7,40	6,17	5,89	4530,30	340,40	99,01	7,56	29,07	2,20
12 h	36,20	583	46,70	8,56	7,04	6,79	4990,19	399,75	130,32	8,01	32,60	2,60
13 h	37,60	665	50,10	8,93	8,21	7,70	5692,17	447,39	172,32	7,86	38,52	3,03
14 h	36,70	466	42,50	6,77	5,41	5,52	3988,73	287,72	81,37	7,21	28,28	2,04
15 h	37,70	389	36,70	5,40	3,28	4,51	3329,65	198,18	40,28	5,95	20,32	1,21
16 h					0,00							

FICHE DE MESURES

Site : Loumbila
 Pompe Solaire : Hyv Hydrasol
 Model:HF F 1000,60W

Générateur :
 Puissance :1005 Wc
 Surface:8,5595m²

Date :7/05/93
 Réalisé par :
 SEOSSOU DJIMET

Heures	Ens. glob. (W/m ²)	Tension (V)	Intens. (A)	Débit (m ³ /h)	HMT (m)	Puiss. ens. (W)	Puiss. élect. (W)	Puiss. hydr. (W)	rend. gén. (%)	rend. électrop. (%)	rend. glob. (%)
8h30	365	--	5,27	2,68	4,28	3124,22	--	31,30	--	--	1,00
9h45	551	46,5	7,96	7,02	6,53	4716,28	370,14	124,99	7,84	33,71	2,65
13h	682	51,9	9,8	7,90	7,23	5837,58	508,62	155,73	8,71	30,62	2,67
14h15	565	43,8	7,93	5,80	5,829	4836,12	347,33	92,14	7,18	26,53	1,90
15h20	407	35,6	5,61	2,58	4,264	3483,72	199,72	29,98	5,73	15,01	8,60
15h45	339	28,9	4,48	0,00	3,86	2901,67	129,47	0,00	4,46	0,00	8,60

FICHE DE MESURES

Site : Loumbila
 Pompe Solaire : Hydrasol
 MODEL HF-1000,60W

Générateur :
 Puissance : 1005 Wc
 Surface: 8,5595 m²

Date : 23/05/93
 Réalisé par :
 SEOUSSOU DAHMET

Heures	TEMP. °C	Ens. glob. (W/m ²)	Tension (V)	Intens. (A)	Débit (m ³ /h)	HNIT (m)	Puiss. ens. (W)	Puiss. élect. (W)	Puiss. hydr. (W)	rend. gén. (%)	rend. électrop. (%)	rend. glob. (%)
9h20	37,50	650	38,00		4,32	4,931	5563,67	-	58,04	-	-	1,04
10h	38,10	594	48,00		6,70	6,38	5084,34	-	116,49	-	-	2,29
12 h	42,10	769	53,90		8,49	7,759	6582,26	-	179,50	-	-	2,727
13 h	43,00	730	50,50		79,80	7,278	6248,43	-	158,24	-	-	2,53
14 h	41,20	650	45,50		7,10	6,623	5563,67	-	128,14	-	-	2,30
15 h	41,60	466	36,60		3,63	4,604	3988,73	-	45,56	-	-	1,14
16 h		340	29,10		0,00	3,86	2910,23	-	-	-	-	0,00

BIBLIOGRAPHIE

1. AFME/DNHE/MCD : Le pompage solaire photovoltaïque :
13 années d'expériences au Mali - 1991
2. J. BILLEREY : La maîtrise de l'énergie et développement :
Le pompage photovoltaïque - Décembre 1986
3. CILSS : La lettre de PRS - Janvier 1993
4. J. DE BOISSEZON : Cours d'hydraulique générale (E.I.E.R)
Février 1985
5. FAO : Les besoins en eau d'irrigation : Manuel de
formation N°3
6. FAO : La motopompe et son entretien
7. T. FOGELMAN : Systèmes photovoltaïques pour les pays en voie
de développement - AFME. Septembre 1982
8. I. JANNOT : Cours de thermique solaire (E.I.E.R)
9. PHOTOWATT : Documentation de PHOTOWATT international
S.A
10. A. SCHMITT : Cours d'hydraulique agricole (E.I.E.R)
Novembre 1991
11. SEMA - ENERGIE : Energies renouvelables au sahel :
Evaluation des projets - mai 1982
12. SOGREA H : Les pompes et les petites stations de pompage -
Novembre 1991
13. A.D. TELLA ET B. CISSE : Systèmes photovoltaïques
Memoire de fin de spécialisation
(E.I.E.R) juillet 1985.

ERRATA

PAGE	LIGNE	ERREURS	CORRECTIONS
3	10	en 1982	créé en 1982
3	19	comparaison	comparaison technico-économique
3	28	de travail	de ce travail
3	30	lélaboration	l'élaboration
4	28	et fiabilité	et une fiabilité
4	33	exploitant	exploitant
8	18	matériaux	matériaux
9	32	sotckage	stockage
10	8	utilation	utilisation
12	17	palce	place
13	2	esence	essence
14	1	situé	localité située
15	11	périmètre Rabega	périmètre de Rabega
15	12	corotte	carotte
15	16	connaître	de connaître
16	2	deOuagadougou	de Ouagadougou
23	16	arrêt	arrêt entre
28	33	cette ONG	cet établissement
29	26	tansport	transport
29	31	imfrastructure	infrastructure
31	14	intereieur	intérieur
34	27	coûts/m3	coûts du m3
34	31	manomerique	manométrique
35	11	suposées	supposées
35	19	deces	de ces