



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche

07091

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr. RESTREINTE
UNIDO/IOD.25
5 février 1976
ORIGINAL: FRANCAIS

ASSISTANCE POUR LA CREATION D'UNE ENTREPRISE
FABRIQUANT DES APPAREILS UTILISANT L'ENERGIE SOLAIRE,

RP/SEN/75/001

SENEGAL,

Rapport final

Etabli pour le Gouvernement sénégalaise par
l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

Basé sur les travaux de M. J. Cesbron, expert de l'ONUDI

id.76-753

Notes explicatives

Dans les tableaux, la virgule (,) indique les décimales. Le trait d'union (-) entre deux millésimes, par exemple 1965-1968, indique qu'il s'agit de la période tout entière, y compris la première et la dernière année mentionnée. La barre oblique (/) entre deux millésimes, par exemple 1965/66, indique un exercice financier ou une campagne agricole.

Sauf indication contraire, le terme "dollar" s'entend de dollars des Etats-Unis d'Amérique, le terme "tonne" de la tonne métrique.

Equivalents du dollar en monnaie nationale :

Pays	Monnaie	Date	Taux de change
Sénégal	F CFA	1er Mai 1976	233 000

Les abréviations suivantes ont été utilisées dans le texte :

Organismes et sociétés

IPM	Institut de physique météorologique
IRAT	Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières
SOFRATES	Société française d'études thermiques et d'énergie solaire

Abréviations techniques

BP	Basse pression
HMT	Hauteur manométrique totale
HP	Haute pression
HT	Hors taxe
Pa	Pascal
Pm	Pression motrice
TCA	Taxe sur le chiffre d'affaires
TTC	Toutes taxes comprises
m ³ /j	Mètre cube par jour
SC	Société sénégalaise commercialisant un produit fabriqué en partie par des sous-traitants sénégalais
SF	Société sénégalaise fabriquant et commercialisant elle-même certains éléments

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitres</u>	<u>Page</u>
RESUME	5
INTRODUCTION	6
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	7
I. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET	10
A. Données météorologiques et hydrauliques	11
B. Essais du matériel installé	26
C. Analyse des différents types de produits et fabrication locale	35
D. Estimation du coût d'une station solaire	53
E. Problèmes liés à l'utilisation des petites pompes solaires	56
II. EVALUATION	59

Tableaux

1. Données relatives aux conditions de fonctionnement des pompes solaires	12
2. Comparaison des données météorologiques entre Dakar-Yoff et le Nord du Sénégal	13
3. Caractéristiques des forages	15
4. Coût estimé de la pompe	16
5. Coût annuel d'une station solaire	17
6. Coût d'exhaure du m ³ d'eau de pompe	17
7. Détermination de la consommation journalière en eau des villages	19
8. Répartition des animaux selon les régions	21
9. Coûts de pompage par m ³	24
10. Données relatives à la chauffe de la station	32
11. Données relatives au fonctionnement de la station	33
12. Prix de vente des capteurs	47

	<u>Page</u>
13. Coût de la main-d'oeuvre	48
14. Prix hors-taxe d'un capteur fournis par diverses entreprises	49
15. Coût total d'une pompe utilisant une batterie de 72 m ² d'insolateurs	50
16. Prix des insolateurs	51
17. Prix actuels et futurs de stations solaires	54
18. Problèmes liés à l'utilisation des petites pompes solaires	57

Figure

Schémas types des capteurs étudiés	38
--	----

RESUME

La mission avait pour objectifs d'aider le Gouvernement sénégalais à monter une pompe solaire fournie par l'ONUDI, d'étudier les possibilités d'utilisation de ce type de pompe au Sénégal, de comparer ses performances avec celles des deux pompes existantes et d'étudier les possibilités de fabrication locale des éléments de cette pompe.

Les travaux devaient se faire dans le cadre de l'Institut de physique météorologique H. Masson (IPM) de Dakar.

L'équipement, objet de l'étude, était prévu pour pomper une vingtaine de mètres cubes d'eau par jour sous une hauteur manométrique totale de 30 mètres environ.

En milieu villageois, on pourrait équiper environ 4 000 villages avec des pompes de faible débit; les moyens financiers sont cependant pratiquement inexistantes sur le marché et le financement devrait être gouvernemental ou international. Il serait également nécessaire de définir une politique d'exhaure qui tînt compte de moyens de pompage plus économiques et éventuellement nouveaux. Pour ce qui est de l'hydraulique en milieu pastoral où le débit journalier des forages serait de l'ordre de 100 m^3 , on pourrait envisager l'utilisation de ce type de pompes après des modifications profondes du matériel actuel.

En agriculture les besoins dépassent les possibilités de ces pompes.

En vue d'atteindre l'objectif fixé - la fabrication locale - on a seulement étudié un type nouveau d'insolateurs, d'un prix inférieur à celui des insolateurs importés. Ces insolateurs pourraient être installés sur des bâtiments publics en utilisant des techniques et des matériaux locaux dont les coûts sont faibles. Il faut remarquer cependant que ces insolateurs n'ont fait l'objet d'aucun essai. Quant à l'autre partie du matériel (moteur, échangeurs thermiques et pompe), étant donné les coûts actuels et l'évolution des produits, il ne paraît pas économique pour le moment d'envisager leur fabrication locale.

Le coût de ce type de pompes est encore trop élevé, ce qui conduit à recommander de limiter leur utilisation à des fins expérimentales.

INTRODUCTION

La sécheresse qui sévit au Sahel depuis près de huit ans a mis en lumière le problème de l'eau, de son utilisation rationnelle et des moyens de pompage. La technique des pompes solaires prend ainsi une place privilégiée dans la mise en oeuvre d'une politique hydraulique.

L'Assemblée générale des Nations Unies, dans sa résolution 3054^{1/}, a demandé qu'une aide importante soit accordée aux pays atteints par la sécheresse. Comme suite à la note du Président de la République du Sénégal remise au Secrétaire général de l'ONU en février 1974, le 2 mai 1974, le Ministre du Plan et de la Coopération au Sénégal a adressé au Représentant résident du PNUD une requête d'assistance technique relative à la mise au point et à la fabrication d'équipements utilisant l'énergie solaire et demandé de la transmettre à l'ONUDI pour exécution dans le cadre de son programme ordinaire.

Du 7 au 12 novembre 1974, une délégation sénégalaise s'est rendue à Vienne pour examiner les possibilités d'assistance technique que l'ONUDI serait en mesure de fournir au Sénégal dans ce domaine.

Dans une phase préliminaire de l'assistance fournie par l'ONUDI dans le cadre de son programme ordinaire, l'installation d'une pompe solaire a été financée, un expert a été mis à la disposition du Gouvernement sénégalais pour une durée de neuf mois et une bourse de perfectionnement a été attribuée à un ingénieur sénégalais.

Le coût total du projet a été estimé à 77 350 dollars.

^{1/} Res. 3054, adoptée par l'Assemblée générale à sa vingt-huitième session (A/9030) "Examen de la situation économique et sociale de la région soudano-sahélienne victime de la sécheresse et mesures à prendre en sa faveur".

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Etant donné l'ignorance où l'on se trouvait du marché, des modes de financement possible et du matériel, qui est encore à l'essai, il n'a pas été possible d'étudier la fabrication complète des équipements. Une évolution rapide des techniques d'application de l'énergie solaire est à prévoir. On a donc surtout cherché à définir des éléments ne nécessitant que de faibles investissements pour leur réalisation. Ces sous-ensembles, malgré tout, représentent 70 % du prix de la station installée et sont donc un facteur important des coûts. Les coûts des bâtiments installés, inférieurs à ceux de la charpente métallique actuellement utilisée, permettent de les construire systématiquement en vue d'une utilisation à des fins sociales; les insolateurs serviraient alors de toiture.

Si pour la SOFRETES il n'existe pas de problèmes de standardisation de ses équipements, le lancement des insolateurs étudiés est souhaitable puisqu'il utilise la main-d'oeuvre locale : en particulier, il est à recommander de faire fabriquer des capteurs par une entreprise sénégalaise, de préférence dans le cadre de petits programmes annuels. On pourrait déterminer le coût de l'aide et des activités ultérieures qu'elle entraîne pour pouvoir établir une comparaison avec les prix des entreprises européennes, mais on peut penser que pour des fabrications stables le coût total restera inférieur à celui de la concurrence. La tuyauterie peut être fabriquée au Sénégal mais, d'après les devis reçus, on croit qu'il serait bon d'étudier la possibilité de fabrication dans une petite entreprise sénégalaise. Quant au matériel thermique, il est à déconseiller de lancer la fabrication du moteur actuellement utilisé étant donné son prix et sa complexité. L'utilisation des échangeurs à plaques devrait permettre la fabrication des évaporateurs et des condenseurs au Sénégal. La fabrication d'échangeurs tubulaires entraînerait un coût beaucoup plus élevé que celui des éléments importés. Donc, dans un premier temps, le Sénégal pourrait importer ces éléments - excepté la tuyauterie - et mettre en place ces ensembles dans un châssis construit localement.

Par conséquent, la structure la plus souhaitable d'une société utilisant l'énergie solaire serait celle d'une société d'économie mixte ayant surtout des fonctions commerciales et "animatrices" durant la phase de démarrage; elle serait chargée de résoudre les problèmes posés par l'implantation de ce matériel

et de mettre en place les structures nécessaires; elle pourrait assurer la liaison entre des sous-traitants locaux, la SOFRETES, les autorités sénégalaises intéressées; elle formerait des ouvriers qualifiés aux techniques utilisées pour la construction des bâtiments, le montage des stations. On ne pourrait pas tout d'abord, à cause des charges trop lourdes, implanter des ateliers de fabrication. Ce n'est qu'à un stade ultérieur de développement que le transfert total et les fabrications pourraient se réaliser dans cette entreprise.

On peut faire les recommandations suivantes :

1. Avant la phase de démarrage d'un programme d'application généralisée de l'énergie solaire il est nécessaire d'entreprendre une sérieuse étude de marché comprenant les moyens de financement de ce programme et sa compatibilité avec celui des forages et des puits. Cette étude de marché portant principalement sur les pompes solaires pourrait être étendue à d'autres équipements pouvant utiliser l'énergie solaire : chauffe-eau, séchoirs, etc.

Il faudrait aussi réaliser un programme d'essai en vue d'identifier les équipements les mieux adaptés aux diverses utilisations et de définir les possibilités de leur implantation dans les diverses régions du Sénégal. Ces travaux permettraient d'aider le Gouvernement à définir une politique d'exhaure en milieu villageois et en milieu pastoral.

2. Si l'étude de faisabilité était concluante, une petite société d'économie mixte pourrait alors être envisagée. Au début, tout au moins, la fabrication des éléments de la station solaire ne serait pas confiée à cette société mais à des entreprises locales. La société serait "animatrice" et commerciale.

Dans une première phase du programme d'application de l'énergie solaire, les fabrications entreprises devraient l'être en fonction de l'évolution du matériel; à ce jour des progrès rapides sont à prévoir; il conviendrait de ne fabriquer que des produits stables, risquant peu d'évoluer et ne nécessitant pas de grands investissements, de préférence dans l'ordre suivant :

- Produits nécessaires au génie civil et moyens de distribution
- Capteurs et tuyauterie
- Echangeurs à plaques (évaporateurs et condenseurs)
- Pompe
- Moteur



3. L'acceptation et la vulgarisation des équipements utilisant l'énergie solaire dépendent beaucoup de leur bonne compréhension par les milieux qui les utilisent. Les services de la promotion humaine devraient jouer un rôle important dans le lancement de ces équipements.

4. Pour que l'IPM joue mieux son rôle de centre sénégalais de recherche appliquée dans le domaine de l'énergie solaire, il est à recommander de doter cet institut d'une structure et de moyens qui le lui permettent.

5. Le coût des pompes solaires étant encore trop élevé, il est recommandé, pour le moment, de limiter leur utilisation à des fins expérimentales.

I. ACTIVITES RELATIVES AU PROJET

Les moteurs solaires à collecteurs plans ont été mis au point à l'Institut de physique météorologique de la Faculté des sciences de Dakar sous la direction du Professeur H. Masson en collaboration avec les établissements Pierre Mengin dont est issue la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire (SOFRETES).

L'idée consiste à utiliser l'eau chauffée grâce à la chaleur émise par le soleil comme source d'eau chaude et l'eau pompée comme source d'eau froide. En faisant passer de la chaleur d'une source chaude sur une source froide, il est possible, d'après le principe de Carnot, d'obtenir un travail.

De nombreuses recherches ont déjà été faites dans le monde entier dans cette direction, le plus souvent basées sur la concentration de l'énergie solaire qui se fait obligatoirement avec des collecteurs orientables qui suivent la course du soleil. La pompe SOFRETES fonctionne à l'aide de collecteurs plans fixes et on peut les utiliser comme toitures pour des locaux d'habitation qui, du fait de l'évacuation des calories, sont partiellement climatisés.

Une batterie de capteurs d'énergie solaire de modèle rudimentaire et entièrement statique absorbe le rayonnement solaire et le transforme en chaleur. Cette fonction est assurée par une plaque jouant le rôle de "corps noir" isolée thermiquement du milieu ambiant et placée sous verre pour bénéficier de l'effet de serre. Cette plaque cède sa chaleur à un caloripporteur, généralement de l'eau, qui circule à l'intérieur des capteurs.

Le fluide caloripporteur cède une partie de son énergie, dans un évaporateur, à un autre fluide liquéfié qui, en s'échauffant, s'évapore et va se détendre dans un convertisseur. Le fluide, après sa détente dans le convertisseur, est liquéfié dans un condenseur refroidi par l'eau fournie par une pompe à piston immergée dans le forage et actionnée par le moteur.

C'est au niveau de l'évaporateur que la station installée à l'IPM diffère du produit commercialisé actuellement par SOFRETES. La vaporisation se fait dans un échangeur à plaques choisi pour son fort coefficient d'échange, son encombrement réduit, sa faible inertie thermique. Cependant la perte de charge, relativement grande, de cet évaporateur ne permet pas un fonctionnement en convection naturelle du fluide caloripporteur; il est donc nécessaire d'introduire un circulateur dans le circuit caloripporteur.

Tableau 1. Données relatives aux conditions de fonctionnement des pompes solaires

Formation captée	Région	Profondeur m	Débit maximum m ³ /h	Niveau		Coût ttc Millions F CFA
				sta- tique	dyna- mique	
Sables	Niayes C.V.	40	20 à 50	10	20	4,3
Sables quaternaires ou Continental T	Littoral Nord	100	100 à 200	30	40	12,5
Lutétien	Bambey-Louga	80	100 à 200	30	35	6
Paléocène	Fatick-thiadiaye	50	100 à 200	15	20	5
	"	100	100 à 200	20	25	7
	"	150	100 à 200	20	25	10
Continental T	Casamance et Sine Gambie	50	20 à 50	15	25	5,5
Miocène	Casamance	150	100 à 200	30	35	15,5
Maestrichtien	Autres régions	350	100 à 200	30	40	28

Mesures des rayonnements

Les seules mesures en possession de l'expert concernent le rayonnement global reçu par les capteurs horizontaux situés à Dakar (IPM) et dans trois stations agro-météo (Guede, Kaedi et Richard Toll). L'expert a établi deux moyennes des mesures effectuées (voir tableau 2).

A Dakar les pompes ont un fonctionnement intermittent durant les mois d'août (saison des pluies), novembre et décembre (brume, temps couvert et nuageux, vents frais). Le rayonnement est le même dans le nord et à Dakar pour les deux derniers mois; à Podor cependant le vent est trois fois plus faible et la température plus élevée. On peut penser que durant ces mois de fonctionnement irrégulier à Dakar, des pompes installées au nord du Sénégal auront un fonctionnement quasi journalier. En ce qui concerne le sud du Sénégal, il n'existe aucune mesure du rayonnement et il a été impossible à l'expert de se prononcer sur le fonctionnement des pompes.

Connaissant le rayonnement journalier, estimant à 30 000 kcal/h le débit calorifique des capteurs au fonctionnement nominal et à 45 % le rendement des capteurs, on pourrait déduire à partir des heures de démarrage de la pompe "ONUDI", la durée journalière moyenne de fonctionnement.

Tableau 2. Comparaison des données météorologiques entre Dakar-Yoff et le Nord du Sénégal

Mois	Mesures de rayonnement (kcal/m ² .j)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dakar	4480	5110	6030	6050	5990	5620	4980	4400	4670	4740	4300	4200
Nord Sénégal	4330	5030	5360	5910	5730	5420	5470	5100	5230	4330		4240
Dakar	9,61	9,65	9,49	10,65	10,06	8,53	7,08	7,12	7,23	5,64	8,28	6,61
Nord Sénégal	9,56	9,46	9,33	10,80	10,25	9,89	8,40	8,10	8,66	8,78	8,58	6,37
Dakar	21,1	21,2	18,7	20,6	21,7	24,3	26,8	26,9	27	26,5	24,5	22,9
Podor	22,4	24,6	25	27,6	31,8	32,3	30,3	29,6	30,8	30,4	27,3	24,2
Dakar	589	471	646	669	545	415	397	329	351	465	506	499
Podor	490	350	330	240	280	360	380	290	280	210	180	170
Dakar	3,77	4,50	5,60	5,60	5,53	5,10	4,35	3,68	4	4,07	3,56	3,44

Rayonnement journalier au sol

— pour Dakar (moyenne de 9 ans)
 - - - pour les trois stations agro-météo du nord du Sénégal



Les chiffres donnés semblent cependant trop faibles; cela peut provenir d'un temps de chauffe relativement long en cette période brumeuse. On pourrait cependant estimer la durée de fonctionnement annuel à 1 600 heures à Dakar.

L'analyse des données météorologiques ne peut guère renseigner sur le fonctionnement des pompes solaires. D'après la station ONUDI, on devrait avoir environ 1 700 heures de pompage annuel sur la plus grande partie du territoire; il est cependant permis de faire de sérieuses réserves pour le sud-est du Sénégal et la Casamance.

Une pente de 20 % au lieu de 15 % améliorerait peut-être en fin d'année le fonctionnement des pompes dans le nord du pays. L'IPM pourrait étudier cette possibilité en effectuant des mesures.

2. Données hydrauliques

Caractéristiques des forages

Le tableau 3 (extrait de l'étude du Service de l'hydraulique) résume les caractéristiques des forages d'après les connaissances hydrogéologiques actuelles. Il est bon de remarquer que les valeurs exprimées sont des moyennes et que, si on utilise une pompe solaire, le rabattement de la nappe sera très inférieur à celui de l'étude (il pourrait être négligé pour les petites pompes). Il a semblé bon, dans ce tableau, d'utiliser une valeur moyenne de 30 mètres de relèvement pour l'analyse des débits d'eau. En ce qui concerne le maestrichtien, il conviendrait mieux d'utiliser une hauteur manométrique totale (HMT) de 40 mètres.

Les ouvrages exécutés par la Brigade des puits ont en général un débit inférieur à 5 m³/h. Sur les 700 puits qui peuvent être construits ou remis en état, quelques-uns seulement, assez profonds, pourraient être équipés de pompes solaires.

La température moyenne, 30°C, de l'eau des nappes au Sénégal répond aux conditions requises pour un bon fonctionnement de la pompe solaire. Le maximum semble être de 40°C pour quelques forages profonds.

D'après la communication interministérielle de mars 1975 sur "L'Hydraulique rurale" il existe au Sénégal 169 forages et 37 forages puits^{2/}; ceux-ci

^{2/} On appelle forage puits au Sénégal un forage à côté duquel un puits communiquant avec lui a été creusé.

sont déjà, en partie, équipés. Les financements obtenus ont permis la programmation sur les deux ans à venir de :

- 110 forages
- 250 forages puits
- 250 puits

Equipement

L'équipement installé est standard : la surface chauffante des capteurs (70 m^2) doit permettre d'obtenir un débit journalier d'une vingtaine de mètres cubes à 30 mètres de hauteur manométrique totale pour un ensoleillement de 700 kcal/h/m^2 durant cinq à sept heures, selon la saison.

L'expert estime que le débit journalier pourrait être doublé en améliorant le moteur - par exemple, les modifications mises au point par l'IPM diminueraient les pertes dues aux volumes morts - ainsi qu'en changeant le fluide utilisé dans le moteur (une étude serait à faire sur l'utilisation d'un fréon). On pourrait également augmenter le débit en doublant la surface des capteurs et en utilisant un stockage thermique - ce qui demanderait un investissement supplémentaire. L'eau chaude produite dans la journée serait stockée, céderait, dans la soirée, ses calories au fluide moteur grâce à la circulation forcée et permettrait de prolonger la durée de fonctionnement de la pompe.

On peut donc faire plusieurs hypothèses quant aux débits journaliers en fonction des changements apportés à cette station (voir tableau ci-dessous) :

Tableau 3. Caractéristiques des forages

Hypothèses ^{a/}	1	2	3
Changements apportés	aucune (état actuel)	moteur et fluide modifiés	moteur et fluides modifiés + batterie de capteurs supplé- mentaire + 1 réservoir
Débit journalier en m^3 (HMT 30)	20	44	88
Débit annuel en m^3 (HMT 30) estimé	6 000	13 200	26 400

^{a/} La validité de ces hypothèses n'est cependant pas prouvée. Seule l'expérimentation pourrait vérifier leur exactitude.

La fiabilité du matériel est probablement grande, étant donné :

La faiblesse de la vitesse de rotation (200 à 250 tours par minute);

Le fonctionnement journalier restreint;

La simplicité des capteurs plans : la station peut fonctionner avec quelques vitres brisées;

Les circuits fermés des fluides caloripporteurs et moteurs;

La faible température de fonctionnement (en fonctionnement normal : 70°C au maximum);

L'entretien et le fonctionnement peuvent être assurés par un personnel sans qualification particulière : lavage hebdomadaire des vitres, ouverture et fermeture de la vanne de démarrage. Il existe un dispositif pour revenir automatiquement aux conditions normales de fonctionnement en cas de fausse manœuvre.

Estimation des coûts

Coût estimé de la pompe

Quant au prix de revient du m³ d'eau pompée avec ce matériel, plusieurs hypothèses seraient à envisager selon le débit journalier désiré (H1, H2, H3).

On a calculé les prix hors taxes (HT) ou toutes taxes comprises (TTC) dans le cas d'une société sénégalaise fabriquant et commercialisant elle-même certains éléments (SF) et dans le cas d'une société sénégalaise commercialisant un produit fabriqué en partie par des sous-traitants sénégalais (SC). Tenant compte de l'évolution du matériel, on a calculé les prix actuels et futurs.

Tableau 4. Coût estimé de la pompe (en millions de F CFA)

Débit	Sociétés	Prix actuel ^{a/}		Prix futur	
		HT	TTC	HT	TTC
H1 ou H2	SF	5,22	6,7	3,82	4,91
	SC	5,49	7,11	4,08	5,32
H3	SF	6,78	8,63	5,38	6,84
	SC	7,20	9,21	5,78	7,42
H4	SF	8,34	10,56	6,94	8,77
	SC	8,91	11,31	7,50	9,52

^{a/} Le prix actuel HT au début de l'étude était de 7,7 millions.

Coût annuel d'une station solaire

Dans les conditions suivantes :

Durée de vie estimée à 10 ans,

Taux d'intérêt de 8 % par an,

Rémunération d'un gardien et frais d'entretien (visite annuelle) :
200 000 F CFA/an,

le coût d'une station solaire serait de (voir tableau ci-dessous) :

Tableau 5. Coût annuel d'une station solaire (en millions de F CFA)

Débit	Sociétés	Prix actuel		Prix futur	
		HT	TTC	HT	TTC
H1 ou H2	SF	0,93	1,20	0,77	0,93
	SC	1,02	1,26	0,81	0,99
H3	SF	1,21	1,49	1,00	1,22
	SC	1,273	1,57	1,06	1,31

Coût d'exhaure du mètre cube d'eau pompée (amortissement du forage non-inclus)

Tableau 6. Coût d'exhaure du m³ d'eau pompée (en F CFA)

Débit	Sociétés	Prix actuel		Prix futur	
		HT	TTC	HT	TTC
H1 ^{a/} 6 000 m ³ /an	SF	163	200	128	155
	SC	170	210	135	165
H2 ^{b/} 13 200 m ³ /an	SF	74	91	58	70
	SC	77	95	61	75
H3 ^{b/} 26 400 m ³ /an	SF	46	56	38	46
	SC	48	59	40	50

^{a/} Le débit prévu dans la première hypothèse (H1) n'a pas été atteint pendant les essais, probablement à cause du mauvais ensoleillement.

^{b/} Après modification et doublement de la surface des capteurs, les hypothèses 2 et 3 peuvent être considérées comme probables.

Hydraulique en milieu villageois

Estimations des besoins d'eau des villages

Dans le répertoire des villages publié par la Direction des statistiques sont indiqués, en particulier, la grandeur et le nombre des villages par région.

La Direction de l'élevage et des industries animales, dans son rapport annuel (1972), donne en détail la composition du cheptel sénégalais. L'année 1972 a été choisie parce qu'à cette époque les troupeaux n'avaient pas encore été décimés par la sécheresse.

Une enquête effectuée à Dakar sur les consommations d'eau indique une consommation journalière de 20 litres pour l'habitant ravitaillé aux bornes-fontaines. Ce chiffre, qui recoupe les informations, a été retenu. En ce qui concerne les animaux, le guide de l'agronome a permis de définir deux classes d'animaux consommant respectivement 5 et 40 litres par jour (ovins, caprins, porcins, bovins, camelidés...).

A l'aide de ces données, on a pu établir la consommation journalière en eau par habitant (voir tableau 7).

$$C = 20 + \frac{A}{N} 40 + \frac{B}{N} 5$$

C = consommation

A = nombre d'animaux dans la région envisagée buvant 40 l/j

B = nombre d'animaux dans la région envisagée buvant 5 l/j

N = nombre d'habitants de la région envisagée.

Cependant, la répartition des animaux est fonction de l'importance des villages : plus ils sont importants moins il y a d'animaux en proportion. C'est pourquoi on a refait le calcul de la consommation en utilisant une pondération (a ou b) liée à la taille du village :

Nombre d'habitants	Pondération
Plus de 10 000	a = 0
de 5 000 à 10 000	a = 0,1
de 2 000 à 5 000	a = 0,2
de 1 000 à 2 000	a = 1
de 1 000 à 0	a > 1 (majoration)

La consommation journalière par habitant est donc :

$$C = 20 + a \frac{A}{H} 40 + b \frac{B}{H} 5$$

soit pour un village de n habitants, une consommation journalière de

$$C = n(20 + a \frac{A}{H} 40 + b \frac{B}{H} 5)$$

Les calculs ont été faits dans chaque région en fonction de la grandeur des villages. Ainsi, par exemple, dans la région de Diourbel, il y a 882 villages ayant 250 habitants en moyenne. La consommation par habitant étant de 103 litres par jour, ces villages ont besoin de 16 m³ par jour.

Avant d'utiliser les résultats indiqués dans le tableau, il faudra tenir compte des facteurs suivants :

Un apport généralisé de l'eau modifiera probablement les données utilisées;

La répartition des animaux dans les différents départements d'une région n'est pas toujours homogène (voir tableau 8). Il ne faudrait donc pas utiliser directement le tableau 8 pour définir la consommation d'un village donné. Mais, dans l'ensemble, cette analyse semble assez précise d'après les vérifications qui ont été faites.

La consommation calculée repose uniquement sur les besoins des hommes et des animaux. Ce calcul ne tient pas compte des besoins de l'agriculture car le débit de ces petites pompes ne suffit pas à l'irrigation des cultures vivrières d'hivernage malgré la faible consommation annuelle en eau (400 mm) de ces dernières.

La structure des villages a une forte influence sur l'exhaure et la distribution : ainsi un puits peut être commun à plusieurs hameaux, un village peut posséder plusieurs puits ...

La distribution de l'eau a une grande importance puisqu'elle représente un service. N'est-il pas plus pénible de transporter l'eau sur un long trajet que de la tirer du puits ?

Des réseaux simples de distribution de l'eau seraient d'ailleurs suffisants et ils pourraient être construits par la population - en évitant toutefois les châteaux d'eau.

Tableau 8. Répartition des animaux selon les régions

		A	B	N	A/N	B/N
CAP-VERT	Département	Bovins Equidés Camelidés (40 l/j)	Ovins Caprins Porcins (6 l/j)	Popul.	Nombre de bovins par pers.	Nombre d'ovins par pers.
CAP-VERT	Commune Secteur rural	0 12 250	0 38 000	523 000	0,02 100	0,06500
CASAMANCE	Ziguinchor	10 500	61 000	81 700	0,12 800	0,71460
	Oussouye	10 000	12 500	26 600	0,37 600	0,47000
	Bignona	91 000	190 500	133 600	0,68	1,43
	Sedhiou	86 400	78 500	134 500	0,64	0,74
	Kolda	120 400	113 000	100 200	1,18	1,11
	Vélingara	87 300	38 000	63 100	1,38	0,6
DIOURBEL	Diourbel	41 250	30 500	91 000	0,453	0,335
	Bambey	44 450	58 500	95 900	0,465	0,61
	M'Backé	80 550	23 550	73 000	1,1	0,32
	Louga	143 800	189 500	112 500	1,28	1,68
	Kebemer	134 000	87 800	87 200	1,54	1
	Linguere	310 500	267 000	59 800	5,3	4,5
FLEUVE	Podor	303 500	387 000	94 300	3,2	4,1
	Matam	256 000	437 000	127 100	2	3,4
	Dagana	160 600	155 000	145 200	1,1	1,06
SENEGAL ORIENTAL	Tambacounda	121 500	63 000	86 500	1,4	0,73
	Bakel	115 500	58 000	54 400	2,1	1,05
	Kedougou	30 000	37 000	45 800	0,66	0,8
SINE SALOUM	Fatick	88 200	141 900	127 000	0,69	1,11
	Foundiougne	46 700	37 000	62 700	0,74	0,59
	Gossas	98 500	51 700	79 100	1,24	0,65
	Kafrune	186 000	58 500	144 600	1,29	0,4
	Kaolack	74 000	41 400	171 600	0,43	0,24
	Nioro du Rip	83 000	67 100	84 300	0,98	0,8
THIES	Thiès	42 000	74 000	176 500	0,24	0,42
	M'Bour	75 000	83 000	142 600	0,52	0,58
	Tivaouane	53 700	72 000	145 200	0,37	0,50

Il ressort de l'examen du tableau 7 que ces petites pompes solaires pourraient alimenter en eau les hommes et les bovins dans de nombreux endroits. Leur emploi, en multipliant les points d'eau, améliorerait la situation actuelle grâce à la meilleure répartition des troupeaux sur le territoire, à leur probable sédentarisation et par la sauvegarde des pâturages. Elles ne peuvent cependant pas satisfaire les besoins en eau exigés par les projets de cultures irriguées ou de productions de fourrages. Ces productions pourraient, toutefois, être concentrées dans des fermes alimentées par des pompes à fort débit.

Les résultats globaux, sur un total de 12 990 villages sénégalais, sont les suivants :

Consommation (en m ³ /j)	Nombre de villages
Inférieure à 10	7 800
10 à 20	2 700
10 à 50	4 500

Autres moyens d'exhaure

Outre l'exhaure avec des pompes solaires et les solutions classiques (Diesel), on peut pomper l'eau manuellement ou en utilisant des animaux. Ces deux modes de pompage, contrairement aux pompes solaires, ne nécessitent pas de forage, les débits des puits pouvant suffire. Les coûts sont donc beaucoup moins élevés.

Exhaure avec hydropompe - Au Sénégal il n'existe pas actuellement, semble-t-il, de moyens satisfaisants de pompage manuel. Cependant, une nouvelle pompe à pied, type Vergnet, est apparue sur le marché et sa conception radicalement différente - il s'agit d'une pompe à commande hydraulique - permet de croire à sa fiabilité. Si les essais sont concluants, l'utilisation des moyens de pompage manuel serait à envisager dans l'élaboration d'une politique de l'eau. Pour un prix total (pompe installée) inférieur à 200 000 F CFA (TTC) le débit journalier serait de 10 m³. Un coût de 14 F CFA le mètre cube serait donc amorti en cinq ans. Avec deux pompes de ce type installées dans le puits existant du village on obtiendrait les mêmes débits journaliers qu'avec une pompe solaire. Une exhaure à l'aide d'animaux serait probablement aisée à mettre au point.

Exhaure à traction animale - L'expérience la plus intéressante est celle du système d'exhaure à traction bovine (type Guéroult) utilisé d'abord au Centre de recherches agronomiques de Bambey puis sur deux puits qui ont été approfondis. Leurs niveaux statiques sont de 32 à 48 m. D'après le rapport de l'IRAT d'avril 1974 et les contacts que l'expert a pu établir "ces installations ont prouvé leur rusticité et, au dire des utilisateurs, sont préférables aux pompes classiques". D'après les conclusions d'ordre économique de ce rapport, pour un puits moyen de 30 mètres le débit journalier est de 22 m³ avec deux attelages travaillant cinq heures (il est possible d'utiliser trois attelages). Les coûts de l'installation du système et de l'approfondissement du puits étaient de 445 000 F CFA en 1974.

Ce mode de puisage occupe quatre boeufs et quatre personnes; il doit être possible cependant de mettre au point un déversage automatique des seaux et de n'utiliser que deux personnes.

Le coût total du mètre cube pompé est de 16 F CFA; il faut, toutefois ajouter le coût correspondant aux services rendus par les conducteurs. Ce service pourrait être estimé en fonction du revenu moyen de la population locale. En l'estimant à 100 000 F CFA par an, le coût total serait de 35 F CFA le mètre cube.

Hydraulique en milieu pastoral

D'après le Service de l'élevage, la distance entre deux points d'eau doit être de 15 km; chaque centre de pompage doit permettre d'abreuver 2 600 bêtes réparties sur 18 000 ha de pâturages (soit une bête pour sept ha). Le débit journalier nécessaire est de l'ordre de 110 m³/j environ et le niveau dynamique moyen dans les nappes maestrichtiennes de 40 mètres.

Il faudrait donc que le débit de la pompe solaire actuelle soit multiplié par six pour qu'elle puisse être utilisable en milieu pastoral. La SOFRETES en propose depuis peu trois versions (MS3, MS5 et MS8) dont la dernière pourrait avoir un débit suffisant.

Les besoins de matériel de pompage à faible débit journalier seraient très importants au Sénégal puisqu'on a pu établir les chiffres de consommation suivants :

Consommation d'eau (en m ³ /j)	Nombre de villages
Moins de 10	7 800
10 à 20	2 700
10 à 30	3 800
10 à 50	4 500

Le débit d'une pompe solaire est estimé à 20 m³ par jour et une version modifiée permettrait d'obtenir 45 m³ par jour. Ce matériel serait donc susceptible d'équiper un grand nombre de villages.

Cependant, certaines réserves sont à faire :

L'exhaure mécanique pour de si faibles débits est d'un coût élevé;

L'utilisation d'autres moyens d'exhaure (manuel, avec des animaux) est possible moyennant de faibles investissements;

Le marché ne dispose pas de moyens financiers (le financement devrait être assuré par une source extérieure ou par l'Etat);

Les possibilités de fonctionnement du matériel qui constitue l'équipement des pompes solaires est difficile à estimer dans certaines régions.

Sur le tableau 9 sont indiqués les coûts de pompage.

Tableau 9. Coûts de pompage par m³ (en F CFA)

Hypothèses	Prix actuel		Prix futur	
	HT	TTC	HT	TTC
Frais annuels société commerciale	1,53	1,88	1,32	1,62
Coût du m ³ à 30 m. et pour 40 500 m ³ /an	38	46,5	32,5	40
Coût du forage (maastrichtien)	56			
Coût total à 30 m	94	102,5	88,5	96
Coût total à 40 m (pour un débit inférieur	125	136	118	128

En cas d'utilisation de moteurs Diesel, il y a arrêt du pompage si le matériel est en panne ou si le carburant manque. Cela peut conduire à des catastrophes dans l'agriculture et l'élevage, avec les répercussions évidentes qu'elles entraînent sur les familles.

Le Sénégal possède un réseau routier assez développé et l'approvisionnement en carburant ne devrait pas poser de problèmes. Le SOMH n'a des difficultés d'acheminement que dans la région située au nord de Linguere : durant deux à trois mois, le carburant doit être acheminé en Land-Rover par fûts de 200 litres jusqu'à trois forages (sur 85 qui sont exploités).

Des problèmes financiers et des problèmes d'organisation accentuent pourtant les difficultés; parfois les stations s'arrêtent ou réduisent leur fonctionnement par manque de carburant.

Le Centre expérimental de Bambey estime qu'une panne de cinq jours compromet irrémédiablement la campagne de production. Il est à noter que les deux pannes en 1973/74 étaient dues à des défauts de fabrication ou de montage; le fait de posséder un matériel nouveau n'exclut donc pas toute panne. Les réparations, malgré les facilités de communication entre Bambey et Dakar, ont provoqué des arrêts de cinq à huit jours.

La SOMH de Louga, de son côté, estime à 20 jours le temps nécessaire à la réfection d'un moteur et note que, jusqu'ici, aucun moteur n'a donné pleine satisfaction.

Les difficultés sont accentuées par les ruptures de stock des vendeurs du matériel mais aussi par les problèmes financiers et les problèmes d'organisation de cette société.

La généralisation de l'emploi des moteurs Diesel n'est possible que s'il existe une structure importante pour assurer l'exploitation. Actuellement la SOMH la possède mais il semble qu'une meilleure organisation et une trésorerie moins parcimonieuse seraient nécessaires pour résoudre les problèmes que posent, par exemple, les stocks de pièces détachées, le matériel de secours, la standardisation des équipements, les quantités d'approvisionnement en carburant.

Actuellement les charges récurrentes et les pannes du matériel provoquent l'arrêt du pompage et il serait utile de chiffrer le coût de ces arrêts afin de connaître l'influence réelle de ces facteurs sur le prix du mètre cube d'eau pompée.

L'absence de données sûres et détaillées empêche une comparaison sérieuse entre les pompes solaires et les pompes actionnées par des moteurs Diesel.

Cependant, malgré les difficultés qui pourraient surgir en utilisant des moteurs Diesel, il semble prématuré d'utiliser des pompes solaires avant que leur coût de première installation et de fonctionnement soit économiquement acceptable.

B. Essais du matériel installé

Les essais se sont déroulés pendant un mois et demi mais, en fait, la station n'a fonctionné qu'une quinzaine de jours : les modifications apportées, les conditions météorologiques défavorables en cette saison ont limité la période d'essai.

Des programmes de mesures ont été définis, mais les essais ont surtout servi à faire une mise au point du prototype.

Il faut souligner le nombre important de paramètres et de variables. Ces facteurs étant, de plus, tous interdépendants, une optimisation du fonctionnement exigerait de nombreux mois d'essais pour discerner leurs influences respectives et exécuter les transformations nécessaires.

1. Modifications effectuées

Lors de la réception du matériel, des prises de température permettant de relever les valeurs en fonctionnement ont été installées.

Suppression du pot séparateur

L'absence de décantation du fluide diminue la puissance du moteur. Cette perte est cependant en partie compensée par le gain sur la température d'entrée du moteur : en calorifugeant le pot, la température d'entrée du moteur diminue de 4 à 5°C.

Le carter moteur (pendant quelques jours) ne s'est pas appauvri en lubrifiant. Les fuites des pistons, la liaison avec le condenseur peuvent être suffisantes pour assurer la lubrification. Des essais de longue durée seraient cependant nécessaires.

Ultérieurement, le pot a été remonté dans le circuit.

Modification du pot séparateur

On a pu constater qu'en fonctionnement normal ce pot était presque plein : le moteur admettait donc un mélange gaz-liquide et le rendement était diminué. La réduction de la longueur du tube d'admission a résolu ce problème.

Modification de la réserve de démarrage

Le peu de butane contenu dans l'évaporateur à plaques posait le problème du démarrage et obligeait à avoir une réserve de liquide. Dans un premier temps, l'adjonction d'un voyant a permis d'observer son fonctionnement. On a remarqué que :

La réserve ne se remplissait pas complètement : cela devait provenir d'une trop faible différence de températures entre la réserve et le piquage de remplissage. On a alors installé un diaphragme à l'entrée de l'évaporateur pour augmenter la différence de pression et, maintenant, son remplissage est correct (rapide et complet).

La réserve se vidangeait trop rapidement au démarrage : l'évaporateur, noyé inutilement, se vidangeait dans le pot séparateur et le moteur calait par manque de liquide. Le débit a été laminé par un écrasement de la tuyauterie de vidange. La réserve se vidangeait aussi en fin de fonctionnement : on a taré la soupape en fonction de la différence de température imposée par le circulateur du fluide caloripporteur.

Adjonction d'une réserve au condenseur

Une cause possible de l'arrêt prématuré du moteur pouvait être l'étouffement du condenseur en fin de journée. Dans ce cas, une réserve devant stocker l'excédent de butane était nécessaire pour que le refroidissement se fasse correctement. Cette réserve n'a, en fait, rien apporté car on a constaté que le condenseur travaille toujours avec peu de butane.

Il serait bon, pour vérifier à nouveau ce point, d'établir une communication entre le haut de cette réserve et le condenseur : l'exposition au soleil peut être une cause de surpression dans la réserve.

Augmentation du diamètre de la poulie du circulateur

La différence de température dans l'évaporateur est ainsi diminuée et le coefficient d'échange et le fonctionnement sont meilleurs, surtout en fin de journée.

Pose d'un volant sur la pompe du puits

Les premiers essais effectués en grande profondeur ont mis en évidence les à-coups donnés par la pompe à piston ainsi que le glissement des courroies qui en résultait.

Au démarrage et en fin de journée l'influence du volant est importante, car il évite que les à-coups de la pompe ne fassent caler le moteur rapidement.

Adjonction d'un robinet à flotteur

La vidange du pot séparateur (haute pression : HP) dans le carter moteur (basse pression : BP) se fait normalement par l'intermédiaire d'un capillaire : la perte de charge créée par celui-ci évite la vidange du circuit HP dans le circuit BP.

En fin de fonctionnement, la vitesse du moteur décroissant, l'apport de butane liquide au pot diminue alors que le débit du capillaire reste constant. Nous avons une vidange complète du pot puis la phase gazeuse HP passe dans le circuit BP, la pression chute dans l'échangeur et le moteur cale instantanément.

Un robinet à flotteur a donc été installé sur ce circuit : la vidange du pot ne se fait que s'il y a du liquide dans celui-ci; en fin de fonctionnement la chute de pression n'existe plus et l'arrêt n'est pas prématuré. L'adjonction d'un robinet à flotteur semble souhaitable dans ce type de fonctionnement, mais doit s'accompagner de la suppression du capillaire afin que la vidange du pot soit suffisante durant la journée. Il faut aussi remarquer que le capillaire peut se boucher.

2. Essais

La classification des essais peut se faire en fonction de la quantité de butane introduite dans le circuit :

- essais avec une quantité inférieure ou égale à 13 kg de butane
- essais avec 17 kg de butane.

Essais avec une quantité inférieure ou égale à 13 kg de butane

Tout d'abord, 15 kg de butane furent introduits dans le circuit. Pour régulariser la vitesse du moteur on a pensé qu'il fallait diminuer la quantité de butane mais, en fait, cela n'a pas réussi, tandis que le calage et le démarrage posaient plus de problèmes : dès qu'un déséquilibre se créait

(par exemple, diminution de l'apport calorifique dans l'après-midi) le carter moteur se remplissait de butane et cette immobilisation entraînait tout de suite un arrêt dû à un manque dans l'évaporateur; l'apport de la liaison entre le moteur et le condenseur était nécessaire pour assurer un débit suffisant au moteur sous forme liquide et gazeuse. La plus faible vitesse assurant la stabilité du fonctionnement était de 220 tours/minute. Le lendemain, le démarrage était impossible avec des hauteurs de pompage normales : la vidange de la réserve d'assistance au démarrage n'était pas suffisante pour assurer le lancement du moteur, la vidange du carter moteur dans le condenseur commençant trop tard.

En fonctionnement, une forte vitesse de rotation du moteur a été constatée et le moteur travaillait avec un rendement nettement moins bon.

Essais avec 17 kg de butane

Avec cette quantité, un déséquilibre entraîne rapidement une plus forte remontée de butane du carter moteur dans le condenseur; en effet, seule la phase liquide s'évacue : par exemple, un arrêt de la station non accompagné de la fermeture de la vanne d'admission provoque ce phénomène après quelques instants de vidange du pot séparateur.

Fonctionnement

L'évaporateur à plaques a été conçu pour fonctionner avec un film de butane liquide ruissellant sur les plaques. La sortie se fait dans la partie basse. Les conséquences sont importantes sur le coefficient d'échange et sur le débit en phase liquide. Si on tient compte du surdimensionnement de la pompe de réinjection, de l'impossibilité de se trouver constamment dans des conditions de fonctionnement optimal (l'ensolaillement et la vitesse de rotation - donc la réinjection - sont variables durant la journée, durant l'année), on assiste à des cycles où les variations de vitesse, de pression (1 à 1,5 bars), de la température d'entrée du moteur, du niveau du pot séparateur vont de pair, correspondant à une variation du coefficient d'échange et de l'entraînement de la phase liquide hors de l'évaporateur.

L'augmentation de la quantité de butane dans l'installation conduit à noyer beaucoup plus l'évaporateur, à diminuer les échanges thermiques tout en réduisant les variations.

Le débit parasite de la phase liquide est important et une décantation partielle effectuée dans un pot séparateur trop plein conduit à une diminution du rendement du moteur.

L'introduction d'un robinet à flotteur et d'une plus grande quantité de butane a conduit à une durée de fonctionnement supérieure à 100 tours/minute - la marche du moteur est stable - et à un meilleur rendement dû à une vitesse de rotation plus faible : de 180 à 250 tours/minute durant la journée.

Démarrage

Si, la veille au soir, la vanne d'admission a été fermée peu après le calage, le démarrage ne pose aucun problème - même sous de grandes hauteurs. La réserve qui remplit correctement son office et la remontée instantanée du butane dans le condenseur facilitent ce démarrage.

Il est inutile, pour faciliter le démarrage, de surchauffer la station : en effet, la faible quantité de liquide injecté dans l'évaporateur provoque une chute de pression lors des premiers tours du moteur : quelle que soit la température du moteur, le manomètre descend de 1,5 à 2 bars. En moyenne, sous 40 mètres environ de hauteur manométrique totale le démarrage s'effectue à 7 bars. Peu après la pression remonte à sa valeur normale (fonction de la température).

Si, la veille au soir, lors du calage, la vanne reste ouverte, le pot séparateur - point froid du circuit HP - condense les vapeurs produites dans l'échangeur et se vidange dans le moteur par l'intermédiaire du robinet à flotteur. Une chute de pression intervient donc, provoquant finalement la vidange de la réserve dans l'évaporateur. Le démarrage du lendemain n'est plus certain.

Résultats de quelques mesures effectuées

La fin de l'année n'est pas une période favorable à l'utilisation de l'énergie solaire à Dakar : brumes, couvertures nuageuses, vents frais et incidence du soleil diminuent le débit calorifique des capteurs. Les résultats ne sont donc pas représentatifs d'un fonctionnement annuel.

Résultats concernant la chauffe

L'installation d'un tube transparent sur le circuit des capteurs a permis de mesurer les débits d'eau lors de la chauffe. Les résultats consignés dans

le tableau 10 représentent bien la chauffe d'une belle journée de décembre ou novembre. Avant 7 heures aucune énergie solaire n'était reçue au sol; malgré tout, le thermosiphon était déjà amorcé à 8 h 30 donnant un apport à l'échangeur de 390 kcal/h. A 11 h la montée de la température était suffisante pour démarrer. Depuis le lever du soleil jusqu'à 11 h :

2 040 kcal/h arrivaient à l'échangeur

4 000 kcal avaient été apportées

1 254 kcal/m² avaient été reçues au sol.

Au démarrage le moteur doit fournir au circulateur une énergie servant à vaincre les pertes de charge (4 W) et à donner une énergie cinétique au liquide (4 W). Les expériences ont permis de constater que le passage d'un débit de 0,7 m³/h avant démarrage à un débit de 6 m³/h environ est à peu près instantané : l'apport des calories nécessaires à la marche de la station est donc immédiat, et on augmente dès le démarrage le débit calorifique; la stabilité du fonctionnement est de ce fait assurée. On a constaté une montée de la température de l'eau à l'entrée de l'évaporateur (de 66° à 70°C) après le démarrage. Le gradient des températures des tuyauteries est donc important et l'intégration des collecteurs à l'insolateur économisera probablement l'énergie.

Résultats concernant le fonctionnement

Les résultats de mesure du 8 et du 10 décembre, qui sont consignés dans les tableaux 10 et 11, ne sont pas très représentatifs du fonctionnement annuel. La faiblesse des débits journaliers (8 et 9,3 m³ par jour à 33 m environ) s'explique surtout par le vent qui diminue le rendement des capteurs; en comparant aux résultats obtenus le 15 novembre (13 m³/j à 40 m) et le 10 décembre à 14 heures pour une même énergie reçue au sol (environ 690 kcal/h/m²) on a obtenu le 10 décembre 8,5°C de moins à l'évaporateur : le rendement de Carnot est passé de 13,7 à 10,8 %.

Résultats concernant le calage

Lors d'un pompage à 33 m en moyenne, le calage a eu lieu quand on recevait au sol seulement 520 kcal/h/m². Cette valeur donne la limite de stabilité pour la profondeur pompée. Avec ces capteurs on a calculé qu'il fallait que le démarrage se fasse à 10 h 30.

**Tableau 10. Données relatives à la chauffe de la station
(le 11.12.75)**

Heure	$T_{e_{ev}}$	$T_{s_{ev}}$ (°C)	ΔT_{ev}	P (bars)	Pu (W)	D (m ³ /h)	W_{er} (kcal/h)	
2 h 30	22	20,5	1,5	2	-	0,26	390	amorçage
2 h 45	24	22,5	1,5	2,2	-	0,440	660	
9 h 00	26	24	2	2,4	-	0,440	880	
9 h 30	35,5	39,5	3	8	30	0,610	1 830	
10 h 00	46,5	43,5	3	4,5	30	0,680	2 040	
10 h 30	57	54	3	6,2	26	0,680	2 040	
11 h	67	64	3	7	31	-	-	démarrage

Energie reçue jusqu'à 11 h : 1 254 kcal/m²
Apport à l'évaporateur : 4 000 kcal

$T_{e_{ev}}$ Température - entrée de l'évaporateur
 $T_{s_{ev}}$ Température - sortie de l'évaporateur
 ΔT Ecart de température à l'évaporateur
P P Pression d'admission
D Débit du thermosiphon
Pu Puissance du thermosiphon
 W_{er} Energie codée à l'évaporateur

Tableau 11. Données relatives au fonctionnement de la station

Heure	$T_{e\text{ ev}}$ (°C)	$T_{s\text{ ev}}$	ΔT_{ev}	P Bars	$T_{e\text{ m}}$ (°C)	$T_{s\text{ m}}$	ΔT_{m}	N Tr/mn	Nombre d'a coups par mn	NMT m	Débit m ³ /h	Energie 2 kcal/h/m
Le 8/12/75 Démarrage à 11 h 23												
11 h 23	66,5	64	2,5	7				190	35	34	2,4	600
12 h	62,5	58,8	3,7	6,2				240/280	40	34	2,7	585
12 h 45	62,5	59	3,5	6,2 à 6,5				210/240	41	30-34	2,7	560
13 h	62,5	59,2	3,3	6,2 à 6,5				210/230	40	30-34	2,7	525
13 h 30	62,2	59,2	3	5,9 à 6,3				210/230	40	32	2,7	520
14 h	60,8	58,5	2,3	5,9 à 6,3	54,5			185/200	38	31	2,6	510
14 h 30	61	58	3	6	53			170/200	-	28/33	2,6	510
15 h	59,8	57	2,8		51,5			140	23	31	-	
15 h 30	58	55	3	5,9								
Débit de ce jour : ~ 8 m ³												

Heure	$T_{e\text{ ev}}$ (°C)	$T_{s\text{ ev}}$	ΔT_{ev}	P Bars	$T_{e\text{ m}}$ (°C)	$T_{s\text{ m}}$	ΔT_{m}	N Tr/mn	Nombre d'a coups par mn	NMT m	Débit m ³ /h	Energie 2 kcal/h/m
Le 10/12/75 Démarrage à 11 h 30												
11 h 30	59,2	63,4	3,6	7				180/228	39	35	2,8	762
12 h	64	60,8	3,2	6,5	56,3	41,2	15,1	200/220	39	37	2,8	774
12 h 30	60,5	64	3,5	6,5	51,2	41,5	9,7	210/230	40	36	2,84	762
13 h	64	60,5	3,6	6,5	51	41,6	9,4	200/220	38	31-35	2,7	(780)
13 h 30	62,5	59	3,5	6,4	55,4	40,8	14,6	180/200	35	29/34	2,5	690
14 h	61,2	58,6	3,2	6,3	55,2	40,6	14,6	160/180	29	29/34	2,1	710
14 h 30	60,5	57,8	2,4	6,2	54,2	40,8	13,4	185/120	27	27/33	1,9	558
15 h	60,2	56,6	3,3	6,1								480
15 h 30	60,2	56,6	3,6	6	53,5	41	13,5	110				
15 h 32 Calage												
Débit de ce jour : ~ 9 m ³												

$T_{e\text{ ev}} - T_{s\text{ ev}}$ = Températures - entrée/sortie évaporateur

$T_{e\text{ m}} - T_{s\text{ m}}$ = Températures - entrée/sortie moteur

ΔT_{m} = Différences de températures au moteur, à l'évaporateur

P = Pression d'admission

N = Vitesse de rotation

a coups = Nombre de coups de la pompe

NMT = Hauteur manométrique totale

Débit = Débit de la pompe

Energie = Energie reçue au sol

L'énergie reçue sur la surface captrice de 70 m^2 est donc :

$$E_r = 520 \times 70 \times C = 520 \times 70 \times 1,08 = 39\,300 \text{ kcal/h}$$

Avec le coefficient (C) majorateur dû à l'inclinaison des capteurs, les mesures de rayonnement effectuées le 8 décembre ont donné 1,08.

Le débit dans le tube a été mesuré et on en a déduit un débit calorifique des capteurs de $16\,500 \text{ kcal/h}$. Ceux-ci ont donc un rendement de 42 % à 60°C .

3. Modifications proposées

Evaporateur

Le système dont on a fait l'essai comporte en lui-même une contradiction : le ruissellement dans l'évaporateur à plaques ne conduit à un meilleur fonctionnement que dans des conditions précises de température et d'injection de liquide. Or, au cours de la journée, durant l'année, des éléments varient continuellement; il est donc impossible de toujours obtenir une évaporation optimale. De plus, la sortie de l'évaporateur dans la partie basse conduit à un entraînement de la phase liquide.

Il serait préférable, comme l'IPM a proposé de le faire, de réaliser un fonctionnement "en noyé" c'est-à-dire d'avoir une certaine quantité de liquide en ébullition dans l'échangeur. La diminution probable du coefficient d'échange pourrait être compensée par l'adjonction de quelques plaques supplémentaires. La sortie pourrait se faire dans la partie haute - ce qui diminuerait la quantité de liquide entraînée.

Pot surchauffeur

Une diminution de la température, allant jusqu'à 10° , existe entre l'entrée de l'évaporateur et le moteur. Les conséquences sur la puissance du moteur sont importantes à cause de la chute du rendement de Carnot et de la chute du rendement moteur (augmentation de la phase liquide).

Un pot séparateur dans lequel circulerait l'eau sortant des capteurs - comme sur la pompe Segal - serait souhaitable. On pourrait essayer de réinjecter le liquide dans l'évaporateur situé légèrement en dépression (relative). Ce pot qui ne constituerait plus le point froid du circuit HP n'accumulerait pas le butane liquide. Une disposition appropriée des tuyauteries permettrait, le soir, après un arrêt, vanne ouverte, le retour

par gravité des condensations dans l'évaporateur. Pour aller de l'évaporateur à l'admission du moteur (plus haute) les tuyaux devraient toujours monter. Actuellement le pot séparateur en contrebas empêche ce retour par gravité dans l'échangeur.

En conclusion, nos essais ont surtout servi à mettre au point le prototype, qui utilise un évaporateur à plaques et une circulation forcée.

Actuellement le démarrage ne pose plus de problèmes et la durée journalière de fonctionnement est normale pour cette saison. La stabilité du moteur est assurée avec une vitesse de rotation de 100 tours/minute (220 tours/minute aux premiers essais) et permet un travail dans une bonne plage de vitesse (150 à 250 tours/minute). Les apports de l'échangeur à plaques et d'une pompe de circulation sont positifs car ils permettront d'augmenter d'une heure la durée du fonctionnement journalier de ces stations de pompage. Cependant il semble préférable d'utiliser cet échangeur en "noyé" : l'impossibilité d'un maintien constant aux conditions optimales fait perdre la majeure partie des avantages du ruissellement tout en compliquant le dispositif général (nécessité d'une réserve et de ses accessoires).

Dans les conditions météorologiques défavorables de la saison, on a obtenu au maximum 13 m^3 relevés à 40 m dans la journée du 15 novembre -- soit au moins $17,5 \text{ m}^3$ à 30 m. Ce résultat n'est cependant pas représentatif d'un fonctionnement annuel.

C. Analyse des différents types de produits et fabrication locale

1. Insolateurs

Insolateur posé sur le sol

Dans un insolateur exposé au soleil, l'énergie récupérée est fonction de l'orientation; suivant celle-ci une vitre absorbe et réfléchit une partie variable du rayonnement reçu. Les expériences au cours desquelles on a étudié l'influence de l'angle d'incidence des rayons solaires ont montré que l'absorption d'une vitre de 2,8 mm représentait 10 % de l'énergie, alors que la réflexion variait de 1 à 2 %. Une étude approfondie dépasse largement les possibilités de calcul à l'IPM; il serait donc souhaitable que l'IPM

pratiquât des mesures de rayonnement sous diverses inclinaisons. Après avoir constaté la faible augmentation des surfaces captrices qu'entraînait la pose des insolateurs au sol, on a étudié les possibilités de réalisation. Cependant cette solution sans structure porteuse fut abandonnée en raison des frais importants à engager dans le génie civil (le paxalumin, par exemple, coûte 1 000 F CFA/m²) et pour assurer l'étanchéité, des risques de détérioration du produit (mouvements du sol) et des faibles coûts des solutions envisagées pour les bâtiments.

Polyuréthane rigide

Une société locale fabrique du polyuréthane rigide : ce produit est étanche, autoporteur et présente un pouvoir isolant supérieur à celui de la laine de verre. Selon les quantités annuelles commandées, le prix de plaques de 5 cm varierait entre 1 000 et 1 200 F CFA le m², TTC; leurs dimensions maximales actuelles sont de 950 x 950 mm; cependant, il serait possible d'obtenir des plaques de 6 mètres de long dans l'avenir. Ce produit peut aussi être injecté (31 000 F CFA/m³, TTC); sous cette forme le problème de la fermeture des insolateurs (embouts moulés), serait résolu.

Produits en amiante-ciment

Une usine d'amiante-ciment fonctionne au Sénégal. Les produits sont étanches, moulables, inaltérables et d'un coût inférieur à celui d'une tôle LPQC (1 canaléte se vend 1 160 F CFA/m², TTC, soit le prix d'achat d'une tôle plane de 1 mm). Les nouveaux procédés de fabrication employés diminuent considérablement les risques de rupture durant le transport. Pour les supports de capteurs, on a donc décidé d'utiliser ces produits locaux; les canalétes, éléments de toiture, ne sont cependant pas des produits très adaptés aux besoins solaires; en particulier leurs flans lisses nécessitent la mise en place de supports de vitrage, de capteurs (baguettes collées, chevrons) et leur faible largeur limite la surface captrice par bac, ce qui augmente le temps de pose et menace l'étanchéité. On avait pensé pouvoir utiliser les canalétes étant donné que les objectifs annuels d'équipement en pompes solaires n'étaient pas considérables, mais l'étude des prix a montré que le prix d'un moule de 6 m (45 000 F CFA) impliquait de très petits amortissements et économisait beaucoup de matière (50 %).

Capteurs

Actuellement la SOFRETES utilise des "roll-bonds"^{3/} en aluminium fabriqués en France sous licence américaine. La technique est assez compliquée et fait intervenir, entre autres, des laminages à chaud et à froid, des presses puissantes lors de l'expansion du métal, des traitements thermiques (oxydation anodique ...); il semble que cette technique ne devrait pas être utilisée au Sénégal étant donné les investissements importants qu'elle demande, les prix de revient et de leur composition (matière, amortissement) et les autres possibilités de réalisation de capteurs.

Beaucoup de capteurs ont été conçus et réalisés à l'IPM. Les essais faits avec du béton ou de l'amiante-ciment n'ont pas donné satisfaction; seuls les capteurs faits à partir de l'acier ont donné satisfaction.

Trois idées de base ont été retenues :

La circulation de l'eau entre deux tôles (SEGAL)

La circulation de l'eau dans des tubes écrasés (tarif 102) (ITTEC)

La circulation de l'eau dans des petits tubes soudés à des ailettes en tôle.

Voir les schémas de ces 3 types de capteurs (figure 1).

Vitrage

Il semble, d'après l'expérience de l'IPM, que des vitres d'une épaisseur de 2,8 mm puissent être installées avec une portée de 1 m environ. Une portée supérieure peut être obtenue à peu de frais si on pose sur le capteur un profilé qui supporterait le vitrage.

Circuits d'eau extérieurs aux insolateurs

La distribution de l'eau se fait en deux étapes :

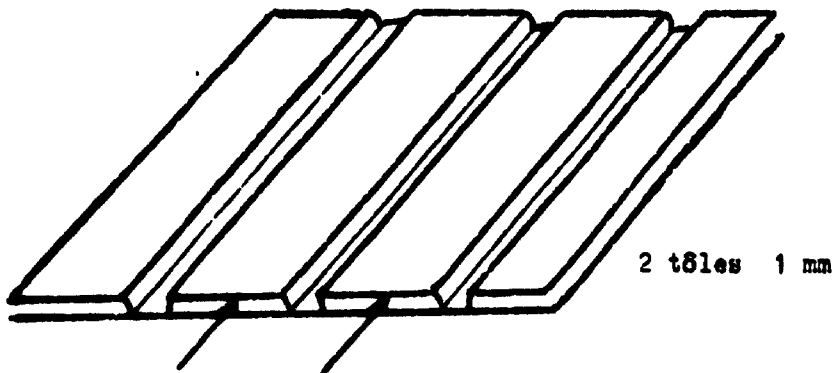
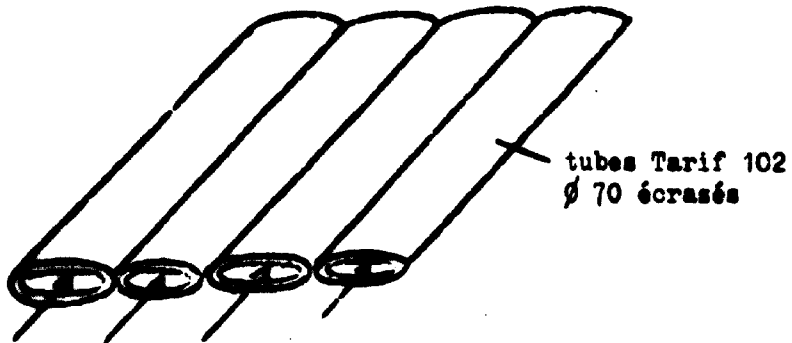
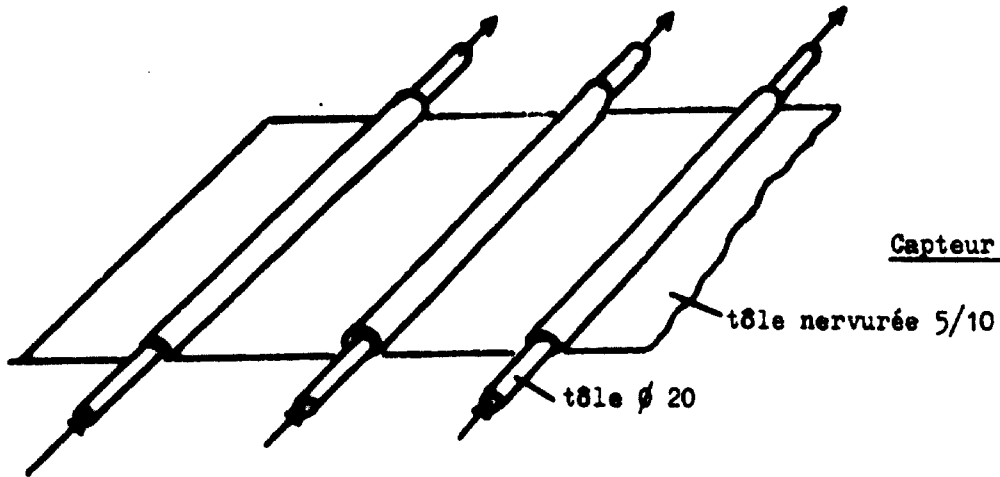
- à la sortie de l'évaporateur vers les insolateurs
- dans le capteur afin de favoriser l'échange thermique.

La collection se fait en deux étapes inverses. La distribution et la collection de l'eau dans les insolateurs s'effectuent actuellement à partir de tubes extérieurs aux insolateurs (Ø 108). Ces tuyaux doivent être isolés afin de limiter les pertes thermiques^{4/}; ils sont exposés à la corrosion; ils ont un volume d'eau important (300 l).

^{3/} L'emploi des roll-bonds accentue les problèmes de corrosion électrolytique.

^{4/} On a constaté que le "prestoflex" utilisé pour l'isolation devait être protégé efficacement du soleil et de la condensation. En effet, après quelques semaines d'exposition au soleil, la couche extérieure se fendille.

Schémas types de capteurs étudiés



La perte de charge n'étant plus le seul critère de calcul des dimensions, la circulation forcée permet de diminuer le diamètre de ces tubes et de les introduire dans les insolateurs. De ce fait, la combinaison des deux phases de distribution et de collection est possible dans le type de capteur à con cevoir. Les avantages sont nombreux et importants :

Suppression de l'isolation extérieure et de sa protection
Diminution du volume d'eau dans les tuyauteries (250 l environ)
Simplification de la fabrication, du transport, du montage
Esthétique de l'ensemble renforcée.

Etanchéité des capteurs

De la bonne étanchéité des capteurs dépend la durée de vie des insolateurs. Le mastic au silicone est un produit bien adapté aux besoins; cependant son prix élevé a amené à chercher un produit de remplacement et diverses solutions ont été testées. On a expérimenté en particulier des chapes de bitume armé recouvert d'aluminium. La température de ce produit n'a jamais dépassé 72°C lors des relevés pendant les journées chaudes de novembre : le maximum est obtenu sous le bitume par la chauffe du vitrage lorsque l'eau bout dans les capteurs. Le fonctionnement normal ne conduira donc pas à un dépassement de la température limite d'utilisation. Dans ces types de produit il est conseillé d'utiliser le Veral 40 qui possède une armature renforcée en laine de verre et une feuille d'aluminium à dilatation autocompensée (sa tenue dans le temps sera bien supérieure à celle de produits aux armatures en toile de jute qui ne sont pas agréés par le CSTB dans des applications semblables). Le coût du mètre linéaire est le dixième de celui du mastic au silicone.

2. Analyse de différents types de capteurs

Les données précédentes ont amené à concevoir différents types de produits qui utilisent le canaléas ou un support spécial ou bien qui utilisent un des types de capteurs décrits.

On a commencé par définir approximativement les paramètres pour le calcul des dimensions (pertes de charge, isolation) et à réunir une documentation sur les matériaux afin de concevoir des avant-projets d'insolateurs, ce qui a permis d'établir des demandes de prix tenant compte de divers objectifs annuels.

Simultanément, une pré-étude de fabrication a permis de définir les possibilités de réalisation. Après avoir réuni et exploité toutes ces informations, un seul type de produit s'est révélé utilisable : l'insolateur utilisant des capteurs en tôles.

Capteurs "tubes écrasés"

Ce type de capteurs utilisé sur ITTEC semblait prometteur : l'étude des prix des matières premières a pourtant amené à l'abandonner.

Capteurs "tubes et ailettes"

Ce capteur simple a un coût matière qui peut être considéré comme minimum si l'on utilise des tôles de 0,5 mm comme ailettes; cependant la rigidité du produit pose des problèmes de fabrication et de transport à cause de la longueur (6 m) des insolateurs à utiliser comme couverture de bâtiments; elle rend indispensables l'utilisation de tôles comportant plusieurs nervures au lieu de tuiles à une nervure ainsi que la fixation des tôles par soudure sur les tubes. Elle pose enfin des problèmes de peinture pour que la protection contre la corrosion (entre tubes et ailettes) soit efficace.

D'autre part, le coefficient global d'échange thermique risque d'être légèrement plus faible dans ce type de capteur.

Des études de fabrication en série ont été faites mais sans résultats à cause de ces problèmes. Cette solution a été abandonnée -- sans toutefois être expérimentée -- pour les pompes solaires. Cependant, vu le faible coût des matières, ce produit pourrait être intéressant pour la fabrication artisanale de chauffe-eau.

Capteurs "tôles"

Ce type a été retenu; ses principales caractéristiques sont :

Dimensions : 3 000 x 1 000 mm environ

Volume : 7,5 litres d'eau

Pertes de charge totales de la station : environ 3 100 Pa à 6 m³/h

Calories nécessaires à la chauffe : 27 000 kcal environ

Coût de production au m² (peinture comprise) : 5 855 F CFA, HT ou 7 808 F CFA, TTC.

La fabrication d'un prototype a permis de vérifier le principe de ce capteur.

En supposant l'adoption de produits en amiante-ciment d'une longueur maximale de 6 m (utilisables comme couverture de bâtiment), de polyuréthane rigide d'une largeur maximale de 950 mm et de vitrage de 2,8 mm d'épaisseur d'une portée maximale d'1 m environ, l'insolateur mesurera environ 1 x 6 m et pourra recevoir deux capteurs en série de 3 x 1 m environ chacun.

Pour une surface chauffante de 70 m² on aura 12 insolateurs en parallèle. Le support en amiante-ciment supportera le vitrage et le capteur; le polyuréthane formera le fond de l'insolateur.

Pour que l'on puisse introduire dans l'insolateur les tuyauteries collectrices et distributrices, les conditions suivantes doivent être réalisées :

Il ne doit y avoir aucune accumulation d'eau sur les vitrages : les tuyauteries doivent donc se trouver sous le vitrage.

Les liaisons entre capteurs doivent être faciles : le raccordement se fera par des durits sur des tubes cylindriques et la fermeture des capteurs sera facile à réaliser avec des embouts moulés.

La solution la plus simple est d'utiliser des collecteurs constitués par des tubes ouverts dans lesquels on engagera les tôles. Aucune corrosion n'est à craindre puisque les collecteurs sont noyés dans les embouts. Cependant cette solution augmentera légèrement les pertes de charge locales. Des solutions faisant intervenir le pliage de la tôle sont moins intéressantes car elles obligent à diminuer la longueur des insolateurs et donc à réduire les surfaces captrices pour un coût égal.

Collecteurs intermédiaires : les découpes latérales des tôles et des exécutions compliquées seront supprimées si le collecteur se situe entre le plan support et le vitrage.

La section la plus appropriée est donc le triangle rectangle qui a les avantages suivants :

Il assure une continuité dans l'écoulement de l'eau

Il ne nécessite (vu la notation) qu'un cisailage et deux pliages

Il simplifie au maximum l'exécution des piquages.

Les durits, qui simplifient la fabrication et le montage, doivent bien résister à la température et aux rayons ultraviolets.

Détermination des pertes de charge

Suivant le schéma de disposition des capteurs, ces pertes peuvent survenir dans les tôles captrices, les collecteurs, les autres tuyauteries, l'évaporateur. Enfin, il peut y avoir des pertes de charge dues aux changements d'orientation ou de section.

Les pertes de charge dans l'évaporateur sont pour le débit nominal ($6 \text{ m}^3/\text{j}$) de $2\ 200 \text{ Pa}$ (données de SOFRETES).

Un calcul préliminaire des pertes de charge totales conduit à une valeur approximative de l'ordre de $3\ 000 \text{ Pa}$.

Chauffe de la station

Lors de la chauffe, l'écoulement de fluide s'effectue uniquement par thermosiphon. La pression motrice P_m est égale à :

$$P_m = 2,5. \Delta T. \Delta H$$

ΔT = différence de températures de l'eau dans le capteur

ΔH = différence de hauteur entre les points chauds et froids du circuit

Dans ce cas $\Delta H = 2 \text{ m}$, donc $P_m = 5. \Delta T$

Cette pression sert à vaincre les pertes de charge de l'eau qui circule et on peut écrire :

$$P_r = \frac{3\ 100}{(6)^2} q^2 = 86 q^2 \quad \text{avec } q \text{ en } \text{m}^3/\text{h}$$

On aura donc pendant la chauffe :

$$P_m = P_r$$

$$\text{soit } 5. \Delta T = 86. q^2$$

Apport calorifique nécessaire :

Les volumes d'eau à chauffer sont (en litres)

Dans les tôles 180

Dans les collecteurs (ϕ 48) 54

Dans les collecteurs (ϕ 82) 54

Les volumes métalliques à chauffer ont des équivalents en eau de :

162 litres pour les insolateurs

7 litres pour les collecteurs (ϕ 82)

La chauffe de 20 à 70°C d'un total de 457 litres nécessite donc un apport de calories de :

$$Q = m.c. \Delta T = 457.1.50 = 22\ 850 \text{ kcal}$$

Les mesures effectuées sur la station montrent que la chauffe de l'évaporateur nécessite 4 000 kcal (valeur maximale).

27 000 kcal environ devront être fournies avant le démarrage de la pompe. L'adoption d'un évaporateur à plaques et la circulation forcée permettront donc de réduire de moitié l'apport nécessaire à la chauffe.

En conclusion, en extrapolant les données de la station expérimentale on aura probablement un même débit calorifique avec des différences de température supérieures. Le démarrage en décembre s'effectuerait vers 10 h 30 et, à cette heure, la stabilité de fonctionnement d'une pompe travaillant sous 35 m de relèvement serait assurée par l'énergie reçue; en effet, le 8 décembre, on a noté 550 kcal/m²/h et le 11 décembre 610/kcal/m²/h.

Une station utilisant ces capteurs et un évaporateur à plaques aurait donc une heure supplémentaire de fonctionnement journalier.

3. Etude de la fabrication du capteur "tôles"

Problèmes de fabrication

Nervurage et jaudelinage des tôles

Dans les ateliers qui ne sont pas équipés de presse ou de presse-plier des plats intercalés entre les tôles permettront de définir l'écartement nécessaire, mais la matière utilisée augmente le coût de cette solution. Le jaudelinage des bords pourra être exécuté à la bordeuse; cette opération pourrait être évitée en soudant par points les tôles sur les bords (augmentation des pertes de charge négligeable).

Dans le cas d'ateliers équipés de presses-plieres, le pliage-emboutissage des nervures une à une nécessite une presse-pliere de 3 m (2 au Sénégal). Le jaudelinage devant être fait probablement avec un autre outil, il y aura deux phases de travail et deux réglages de machine.

Pour ces raisons il est préférable d'emboutir toutes les nervures et les bords simultanément : la tôle étant introduite dans sa largeur, à chaque frappe un outil multiple emboutira sur une longueur de 300 mm environ;

l'obtention des trois mètres nervurés se fera par des engagements successifs de la tôle - la marche automatique est conseillée. Le type de machine à utiliser peut être une presse-plier de 2 m, d'usage courant au Sénégal, ou une presse ayant un col de cygne de 1 000 mm.

Il faut remarquer que l'emboutissage simultané d'un point situé entre deux nervures supprimerait toutes les conséquences de déformations éventuelles et supprimerait en particulier les difficultés de montage et de soudure du tube collecteur. Enfin un train de laminage nervuré pourrait être utilisé pour de très grandes séries. Cette possibilité n'a pas été étudiée car les amortissements d'une machine spéciale dépasseraient les coûts des autres moyens de production : dans le cas considéré, la charge d'une telle machine serait très faible puisque la fabrication d'un ensemble de 70 m² de capteurs durerait une demi-heure.

Ouverture du tube

Le fraisage est à rejeter, surtout à cause des longueurs à ouvrir.

L'oxycoupage sur des tubes d'aussi faibles épaisseurs conduirait à des déformations et à une coupe non franche : les travaux d'assemblages et de soudure seraient compliqués, voire très difficiles. Le tronçonnage semble la meilleure solution. Il devra se faire en avant, avec une tronçonneuse fixée, vue les efforts d'engagement.

Soudage des bords

Le soudage sur ces tubes minces pourra se faire par soudure semi-automatique (bord à bord) ou par soudure autogène (avec peu de métal d'apport). Le choix se fera en fonction des techniques préférées dans chaque entreprise pour les soudures latérales et pour les soudures sur les collecteurs intermédiaires. La soudure autogène demandera un pliage supplémentaire.

Soudure à la molette : il n'existe au Sénégal qu'une entreprise possédant des soudeuses à la molette mais ses bras ne permettent que l'exécution de soudure d'1 m (2 m avec un retournement). Les frais de modifications de la machine (ou l'achat d'une autre machine) qui sont nécessaires pour l'obtention de longueur de 3 m (par soudage transversal) dépassent largement le cadre des objectifs fixés. Les temps-machines pour la fabrication d'une série de capteurs pour une pompe étant environ d'une heure et demi, les frais

d'amortissement seraient trop importants. D'autre part, les manutentions et les introductions des pièces dans la machine représenteraient des temps importants et des détails et des finitions (embouts piquages) devraient toujours être faits manuellement.

Autres opérations

Les autres opérations ne posant pas de problèmes spéciaux, elles ne sont pas examinées ici.

Chaîne de fabrication

On ne pourrait employer des machines spéciales travaillant en série que pour des grandes séries. Si on estime à une heure le temps maximum de passage par poste des 24 capteurs nécessaires à une pompe solaire, il faudrait, pour une utilisation normale des machines, produire :

8 pompes par jour, soit 1 850 pompes par an.

Peinture des capteurs

La recherche sur les peintures a conduit à envisager trois possibilités :

a) Utilisation de peinture epoxy :

une couche de primer epoxy

une sous-couche epoxy

un intermédiaire gris Gomastral

(Gomastral alu sur la face inférieure ou peinture noire mate sur la face supérieure).

Ce système est celui qui aurait la plus grande durée de vie (10 ans); cependant son coût élevé, 3 620 F CFA/m², HT, est du même ordre de grandeur que celui des capteurs. Ce système coûteux ne pourra être employé que si l'on veut supprimer tous les travaux de réfection (en cas d'accès très difficile);

b) Utilisation de chromagum :

une couche de chromagum

un intermédiaire gris Gomastral

Gomastral alu ou peinture noire mate

Ce système aurait une durée de vie de 6 ans et son coût est moins élevé (2 400 F CFA/m², HT);

c) Utilisation d'un minimum de plomb :

une couche de minium de plomb

une couche de Primer Fevoxyde

une couche de finition noire mate ou blanche.

Ce minimum de plomb doit être utilisé à une température inférieure à 80°C, mais des chauffes allant jusqu'à 100°C sont acceptables durant de courtes périodes. L'expérience de l'IPM montre qu'avec ce système la peinture doit être refaite tous les trois ans. Le coût de ce système est de 1 600 F CFA/m², HT.

Un système incluant trois couches est en tout cas à recommander, compte tenu du coût important et des difficultés que la réfection des insolateurs entraîne. Il semble que le plus approprié soit le système Chromagum (3 200 F CFA/m², TTC).

Sous-traitance SCMT

Cette entreprise, encadrée par la SONEPI, est celle qui a paru, parmi les entreprises sénégalaises, la plus apte à fabriquer ce matériel car une grande partie de ses travaux d'effectue sur des petites tôles (menuiserie métallique). Cependant, il serait souhaitable que cette sous-traitance s'accompagnât d'une aide et d'activités consécutives entreprises par le client. Durant sa mission, l'expert a d'ailleurs joué ce rôle. Les études de fabrication en série, les études de prix ont donné lieu à plusieurs réunions de travail. Les gammes, les montages d'usinages ont été définis après préparation en commun. Une assistance de ce type devrait permettre le développement de la petite industrie locale. Le coût de l'aide et des activités consécutives désirables pourrait être défini; il serait ajouté au prix de vente pour comparer les prix avec ceux des entreprises concurrentes mais, malgré cela, les prix resteront inférieurs à ceux des entreprises européennes installées au Sénégal. Sur le plan de la qualité des produits, les travaux exécutés antérieurement permettent de penser que cette entreprise sénégalaise peut sortir un produit de bonne qualité si elle ne perd pas de vue l'importance de cette notion de qualité.

Les tableaux ci-après résument les études de fabrication faites dans le cadre de cette mission.

Tableau 12. Prix de vente des capteurs
(en F CFA)
(Prix de revient calculé selon la méthode SCMT)

		<u>HT</u>	<u>TTC</u>
Matières		150 900	219 500
Frais et marge sur matière		30 180	43 900
Main-d'oeuvre	14,10 à 1 069 = 15 075		
	25,35 à 712 = 18 050		
	30,85 à 476 = 14 684		
	<u>70,20</u>	47 810	47 810
Essais hydrauliques	6 000	6 000	6 000
Amortissement sur 40 pompes	$\frac{200\ 000}{40} = 5\ 000$	5 000	5 000
	TCA (autres que sur matières)	8 899	10 271
Prix de vente		<u>248 789</u>	<u>332 481</u>
Prix au m²		3 455	4 618
<hr/>			
Peinture des capteurs		<u>HT</u>	<u>TTC</u>
Solution chromagon			
Matière pour 150 m²		102 000	145 200
Frais matière		20 400	29 040
Main-d'oeuvre		50 400	55 440
Total		<u>172 800</u>	<u>229 680</u>
Prix de vente au m²		2 400	3 190
<hr/>			
(* Prix de la couche noire mate compris)			
<hr/>			
Prix de vente des capteurs peints			
* Prix de vente		421 600	562 200
* Prix au m²		5 855	7 808

Tableau 13. Coût de la main-d'oeuvre

No phase	Désignation de la phase	Nbre	Outillage (F CFA)	Main-d'oeuvre		
				A _{CH}	B _{CH}	C _{CH}
10	Cisaille des tôles	24	70 000	50	125	125
20	Tronçonnage des tubes ϕ 50	24			100	
30	Tronçonnage des piquages	48			150	
40	Poinçonnage (48 trous)	24	20 000	50	120	120
60	Pliage tôle inférieure	24			150	150
70	Pliage tôle supérieure	24			150	150
80	Pointage des bandes et des tôles	24	5 000	50	1 440	1 540
90	Ouverture des tubes ϕ 50	24	20 000		200	
100	Soudage des tôles	24	20 000	960		200
110	Découpage des embouts	48			100	
120	Soudure des piquages	48	15 000	300		300
130	Essai (voir dans le prix total)					
	Manutention					500
Totaux			150 000	1 410	2 535	3 080

	Nbre	kg	HT	TTC	fournis.
Matière		1			
48 tôles LFQC 10/10 3000x2000 (24 kg)	48	1 152	115 200	168 800	Davum
Tubes T 102 ϕ 50, ep. 1,5, lg. 6 m	5	54	7 000	10 000	Bernabé
Tubes T 102 ϕ 30, ep. 1 lg. 5 m	0,5	2	700	700	Bernabé
Plat 20 x 3, barres 6 m (0,47 kg/m)	72	203	28 000	40 600	
Embouts (récupération)	-	-	-	-	
Totaux			150 900	219 500	

4. Prix de vente des capteurs

Comme on ne pouvait pas faire des nervures sur la tôle supérieure, on les a remplacées (voir tableau 12) par des plats de 20 x 3 mm d'un poids total de 203 kg, et dont le coût est de 28 000 F CFA, HT, alors que le coût d'une phase de pliage peut être estimé à 10 000 F CFA environ.

Le prix d'achat des tôles correspond à celui qui a été indiqué par les établissements Brossette qui acceptent de livrer sur la base de commandes programmes. Des achats directs permettraient cependant de gagner sur ces quantités (15 à 20 t/an), 10 à 15 F CFA par kg, soit 11 500 F CFA par pompe. Ce prix pourrait donc être diminué de 280 F CFA/m² sur les prix hors taxes.

Les temps de travail devront être augmentés ou diminués en fonction des fabrications initiales. Après l'exécution des premières séries, ces temps pourraient éventuellement être légèrement diminués.

Comparaisons entre les divers devis recueillis

Plusieurs entreprises n'ont pas répondu aux demandes adressées par l'IPM. D'une manière générale, les entreprises européennes doivent avoir de lourdes charges qui grèvent leurs coûts de fabrication. Les ateliers les plus adaptés à ces fabrications ne veulent fabriquer que des séries importantes. Une seule entreprise a soumis son devis pour la fabrication de 24 capteurs et, malgré la possibilité envisagée de commandes programmes, le prix est élevé. L'entreprise qui possède une machine à souder à la molette a remis un devis estimatif, par ailleurs peu détaillé, dont le prix est élevé - surtout à cause des investissements à réaliser.

**Tableau 14. Prix hors-taxe d'un capteur
fournis par diverses entreprises**

Quantités	24	240	480	1 200
Maintenance africaine	24 450	14 290	13 480	
ACD		16 300	15 524	14 818
FUNDA		18 660 quelque soit la série		
SCMT	10 365			

5. Prix des insolateurs (voir tableau 16)

Ils seront déterminés dans deux cas :

Société fabriquant ses capteurs et vendant ses insolateurs
(marge 1,4 sur achats TTC) - SF

Société achetant les capteurs à la SCMT et vendant les insolateurs
(marge 1,4 sur achats TTC) - SC

On calculera les coûts des éléments autres que les capteurs (voir le tableau) et le coût des capteurs

Tableau 15. Coût total d'une pompe
utilisant une batterie de 72 m² d'insolateurs

	Prix total	Prix au m ²	Prix total	Prix au m ²
Coût des capteurs	421 600	5 855	562 200	7 808
Coût des autres éléments	421 000	5 845	538 300	7 476
Insolateurs SF	842 600	11 700	1 100 500	15 284
Insolateurs SC	990 200	13 750	1 269 160	17 627

Il est difficile de comparer ces prix avec ceux de la SOFRETES compte-tenu de leur facturation par postes. Cependant, les prix obtenus lors de ces études doivent être, hors-taxes, inférieurs pour les capteurs et quelle que soit l'hypothèse inférieurs pour les insolateurs. La fabrication de ces nouveaux insolateurs serait donc souhaitable.

6. Autre matériel thermique

L'évaporateur

Dans le cadre de cette mission, il n'a pas été possible d'envisager la fabrication de cet évaporateur à plaques : l'évaluation de son efficacité et de son bon fonctionnement n'avait pas été faite sur le terrain. L'expert n'a pas pu recueillir d'information sur ce produit, qui a été conçu par la CEA. Cependant, la technique de fabrication d'évaporateurs à plaques sera, semble-t-il, aisément transférable au Sénégal où certaines entreprises possèdent des presses. Le prix d'un évaporateur à tubes s'est révélé trois fois plus élevé que celui d'un évaporateur à plaques.

Tableau 16. Prix des isolateurs

No	Désignation	Quantité	Fournisseur	Prix HT		Prix TTC		
				à l'unité	Total	à l'unité	Total	
1	Support amiante-ciment (lg. 6 m)	13	Semo/ Brossette	1 000	3 850	51 050	4 200	55 600
	Scellements	78			50	3 900	50	3 900
2	Isolation polyuréthane 5 cm	3,4 m ³	Plastiques et élastomères	2 000	20 000/m ³	68 000	24 200/m ³	82 280
	Babouts polyuréthane (0,4 m ³)	24	Plastiques et élastomères	2 000	25 500/m ³	12 200	30 800/m ³	14 320
3	Vitrages 2,8 mm	79,5 m ²	Brossette		1 500/m ²	119 250	1 965/m ²	156 217
4	Ocupriband	150 m			~ 50/m	7 200	~ 50 h/m	7 200
5	Isolant (1 litre/isolateur)	12 l	Machen		110/l	1 320	144/l	1 728
6	Veral 40	17,6 m ²	Machen		600/m ²	10 560	850/m ²	14 960
7	Durits ø 50	24	Etaperu ou		300	7 200	300	7 200
	Durits ø 35	24	Sofretes		200	4 800	200	4 800
8	Colliers ø 60	48	Bernabé		130	6 240	175	8 400
	Colliers ø 45	48	Bernabé		100	5 280	145	6 960
9	Bostik 7350 Rhodorad 3B	3 lit.	Davus		4 410	14 700	6 285/l	20 950
Total						311 700		384 515
					x 1,35	421 000	x 1,4 =	538 300

Le moteur et sa pompe de réinjection

Il ne paraît pas souhaitable de fabriquer ce moteur au Sénégal étant donné son coût trop élevé, les investissements à réaliser et l'évolution probable du matériel. Il est préférable d'attendre un nouveau modèle, d'un coût inférieur, pour en lancer la fabrication.

Condenseur

Actuellement le condenseur utilisé par la SOFRETES est fabriqué par Wieland en Allemagne fédérale en grande série et, étant donné sa qualité, il est d'un coût peu élevé. La fabrication locale d'un produit qui donne d'aussi bons résultats pourrait être envisagée avec l'emploi de condenseurs à plaques. Les plaques pourraient être les mêmes que celles de l'évaporateur.

Coût de ces éléments

En raison de l'évolution probable de ce matériel à court terme, on a déterminé un prix actuel et un prix "futur". Les renseignements recueillis par ailleurs permettent d'envisager une taxation - favorable - de 16 % pour ces équipements importés (classe 84-10-23). L'estimation a été faite en considérant le cas de produits achetés directement aux fabricants.

Le tableau ci-après résume les prix de vente possibles, avec une marge de 1,3, d'un ensemble comprenant : un moteur et sa pompe de réinjection, un condenseur, un évaporateur, une pompe de circulation, une pompe de puits.

Prix actuel		Prix futur	
(en millions de F CFA)			
HT	TTC	HT	TTC
3,19	4,06	1,78	2,27

Tuyauteries

La tuyauterie du circuit butane est en acier inoxydable et sa fabrication locale ne devrait pas poser de problèmes techniques, mais il était impossible de la décrire avec précision, les essais n'étant pas effectués. On a demandé des prix se basant sur la station installée. Les prix indiqués dépassent largement les estimations de l'expert, en particulier pour la main-d'œuvre. Ces différences pourraient être attribuées :

Aux structures des entreprises contactées : les frais généraux augmentent les prix horaires.

A l'organisation du travail : pour réaliser une tuyauterie trois hommes travaillent ensemble (un tuyauteur, un soudeur, un aide-soudeur). Des montages et une exécution par phases réduiraient considérablement les coûts.

A l'établissement de devis sur les bases habituelles de travail (constructions et réparations navales).

L'étude plus tardive de ce point n'a pas permis de déterminer les prix de la réalisation dans le cadre d'entreprises sénégalaises. Dans le cas de fabrications bien standardisées, les coûts suivants pour les tuyauteries et leurs accessoires ont été estimés :

Coûts en millions de F CFA

	HT	TTC
SP	0,4	0,585
SC	0,52	0,83

Autres éléments

Les autres coûts intervenant dans le prix sont :

Le montage : deux ouvriers durant un mois et demi, soit 0,44 millions de F CFA ou 0,5 de F CFA, TTC

Le transport : 3,5 t x 350 km x 40 F CFA/t/km, soit 0,05 millions de F CFA ou 0,055 millions de F CFA, TTC

L'emballage : 0,3 millions de F CFA ou 0,35 millions de F CFA, TTC
soit un total de 0,79 millions de F CFA, HT

0,955 millions de F CFA, TTC. Les caisses sont récupérables.

D. Estimation du coût d'une station solaire

1. Station ordinaire (hypothèses H1 ou H2)

A partir des analyses précédentes et des estimations, on peut déterminer les prix de revient actuels et futurs de stations solaires dans les conditions suivantes :

- Hors taxes ou toutes taxes comprises
- Stations construites par une société commerciale fabriquant certains éléments au Sénégal - SP

- Stations commercialisées par une société sous-traitant certains éléments à des entrepreneurs sénégalais - SC

Tableau 17. Prix actuels et futurs de stations solaires (en millions de F CFA)

	Hypothèse SF		Hypothèse SC	
	HT	TTC	HT	TTC
Insulateurs	0,843	1,10	0,990	1,269
Éléments importés	3,19	4,06	3,19	4,06
Tuyauterie et accessoires	0,4	0,585	0,52	0,83
Autres éléments	<u>0,79</u>	<u>0,955</u>	<u>0,79</u>	<u>0,955</u>
Prix actuel	5,223	6,700	5,49	7,114
Diminution du coût des éléments importés	<u>1,41</u>	<u>1,79</u>	<u>1,41</u>	<u>1,79</u>
Prix futur	3,82	4,91	4,08	5,32

2. Station à double surface caprice

Dans ce cas la durée de fonctionnement journalier du moteur peut être doublée. Le réservoir de stockage de l'eau chaude pourrait être réalisé avec des agglomérés carrés (voir IRAT Bamby) et un volume isolé de 16 m³ devrait revenir à 250 000 F CFA environ. Les investissements à réaliser comprendraient :

Une batterie de 70 m² d'insulateurs

Un réservoir isolé (325 000 F CFA, HT ou 357 000 F CFA, TTC)

Transports, emballage, montage (390 000 F CFA, HT ou 470 000 F CFA, TTC)

soit au total avec la classification déjà utilisée :

	HT	TTC
SF	1,56	1,93
SC	1,71	2,10

On en déduit le coût d'une station solaire avec une durée de fonctionnement doublée (hypothèse H3).

3. Bâtiments

Il est intéressant de pouvoir utiliser le capteur solaire comme toiture puisque l'évacuation des calories par la circulation du fluide caloripporteur climatise partiellement le local. L'utilisation de ces bâtiments à des fins sociales renforce l'importance du point d'eau : il s'agit généralement dans ces villages de dispensaires, d'écoles, de maisons familiales... Actuellement la construction du capteur solaire fait intervenir une charpente métallique pour assurer le support de la toiture "solaire" et un remplissage en aggloméré pour le bâtiment. Cette solution coûte cher mais permet une installation rapide de la pompe solaire. On a cherché à définir des types de bâtiments dont les coûts seraient moins élevés et deux d'entre eux ont été retenus; il s'agissait de :

Bâtiments construits en terre stabilisée

Bâtiments construits en plats de sable

pour lesquels on pourrait faire appel à la main-d'oeuvre locale.

Bâtiments en terre stabilisée

Les services de l'habitat rural utilisent la technique de construction de bâtiments en terre stabilisée depuis une dizaine d'années et possèdent une grande expérience. Ils ont établi un prototype de bâtiment pouvant servir aux pompes solaires. Les prix de revient déterminés ont donné un coût de 6 500 F CFA environ par m² (prix Dakar) pour un bâtiment nu, non aménagé. La tour-support du matériel thermique pourrait aussi être construite en terre stabilisée comme on l'a d'ailleurs proposé. Actuellement ce service a défini un programme d'équipement pour 250 logements sur le fleuve. Ces maisons entièrement terminées reviennent, dans cette région éloignée, à 12 500 F CFA par mètre carré.

L'expérience montre que la tenue de ces constructions est parfaite, même à la pluie.

La SOFRETES et les services de l'habitat rural ont été mis en contact afin que des études soient faites pour les réalisations projetées au Sénégal.

Bâtiments en plats de sable

Pour les régions sableuses, l'UNESCO avait étudié et mis au point un type de construction n'utilisant que des matériaux et des techniques locales.

Un prototype a d'ailleurs été réalisé à Dakar (habitat rural). Etant donné son coût peu élevé (3 500 F CFA/m²), on a fait faire un projet d'utilisation de cette technique pour la construction d'une école qui intégrerait la station de pompage solaire.

Structure porteuse simple

Vu les coûts peu élevés des bâtiments décrits ci-dessus, les études entreprises sur les insolateurs posés sur le sol ou sur une légère maçonnerie-support (voir p. 35, sect. C, par. 1 "Insolateurs") ont été abandonnées.

E. Problèmes liés à l'utilisation des petites pompes solaires

Si l'application généralisée de ces petites pompes est envisagée, leur installation et leur emploi cependant risquent de poser quelques problèmes; les études et les travaux qui seraient alors nécessaires sont classés dans le tableau 18.

Pour remédier aux problèmes définis dans le tableau 18, il est à conseiller un programme d'installation qui permettrait :

- D'étudier et de mieux connaître le fonctionnement des pompes dans les diverses régions;
- D'étudier les types de bâtiments, les moyens de distribution convenant le mieux aux utilisateurs;
- De mettre en oeuvre les techniques locales de construction des bâtiments, de faire réaliser les fabrications envisagées par des entreprises sénégalaises à un stade tout d'abord expérimental et de formation;
- D'étudier l'acceptation de ces pompes par la population et les modalités d'une exécution partielle des travaux par les villageois;
- D'étudier une pompe à double durée de fonctionnement (avec stockage d'eau chaude).

Des études et réalisations devraient permettre de faire démarrer ultérieurement l'industrialisation sur des bases solides.

Tableau 18. Problèmes liés à l'utilisation des petites pompes solaires

Origine	Analyse	Conséquences
Ensoleillement	<p>Les données météorologiques que l'on peut recueillir sont actuellement insuffisantes et leur exploitation ne permet pas une analyse géographique des implantations possibles.</p>	<p>Des stations expérimentales pourraient être installées afin de finir les caractéristiques de fonctionnement des pompes dans chaque région :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Productions journalières - Définition et utilité des réserves pour les jours d'arrêt - Choix et utilité de moyens auxiliaires de pompage
Eau Puits Forage	<p>Les profondeurs et les températures des nappes sont généralement compatibles avec un fonctionnement correct. Les premières analyses font penser que l'installation sur puits est peu souhaitable. L'installation sur forage entraîne des amortissements très importants dans le cas de ces faibles débits.</p>	
Caractérisage	<p>Le gardien n'a pas besoin de qualification particulière et le travail à fournir est minime.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Doit-il être rémunéré ? - Doit-il l'être sur la base du revenu moyen de la population ? - Doit-on inclure cette charge dans le prix de vente de la pompe ? - La population peut-elle le prendre en charge ?
Entretien	<p>Un entretien annuel serait suffisant, une fois la mise au point de ces pompes terminée.</p>	<p>Modalités, prix et opérations sont à préciser.</p>
Sources de financement	<p>Pour déterminer la production locale et l'implantation de ces pompes il est nécessaire de définir les moyens de financement.</p>	<p>Une recherche est à faire, un programme est à établir avant de décider de l'application.</p>

Hydraulique en milieu villageois

Les besoins d'eau des hommes et des animaux ont été estimés dans cette étude. Le problème de la distribution serait à examiner : par exemple, le stockage dans un château d'eau diminue le débit et raccourcit la durée de fonctionnement. Le transport de l'eau est bien souvent plus pénible que l'exhaure.

La stabilité et la transmission des bruits serait à étudier compte tenu de l'importance des variations de consommation qu'elles entraînent; à partir de l'étude des structures et des coutumes des villages des distributions-types pourraient être définies ainsi que leurs coûts. Les services de la promotion humaine pourraient étudier l'acceptabilité de ces équipements par la population.

Hydraulique en milieu pastoral

Un débit journalier de 100 m³ serait souhaitable si on tient compte des amon- tissements. Cette production serait possible à partir d'une augmentation de la surface captrice et d'un stockage thermique.

L'étude et l'expérimentation pourraient être faites à l'IPM avec les capteurs des deux pompes solaires déjà installées.

Bâtiments

Un bâtiment peut être construit avec les isolateurs comme éléments de toiture. Aucune étude corrélatrice n'a été faite entre la surface captrice, les volumes pompés et :

Les corrélations devraient être définies pour mieux adapter les bâtiments aux impératifs de l'utilisation. Compte-tenu de la gratuité de l'installation pour les villageois, une aide pourrait leur être demandée pour la réalisation du bâtiment et de la distribution. De plus, des techniques locales de constructions pourraient être vulgarisées (des projets de bâtiments ont été établis dans ce sens). L'action d'organismes tels que les services de promotion humaine serait indispensable pour étudier ces aspects.

- Les surfaces occupées au sol;
- La population (seuf pour les consommations)
- Les enfants d'âge scolaire ou les malades.

Ainsi le bâtiment actuel de 18 m sur 5 m a une profondeur faible pour être utilisé comme école.

Fabrication du matériel

Voir le chapitre consacré à ce sujet. La fabrication locale de ces bâtiments diminue le coût social de ces équipements.

Recherches sur l'énergie solaire

L'IPM pourrait être le centre de recherches et de mise au point des prototypes auprès des utilisateurs.

Les moyens actuels ne lui permettraient pas de mener à bien cette tâche. La structure et les moyens nécessaires seraient à définir.

II. EVALUATION

L'affectation de l'expert à l'Institut de physique météorologique a eu des répercussions très favorables. Etant donné que l'une des activités essentielles de l'IPM a été la mise au point de pompes solaires, on a pu profiter de l'expérience acquise.

Les relations existantes entre la SOFRETES et l'IPM ont permis un échange fructueux d'informations et l'obtention de renseignements importants.

Toutefois, le retard - indépendant de la volonté de l'expert - qui s'est produit au moment de l'installation du matériel thermique a contraint à faire le montage durant la saison des pluies. De ce fait, une part importante des travaux a dû être recommencée à plusieurs reprises et les essais complets du matériel n'ont pu être totalement effectués malgré une prolongation de trois mois de la mission de l'expert. Ces difficultés ont aussi contraint à modifier l'ordre logique de la réalisation du travail.

Le peu de moyens dont dispose l'IPM, la recherche de fournitures et le règlement de problèmes administratifs, inséparables des réalisations, ont aussi retardé le travail.

Il a fallu aussi beaucoup de temps pour faire les recherches, rassembler les informations et obtenir les devis des entreprises sénégalaises.

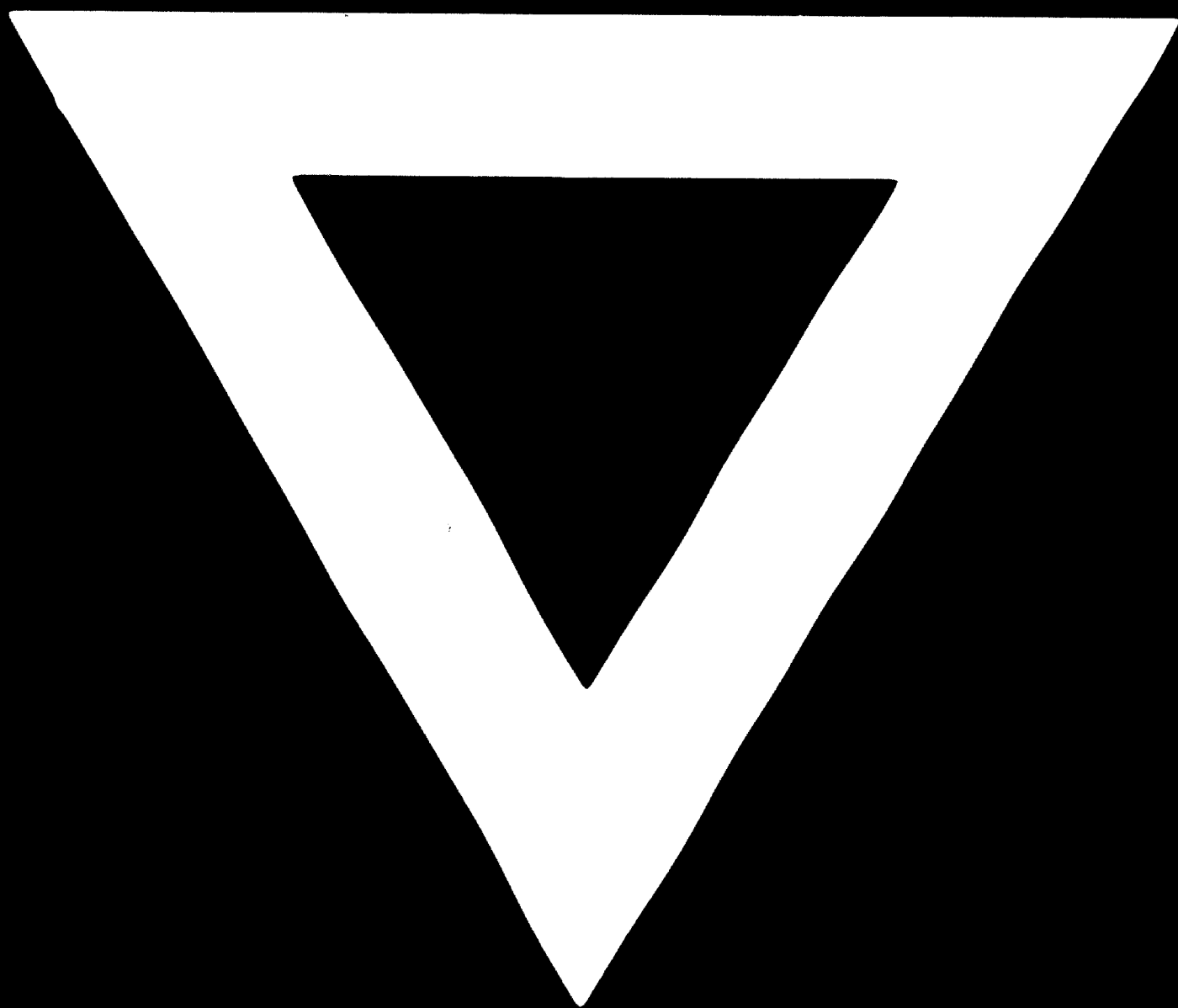
Si l'installation de la pompe est terminée, l'évaluation de son fonctionnement est encore en cours car une mise au point de ce prototype a dû être faite : des modifications importantes ont été exécutées ou proposées; elles devraient permettre éventuellement d'améliorer le fonctionnement du moteur. Le démarrage ne pose plus de problèmes.

L'étude des éléments pouvant être fabriqués localement a amené à concevoir plusieurs types d'insolateurs entièrement nouveaux. Leur production dans une entreprise sénégalaise a amené à étudier les capteurs en fonction des moyens. L'assistance fournie à cette occasion et le travail fait en collaboration avec l'entreprise ont montré l'importance de l'élaboration de méthodes simples et efficaces pour l'étude et la réalisation des fabrications de petites séries (utilité des gammes, des montages d'usinage, des devis) ainsi que la nécessité d'une bonne qualité dans le travail. Ce point est primordial dans la fabrication, en particulier pour les clients étrangers.

En ce qui concerne les bâtiments (30 % du prix de la pompe ONUDI) la réduction des coûts devrait être importante : de l'ordre de 80 % en utilisant des techniques et des matériaux locaux pour leur construction.

Le travail fourni durant les premiers mois de la mission devrait permettre une meilleure compréhension des possibilités offertes et de la nécessité d'une application généralisée des équipements étudiés : la définition des besoins villageois et pastoraux, la comparaison avec les autres techniques d'exhaure y seront certainement très utiles.

C-347



77. 10. 10