

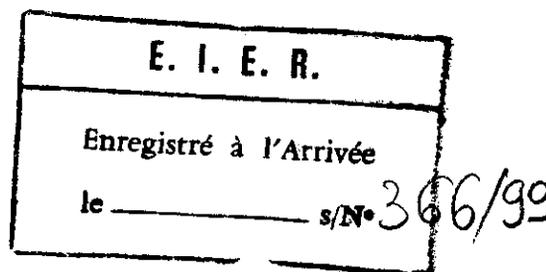
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1999

Présenté par :

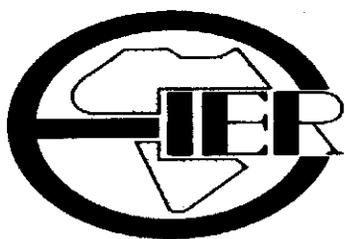
BAKIMISSA Gonnard

Enquête sur l'utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou : situation actuelle et perspectives

MENTION :



Encadrement
Y. COULIBALY
Z. BOUREIMA



**ECOLE INTER-ETATS
D'INGENIEURS DE
L'EQUIPEMENT RURAL
03 BP 7023 OUAGADOUGOU 03**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur de l'Équipement Rural

THEME : Enquête sur l'utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou : situation actuelle et perspectives.

Présenté par :

**M. Gonnard BAKIMISSA
28^{eme} promotion (1996 -1999)**

Encadreurs :

**M. Yézouma COULIBALY
M. Zakari BOURAIMA**

DEDICACE

*Au Professeur Sékou TRAORE,
Ancien Vice-Président de
l'Union des Mathématiciens
Africains.*

*Je garde de lui les souvenirs de
ponctualité, de rigueur
scientifique et d'amour du
travail soigné.*

*A Monsieur Babacar DIENG,
Directeur des Etudes de
l'EIER , dont la personnalité
m'a beaucoup marquée tout
au long de mes trois années
passées dans cette école.*

RÉSUMÉ

La préservation de l'environnement apparaît de nos jours comme un impératif de survie de l'espèce humaine. D'où l'intérêt porté à l'heure actuelle aux énergies renouvelables, parmi lesquelles l'énergie solaire.

Parmi toutes les utilisations possibles de l'énergie solaire, le chauffage de l'eau à usage individuel ou collectif est l'une des plus immédiates et des plus simples. Ainsi cette technologie est aujourd'hui éprouvée et fiable.

Le principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire est basé sur l'effet de serre. Les rayons du soleil traversent un panneau de verre ou de plastique transparent avant de frapper une surface absorbante. Celle-ci transforme le rayonnement en chaleur qui se trouve emprisonnée sous la surface du verre.

On distingue trois types de chauffe-eau solaires : le capteur stockeur dont le réservoir est intégré au capteur, le monobloc pour lequel le ballon de stockage d'eau chaude est solidaire du capteur. Enfin le chauffe-eau à éléments séparés dans lequel les fonctions de captage du rayonnement solaire et de stockage d'eau chaude sont assurées par des unités distinctes.

Les chauffe-eau solaires existent par millions au Japon, en Israël et aux USA. On compte à titre d'exemple un chauffe-eau solaire pour cinq habitants en Israël . Cependant à Ouagadougou, ville très ensoleillée avec en plus un coût d'électricité très élevé, on ne compte qu'un chauffe-eau solaire pour 3000 habitants.

L'objet de notre étude a été de rechercher les causes de cette faible utilisation qui sont : le manque d'informations techniques et commerciales à l'endroit du public, quelques cas d'installations mal réalisées, le non suivi par les utilisateurs des consignes techniques et le coût élevé de l'investissement initial.

Cependant le chauffe-eau solaire a plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer l'absence de risques d'incendie ou d'électrocution, de pannes et de factures d'électricité. Le prix de revient du chauffage de 1m³ d'eau par un chauffe-eau solaire est 1.5 à 2 fois (selon le type) plus petit que celui du chauffe-eau électrique.

Une intensification de la publicité dans la presse écrite et à la télévision nationale pourrait amener beaucoup de personnes à utiliser le chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou. En initiant une collaboration formelle avec les différents acteurs du domaine du bâtiment comme les cabinets d'architecture et les bureaux d'études, on pourrait améliorer notablement le niveau d'adoption de cette technologie par les populations de Ouagadougou. Il serait aussi souhaitable que l'Etat encourage ce secteur en raison de son importance dans la préservation de l'environnement. Le soutien est multiforme et peut consister à appliquer des abattements fiscaux sur certains matériaux de fabrication , ou encore à instituer une politique de crédit afin d'abaisser le coût élevé de l'investissement initial.

Cependant les fabricants doivent veiller à bien réaliser leurs installations afin de ne pas engendrer des contre-publicités comme celle résultant du cas de l'hôtel Rayi's et Central Hôtel.

LISTE DES ABREVIATIONS

ETSHER : Ecole Inter-Etats des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural.

FESPACO : Festival Panafricain de Cinéma de Ouagadougou.

ATESTA : Atelier d'Énergie Solaire et de Technologie Appropriée.

GESTA : Groupement d'Énergie Solaire et de Technologie Appropriée.

CES : Chauffe-eau solaire

REMERCIEMENTS

Le mémoire de fin d'études est un travail qui plus qu'aucun autre ne peut s'accomplir dans la solitude. Aussi trouvé-je normal que figurent au début du présent mémoire, qui est mon dernier travail d'élève-ingénieur et mon premier document de professionnel, des remerciements adressés à ceux qui ont aidé, concouru à sa réalisation.

Je voudrais en premier lieu remercier mes encadreurs Yézouma COULIBALY et Zakari BOURAIMA, pour leur disponibilité à me fournir un encadrement de qualité malgré les multiples occupations auxquelles ils doivent faire face par ailleurs.

Je voudrais en deuxième lieu remercier ma structure d'accueil le CEAS ATESTA, notamment M. Pierre GUISSOU et M. Charles KONSEIBO qui n'ont ménagé aucun effort pour me faciliter le travail en dépit de leur emploi du temps très chargé.

Mes remerciements vont aussi à :

- mes collègues de la 28^{ème} promotion avec lesquels j'ai passé trois merveilleuses années .
- l'atelier G.E.S.T.A. qui est l'un des fabricants actuels des chauffe-eau solaires , pour les informations qu'il a bien voulu me communiquer.
- Monsieur Nestor NKOUNKOU LOKO, Ingénieur de l'Equipe-ment Rural, pour ses pertinentes remarques consécutives à la lecture de la version provisoire du présent mémoire.
- ma fiancée Mirabelle Sylvie NEKAM pour le soutien moral qu'elle ne cesse de m'apporter.
- Monsieur AWI ALHER, enseignant à l'ETSHER, pour m'avoir aidé dans la collecte des informations.

Que soient enfin remerciés les Elohim et leur dernier messager RAEL grâce à l'enseignement duquel je demeure une personne saine et équilibrée.

RECONNAISSANCE

A toutes les personnes physiques et morales sans lesquelles je n'aurai pu suivre et mener à son terme ma formation d'Ingénieur de l'Equipement Rural.

Je pense en particulier à la Coopération Allemande qui à travers son organisme d'échanges universitaires DAAD, m'a accordé une bourse d'études pour suivre ladite formation à l'EIER. L'octroi des bourses de formation constitue, à mon sens, la plus importante aide au développement car pour transformer il faut former.

Je pense aussi à l'ensemble des composantes de l'EIER grâce au travail duquel j'ai pu trouver un cadre propice pour étudier. Il s'agit aussi bien de la Direction de l'école, du corps enseignant que du personnel technique.

AVANT-PROPOS

L'école Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER) qui regroupe 14 pays de l'Afrique francophone au sud du Sahara, forme en trois ans des ingénieurs polyvalents. Ceux-ci sont aptes à promouvoir, à mettre en oeuvre et à gérer les infrastructures nécessaires à la mise en valeur et à l'équipement du milieu rural africain. L'accès à cette formation se fait sur concours dans les différents états membres. La formation s'achève par la rédaction d'un mémoire de fin d'études.

L'EIER entretient de multiples relations avec différents acteurs et opérateurs économiques du Burkina Faso. C'est ainsi que le CEAS ATESTA a proposé un sujet de mémoire se rapportant à la diffusion du chauffe-eau solaire.

Présentation du CEAS

Le CEAS (Centre Ecologique Albert Schweitzer) est une organisation non gouvernementale suisse de coopération technique. Il travaille avec des partenaires africains et malgaches (paysans, artisans et entrepreneurs) dans différents domaines d'activités dont les énergies renouvelables, la fabrication locale d'équipements à usage agricole, l'agro-écologie et l'agro-transformation. Il intervient à quatre niveaux : la recherche, la formation, le suivi et la mise à disposition d'une documentation technique.

La représentation burkinabè du CEAS assure le relais pour le Sahel. Elle comporte :

- 3 services d'appui technique
- 1 service d'appui documentaire
- 1 représentant coordinateur et 15 collaborateurs permanents.

Les trois services d'appui sont :

- ◇ SATA : Service d'Appui Technique aux Artisans . Il s'occupe de la recherche de nouveaux produits, du développement des techniques comme celle du chauffe-eau solaire, du brûleur d'huile de vidange, des cuiseurs solaires, etc.
- ◇ SATEP : Service d'Appuis Technique et Ecologique aux Paysans
- ◇ SAPE : Service d'Appui aux PME, spécialisé dans le séchage des produits (fruits, légumes et plantes diverses).

INTRODUCTION

La prise de conscience générale de la nécessité de préserver l'environnement a entraîné, depuis quelques décennies, un regain d'intérêt pour les sources d'énergies nouvelles, plus connues sous le nom d'énergies renouvelables. En effet, les énergies classiques sont non seulement polluantes mais aussi chères et souvent inadaptées au monde rural des pays en voie de développement.

Depuis sa création en 1970, l'EIER s'est beaucoup intéressée à l'énergie solaire. Ainsi, dès 1971 elle a été dotée d'une pompe solaire à cycle thermodynamique SOFRETES.

Le département Energie de l'EIER a toujours accordé un caractère prioritaire à l'étude des possibilités d'utilisation domestique de l'énergie solaire et à sa vulgarisation tant en milieu urbain qu'en milieu rural.

Nombreux sont ceux qui, à travers le monde, considèrent les technologies solaires comme alternatives écologiques pour le siècle prochain. Ces personnes, comme Jean Pierre GRAFFE (1), pensent qu'il est temps de développer une vision globale destinée à vulgariser les technologies solaires matures.

C'est ainsi qu'il nous a été demandé, dans le cadre de notre mémoire de fin d'études à l'EIER, de faire une « **enquête sur l'utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou : la situation actuelle et les perspectives** ».

Nous avons pour ce faire dû rencontrer les personnes physiques et morales principalement concernées par cet appareil : concepteurs, fabricants, utilisateurs effectifs et potentiels.

Le présent document restitue l'essentiel de ce travail que nous avons accompli en deux mois et demi.

On trouvera dans la première partie de ce document le cadre théorique et la méthodologie de recherche utilisée. Ensuite une présentation générale des chauffe-eau solaires, l'analyse des résultats de l'enquête et enfin les suggestions que nous avons formulées.

(1) : Ministre du Gouvernement Wallon et du gouvernement de la Communauté française de Belgique chargé de l'Enseignement supérieur , de la Recherche , du Sport et des Relations internationales .

PREMIÈRE PARTIE : CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

I. JUSTIFICATION DU THEME

Le choix du thème " Enquête sur l'utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou : situation actuelle et perspectives ", se justifie par le fait que ce thème constitue un cadre permettant de saisir une des utilisations de l'énergie solaire.

En effet, les technologies solaires thermiques, lorsqu'elles sont développées en tenant compte des données et des contraintes économiques, techniques, sociales et climatiques des régions concernées, ont des avantages considérables sur les plans écologique et humain par rapport aux technologies et aux énergies qu'elles remplacent. Elles réduisent les émissions et pollutions de tous genres et facilitent l'existence des utilisateurs en améliorant leur confort, leurs conditions de vie sanitaires et sociales. Ces technologies permettent aussi de créer des activités économiques dans les zones d'utilisation.

Le recours aux énergies renouvelables est un véritable remède contre les risques de pollution inhérentes aux énergies conventionnelles. Le développement de ces nouvelles énergies dans le siècle à venir est un impératif écologique.

Une diffusion massive des chauffe-eau solaires dans le milieu rural permettrait de réduire sensiblement les consommations de bois et de charbon de bois qui déséquilibrent les écosystèmes forestiers et détériorent l'environnement.

I. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Notre thème, « **Enquête sur l'utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou : situation actuelle et perspectives** » évoque d'emblée le problème de la diffusion de systèmes solaires thermiques.

Selon une étude menée par le Réseau International d'Energie Solaire (RIES) sur la diffusion de systèmes solaires thermiques à travers le monde, les technologies disponibles en matière de chauffe-eau et de séchoirs solaires sont matures. Elles permettent de répondre d'une manière adaptée aux besoins des populations aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain.

L'étude, conduite sous la direction de Abdelhanine BENALLOU et Jacques BOUGARD ⁽¹⁾ , met en évidence les facteurs qui limitent la diffusion des systèmes solaires thermiques et les paramètres susceptibles de les stimuler. On peut citer :

- Les plus grands échecs sont liés à une mauvaise réalisation des premières installations effectuées au début de l'introduction de ces technologies dans ces pays.

- L'absence de normes de qualité inhibe le marché. En effet, l'expérience des vingt dernières années a montré que des producteurs incompetents ou peu honnêtes ont pu ternir l'image des systèmes solaires, bien que ces derniers soient exceptionnellement fiables pour les produits respectant les standards de la profession.

- La qualité du service après vente est un facteur déterminant. En effet dans les pays où les circuits d'après vente et de maintenance ne sont pas bien structurés, les premières installations réalisées se sont trouvées hors service dès la première panne. Au lieu de constituer une vitrine permettant de générer de nouvelles installations, elles ont constitué de mauvaises références se traduisant par une méfiance des clients potentiels vis-à-vis des technologies solaires.

- L'information est un facteur important car dans la plupart des pays où l'utilisation du solaire thermique ne décolle pas, l'information est souvent embryonnaire, voire inexistante. Dans d'autres au contraire, l'information et la communication ont joué un rôle important dans la stimulation de la diffusion en véhiculant vers le public des informations techniques, sur les prix, sur les systèmes de financement, etc.

(1) " Le solaire thermique au service du développement durable " , Abdelhanine BENALLOU et Jacques BOUGARD , Réseau International Energie Solaire (RIES) .

•Le financement des équipements conditionne la diffusion. En effet, le coût élevé des systèmes solaires thermiques demeure un obstacle important pour la plupart des consommateurs. On est amené à payer d'avance et en un seul versement, la consommation énergétique de plusieurs années.

En ce qui est spécifiquement du chauffe-eau solaire, Henri FOGANG a, dans son Mémoire de fin d'études à l'EIER intitulé « **Etude de l'adaptation des chauffe-eau solaires installés par l'ONG ATESTA sur Ouagadougou** », répertorié les problèmes posés par les chauffe-eau ATESTA. Nous pouvons retenir l'élément en relation avec notre thème, c'est-à-dire le dépistage de la cause de la faible commercialisation de ces appareils. Il a retenu trois raisons justifiant cette faible commercialisation qui sont :

- l'ignorance par beaucoup de gens de l'existence des chauffe-eau solaires ;
- le coût élevé des chauffe-eau solaires à éléments séparés ;
- l'inaptitude du chauffe-eau solaire monobloc (de prix raisonnable) à fournir l'eau chaude le matin.

Notons que cette revue de la littérature ne prétend pas avoir couvert l'essentiel de la littérature dans le domaine concerné. Mais les auteurs ci-dessus cités nous sont d'un apport appréciable dans le cadre de notre étude.

III. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Depuis quelques décennies l'homme s'intéresse à des sources d'énergies renouvelables au premier rang desquelles l'énergie solaire . Les principales caractéristiques de l'énergie solaire suscitant l'intérêt qu'on lui porte sont sa " gratuité " , sa disponibilité sur une grande partie du globe , l'absence de risques d'épuisement et sa " propreté " (pas de rejets polluants , pas de danger radioactif , etc.) .

Une grande partie des besoins de santé , de confort ou industriels peuvent être satisfaits en utilisant la chaleur fournie par des capteurs solaires , soit directement , soit par l'intermédiaire de machines spécifiques . Le principe du solaire thermique est de transformer l'énergie électromagnétique du rayonnement solaire atteignant la surface du globe en chaleur utilisable , par positionnement d'une matière dense face à ce rayonnement.

Parmi toutes les utilisations possibles de l'énergie solaire, le chauffage de l'eau à usage domestique ou collectif est l'une des plus immédiates et des plus simples .

Les chauffe-eau solaires, qui permettent la production d'eau chaude grâce au rayonnement solaire, existent par millions au Japon , en Israël et aux USA, par dizaines de milliers en France . On compte , à titre d'exemple, un chauffe-eau solaire pour cinq habitants en Israël (1) . Cependant , malgré l'ensoleillement élevé de la plupart des pays africains dont le climat est tropical ou sahélien , on n'y compte que quelques centaines ou dizaines voire pas du tout . Signalons pour illustrer que l'irradiation annuelle du Burkina est supérieure à 2200 kWh/m²/an , celle de la France se situe entre 1400 et 1650 kWh/m²/an (2) .

Ouagadougou qui est très ensoleillée avec en plus un coût d'électricité très élevé devrait connaître une utilisation généralisée du chauffe-eau solaire . Pourtant on remarque un faible niveau d'adoption de cette technologie par les populations de la ville .

L'objet de notre étude consistera à rechercher les causes de la faible utilisation du chauffe-eau solaire dans cette ville .

Pour ce faire , nous analyserons les trois hypothèses suivantes :

- Les populations de la ville de Ouagadougou ne sont pas informées de l'utilité du chauffe-eau solaire .
- L'investissement initial est trop élevé et le mode de financement inadapté aux revenus des populations .
- Certains détenteurs de ces chauffe-eau ne sont pas satisfaits du service rendu ; ce qui engendre une contre-publicité.

(1) " Les chauffe-eau solaires capteurs-stockeurs " , page 1 , Robert CELAIRE , GRET/GERES/SYNOPSIS , Janvier 1987 .

(2) " Le solaire thermique au service du développement durable " , page 16 , Abdelhanine BENALLOU et Jacques BOUGARD , Réseau International Energie Solaire (RIES) .

IV. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude a son champ d'analyse clairement circonscrit dans la ville de Ouagadougou, ainsi que l'indique l'intitulé du thème.

Ouagadougou, capitale politique du Burkina Faso, est située entre les parallèles 12°20' et 13°5' de latitude Nord, les méridiens 1°27' et 1°35' de longitude Ouest. La ville de Ouagadougou s'étend sur une superficie de près de 20.000 ha et connaît un essor démographique galopant avec un taux de croissance annuel de 9.2%.

Sur le plan climatique, Ouagadougou est comprise entre les isohyètes 600mm et 900mm. Elle connaît une longue saison sèche de près de 8 mois et une période humide d'environ 4 mois. C'est le type de climat soudano-sahélien.

On distingue plusieurs modes d'occupation de l'espace urbain :

- Zones résidentielles
- Zones commerciales et industrielles
- Zones militaires
- Zones vertes
- Zones d'habitats loties
- Zones d'habitats non loties.

Cette disparité spatiale se traduit par une hétérogénéité de l'habitat. Selon la classification du Ministère du Plan du Burkina Faso, basée sur la nature des matériaux de construction et des équipements, on distingue quatre standings au niveau de l'habitat.

standing	haut	milieu	bas	très bas
représentativité	11%	18%	27%	44%
Equipements				
Eau	Oui	Oui	Oui	Non
Electricité	Oui	Oui	Oui	Non
Installations sanitaires	Wc à chasse	Latrines à fosse	latrines	Latrines Terrain nature
Répartition spatiale (différents secteurs)	1,2,4,8,9,11,13,16,25,28	3,5,7,11,14,15,17,22,23,24,27,28,29,30	1,2,6,7,8,11,12,13,15,17,19,20,22,23,29,30	Secteurs périphériques, zones d'habitats spontanés.

Source : données tirées de l'étude sur la gestion des déchets solides municipaux dans la ville de Ouagadougou. BAYILI Paul. P. ..Août 1996.(d'après le rapport du CREPA sur le profil environnemental de la gestion des déchets biomédicaux de Ouagadougou, Juin 1998)

La population actuelle de la ville de Ouagadougou est estimée à près de 900.000 habitants. La structure de la population montre une prédominance des jeunes de moins de 15 ans ; ils représentent 43.6% de la population totale.

Dans le cadre de cette étude, nous serons amenés à rencontrer les détenteurs des chauffe-eau solaires. Or, ceux-ci se retrouvent un peu partout dans la ville. Ainsi, notre zone d'étude porte sur toute l'étendue de la ville de Ouagadougou.

V. METHODOLOGIE

L'étude a été conduite entre mi mars et fin mai 1999.

La démarche suivie est basée sur des sources théoriques à partir de rapports d'études, de livres techniques , des enquêtes et des entretiens avec les différents acteurs . Il s'agit des concepteurs, des fabricants, des utilisateurs et des particuliers susceptibles de s'acheter un chauffe-eau solaire. Ces différentes parties de l'étude ont été abordées en tenant compte du temps imparti et des ressources financières relativement limitées.

5.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Elle a permis de connaître les aspects techniques relatifs aux chauffe-eau solaires et les problèmes que posent la diffusion de cet appareil en Afrique et dans le monde.

5.2 ENQUETES ET ENTRETIENS

Les différents questionnaires d'enquêtes ont porté sur le niveau d'information des gens sur les chauffe-eau solaires, leur avis sur le coût d'acquisition et le niveau de satisfaction des utilisateurs.

Nous avons en conséquence élaboré un questionnaire à l'intention des particuliers et des établissements possédant des chauffe-eau solaires. Cela, afin de déterminer leur niveau de satisfaction et les conséquences qui en découlent.

Nous avons aussi élaboré un questionnaire à l'intention des particuliers et des établissements à même financièrement de se procurer cet appareil. Ce dernier nous permettra de savoir s'ils sont informés de l'utilité du chauffe-eau solaire et dans ce cas pourquoi ne l'utilisent-ils pas.

Par ailleurs un guide d'entretien a été élaboré à l'intention des fabricants pour déterminer la politique menée dans la promotion de l'appareil, le fonctionnement du service de maintenance et les difficultés rencontrées.

La liste des établissements contactés est donc la suivante :

LISTE D'ÉTABLISSEMENTS ENQUÊTES

Établissements de type particulier	Établissements de type hôtel
1. Hôtel Indépendance	1. Hôtel Don Camillo
2. Hôtel Pacifique	2. Hôtel Avenir
3. Hôtel RAYI'S	3. Hôtel Amiso
4. Hôtel YIBI	4. Hôtel OK INN
5. Central Hôtel	5. Hôtel EDEN PARK
6. Frères de la Salle (1)	6. Hôtel Oubri
7. Pouponnière JOSCHEBA	7. Hôtel SIGRI
8. Centre des Sœurs de l'Immaculée Conception	8. Hôtel Nazemsé
9. Grand Séminaire St Pierre/St Paul	9. Hôtel IRIS
10. C.M.A. Paul VI	10. TROPICAL Hôtel
	11. RANHOTEL
	12. Hôtel Belle Vue
	13. Maternité Yennenga

(1) CES fabriqué par eux-mêmes .

L'enquête sur les établissements a porté en grande partie sur les hôtels :17 au total sur la trentaine existant dans la ville de Ouagadougou (environ 32) ont été contactés.

En ce qui concerne les particuliers, le nombre d'enquêtés dans chaque cas est le suivant:

personnes détentrices de chauffe-eau solaires : 21
utilisateurs potentiels de chauffe-eau solaires : 35.

Nous pouvons consigner ces chiffres dans le tableau suivant :

	Détentrice	Utilisateurs potentiels
Particuliers	21	35
Etablissements	10	13
Total	31	48

Précisons pour ce dernier point que nous n'avons contacté que des personnes de nationalité burkinabè propriétaires de villas, ayant un revenu mensuel relativement élevé comme les enseignants du supérieur, les ingénieurs, les cadres de banque, les médecins, etc.

Nous avons donc a priori exclu les personnes à revenu moyen ou faible telles les ouvriers, les étudiants, et autres. Nous pensons qu'il leur serait plus difficile d'envisager de posséder un chauffe-eau solaire en raison de son coût et de son encombrement.

5.3 MESURES

Ces mesures consistaient à prendre la température de l'eau chaude au moment de son utilisation. L'idéal eût été donc de mesurer la température de cette eau le soir à 18 heures et le lendemain à 6 heures auprès de tous les utilisateurs de ces chauffe-eau. Malheureusement, notre demande pour faire de telles mesures était irrecevable chez la plupart des utilisateurs.

Nous n'avons donc pu faire que 2 mesures à ces heures, et 4 autres à l'heure où nous proposons le questionnaire. Les valeurs obtenues sont consignées dans les tableaux ci-après :

Lieu	Date	Heure	Température de l'eau chaude
domicile 1	30 Avril 1999	19 heures	52°C
	1 ^{er} Mai 1999	6 heures	42°C
domicile 2	30 Avril 1999	19h30	45°C
domicile 3	03 Mai 1999	18 heures	51°C
domicile 4	06 Mai 1999	9 h45mn	45°C
Hotel Pacific	06 Mai 1999	8 h 10mn	41°C

CAS DE L'HÔTEL INDEPENDANCE

Dates et heures	1 ^{er} étage		2 ^{ème} étage	
	Ch 133	Ch 103	Ch 302	Ch 302
10 Mai 1999 à 18h	43°C	38°C	43°C	38°C
Le lendemain à 6 h	40°C	37°C	39°C	34°C

NB : Les chambres 103 et 302 sont situées au bout du réseau d'eau chaude ; ce qui explique les faibles valeur de température atteintes par l'eau comparées à celles des deux autres chambres qui sont situées au début du réseau.

5.4 DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Afin de disposer de résultats fiables, nous avons opté pour des questionnaires d'administration directe. L'enquête devrait donc remplir le questionnaire en notre présence de façon à nous préciser éventuellement le contenu de l'une ou l'autre réponse.

Cependant, la lenteur de la méthode nous a obligé d'accepter que quelques questionnaires soient remplis en notre absence. Tel a été le cas de quelques utilisateurs des chauffe-eau solaires résidant dans les villas de l'ETSHER. Il en a été de même pour quelques utilisateurs potentiels. Nous avons remis des questionnaires à nos connaissances (nos anciens enseignants par exemple) afin que celles-ci les proposent à leurs collègues de service.

Dans l'ensemble, ces enquêtes n'ont pas éprouvé de difficultés pour remplir ces questionnaires. Cela pourrait s'expliquer par le fait que nous prenions soin d'expliquer au « dépositaire » l'objet de l'étude et le sens des questions.

En revanche, nous avons été confrontés à deux difficultés majeures. La première tenait à l'absence de fichiers des clients disposant de chauffe-eau solaires.

Un des fabricants, en l'occurrence GESTA, n'a pu nous donner que deux noms de clients. On comprend dès lors que retrouver les détenteurs des chauffe-eau solaires dans la ville a été et demeure un exercice ardu.

Le problème était moins complexe pour les établissements utilisant cet appareil. La taille des équipements et leur nombre relativement limité, font qu'ils sont répertoriés par les fabricants. Nous avons donc eu la liste de ces établissements et le seul problème à résoudre était de les localiser dans la ville.

La seconde difficulté consistait à rencontrer les chefs de famille (ou leurs épouses) et les responsables des établissements concernés par notre étude. Il fallait parfois repasser quatre ou cinq fois au même endroit.

Nous pensons que sans un moyen de déplacement à notre disposition, nous n'aurions probablement pas pu enquêter toutes ces personnes dans le laps de temps imparti.

Ce moyen de déplacement nous a permis de retrouver les détenteurs des chauffe-eau solaires en prêtant attention aux toitures des habitations dans nos multiples promenades. Il nous

a de plus permis de les rencontrer en dépit de l'éloignement parfois considérable et des rendez-vous manqués.

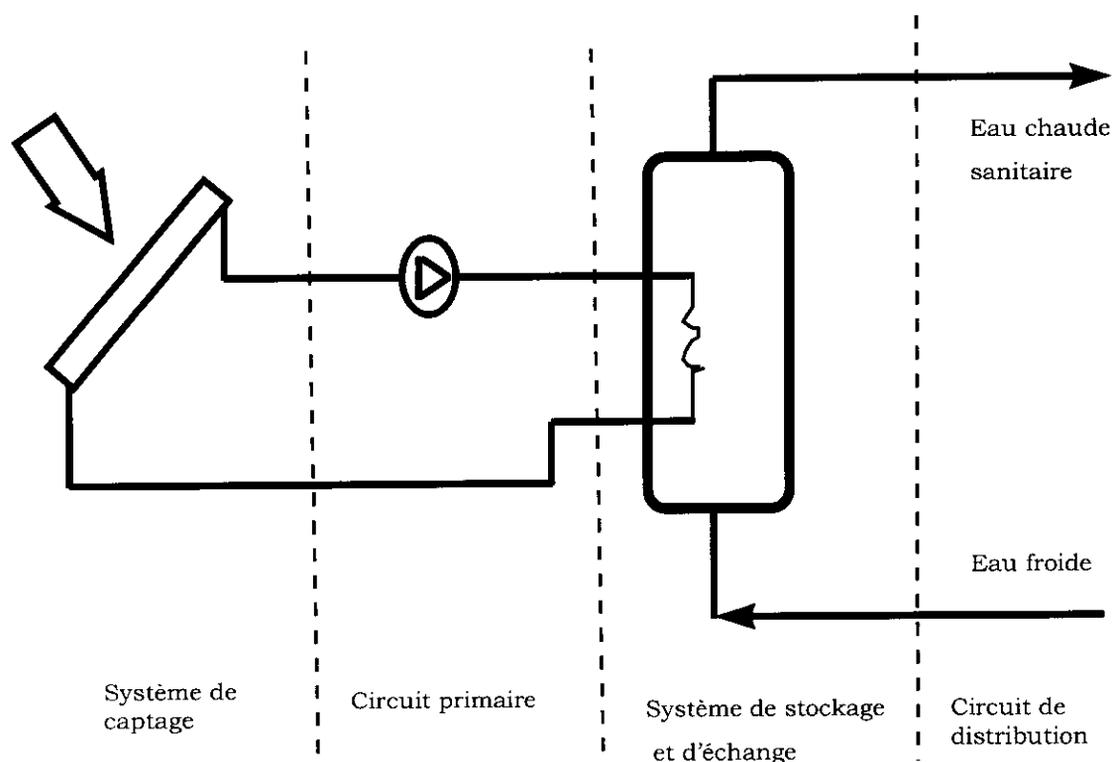
DEUXIEME PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES CHAUFFE-EAU SOLAIRES

I. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Un système de production d'eau chaude sanitaire solaire comprend les sous-ensembles suivants :

- le captage,
- le stockage, indispensable en raison du manque de simultanéité prévisible entre l'ensoleillement et la consommation d'eau chaude,
- le transfert de l'énergie captée vers le stockage,
- un appoint, éventuellement nécessaire pour assurer la totalité des besoins en eau chaude,
- la distribution.

Le schéma de principe d'un tel système se présente comme suit :



1-1 CAPTAGE

Dans la technique actuelle, le captage est assuré par des capteurs plans à eau qui peuvent réchauffer couramment le fluide caloporteur, jusqu'à une température de 70°C environ.

Ces capteurs sont basés sur le principe de l'effet de serre et comportent principalement :

- un coffre en matériau devant résister aux intempéries et recevant l'isolant thermique à l'arrière de l'absorbeur ;
- un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur à réchauffer et revêtu, sur la face exposée au rayonnement solaire, d'une couche absorbante sélective ou non ;
- une couverture en matériau transparent, le plus souvent en verre trempé, pour résister aux chocs éventuels et devant produire l'effet de serre ;
- les tubulures de raccordement pour assurer la circulation du fluide caloporteur entre les absorbeurs et les collecteurs de distribution et le stockage avec accélérateurs ou non ;
- les supports des capteurs, à adapter suivant la situation, que leur installation ait lieu en terrasse ou qu'on puisse les incorporer ou non à la toiture.

1-2 STOCKAGE

Le stockage est assuré sous forme d'une réserve d'eau réchauffée :

- soit directement par le passage de l'eau du réservoir dans l'absorbeur du capteur (réchauffage direct) ;
- soit par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur placé dans le réservoir ou à l'extérieur de celui-ci (réchauffage indirect, voir schéma de principe ci-avant).

La capacité du réservoir est déterminée en fonction des besoins en eau chaude de l'utilisateur et de la quantité d'énergie récupérée par les capteurs.

1-3 APPOINT

L'appoint calorifique permettant d'assurer la totalité des besoins en eau chaude peut être assuré :

- soit par une production calorifique dite " instantanée ", relevant la température de l'eau à la sortie du réservoir de stockage, avant sa distribution aux points de puisage ;
- soit par un deuxième échangeur placé dans le réservoir de stockage, alimenté par l'électricité (résistance électrique d'appoint), ou par un fluide caloporteur en provenance d'un générateur (chauffe-eau, chaudière, etc.) ; principe à limiter au chauffe-eau individuel ;
- soit enfin par un second réservoir d'énergie traditionnelle correctement jumelé au stockage solaire.

II. DIFFERENTS TYPES DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES

On distingue trois types principaux de chauffe-eau solaires.

2.1. LE CAPTEUR À STOCKAGE INTÉGRÉ

Le réservoir est intégré au capteur solaire et ne comporte pas de circuit de transfert ; le réservoir servant également d'absorbeur. L'installation d'un tel système ne nécessite pas de montage difficile et est limitée au raccordement de l'eau chaude vers l'utilisateur. Cependant, le réservoir ne peut être isolé et il y a par conséquent des pertes de chaleur importantes la nuit.

2.2. LE SYSTÈME THERMOSIPHON

Ce système permet de recueillir l'eau chaude produite par l'absorbeur directement dans un réservoir placé au-dessus du capteur. L'augmentation de la température de l'eau dans l'absorbeur force l'eau chaude, qui est plus légère, à s'élever dans celui-ci. Ceci provoque une circulation naturelle du fluide dans la boucle solaire. L'eau chaude ainsi produite peut être directement utilisée par l'utilisateur ou bien servir pour le chauffage de l'eau du réseau par serpentin.

2.3. LE CAPTEUR À BOUCLE DIRECTE EN CIRCULATION FORCÉE

L'eau chauffée par le capteur solaire est directement amenée au réservoir de stockage à l'aide d'une pompe de circulation de faible puissance (de l'ordre du watt par m² de capteur thermique). Cette pompe peut être alimentée par un circuit électrique ou un petit module photovoltaïque. Un contrôleur ajuste le débit en fonction de l'ensoleillement.

III. CALCUL DES BESOINS ET DIMENSIONNEMENT

Les performances d'un système solaire dépendent du calcul de la surface des capteurs et du volume de stockage qui sont fonction de l'ensoleillement disponible et des besoins en eau chaude.

Autrement dit, l'aptitude à l'emploi d'une installation de production d'eau chaude est caractérisée, entre autres choses, par la disponibilité de l'eau en, quantité suffisante à une température convenable au moment voulu.

En ce qui est de la température de distribution, on peut se satisfaire pour l'usage domestique des températures inférieures à 60°C. Outre le fait que les risques de brûlure se trouvent annulés, une eau chaude disponible à 45°C par exemple permet de diminuer les pertes thermiques du réseau de distribution. Généralement, l'eau de toilette est à 40°C environ, l'eau de cuisine à 55 ou 60°C, etc.

Pour obtenir le meilleur rendement global sur l'année, les capteurs sont placés face au soleil à midi, c'est-à-dire inclinés par rapport à l'horizontale du même angle que la latitude du lieu, face au Sud (au Nord dans l'hémisphère Sud).

Ainsi, à Ouagadougou ces capteurs sont inclinés de 12.5° par rapport à l'horizontale et orientés la face au sud.

Lorsque l'on conçoit un chauffe-eau solaire, l'objectif peut être de satisfaire un besoin en eau chaude, de caractéristiques connues, qui n'est pas satisfait en l'absence de ce chauffe-eau ou qui l'est par des moyens inadaptés.

L'objectif poursuivi peut être aussi de satisfaire ce besoin en eau chaude mais dans le cas où celui-ci serait de toutes les façons satisfait en l'absence du chauffe-eau solaire.

On distingue donc :

- **Type 1 : les systèmes 100% solaires**

Ce cas concerne la plupart des utilisations domestiques. L'objectif principal est de mettre au point un système permettant d'obtenir de l'eau chaude correspondant en quantité et en température au profil des besoins.

- **Type 2 : les systèmes solaires avec source d'énergie d'appoint**

Il s'agit de concevoir un chauffe-eau solaire optimisé du point de vue thermique. Cela est fait de façon que les économies de l'énergie d'appoint réalisées mensuellement ou annuellement soient maximales. C'est le cas des chauffe-eau solaires à usage collectif (maternités, hôtels, etc.)

3.1 LES BESOINS D'EAU CHAUDE

Les besoins C (kWh/jour) sont donnés par la formule :

$$C=0.0011611 \times V \times (T_c-T_f) \text{ avec}$$

V : le volume en litres par jour (l/jr)

T_f : la température d'eau froide en degré Celsius (°C)

T_c : la température d'eau chaude en degré Celsius (°C).

Ainsi, une consommation de 200 litres d'eau chaude à 60°C à partir d'eau froide à 30°C donne un besoin de 7 kWh par jour.

$$T_f=30^\circ\text{C}$$

$$T_c=60^\circ\text{C}$$

$$V=200 \text{ litres}$$

$$C=0.0011611 \times 200 \times (60-30)= 7 \text{ kWh/j}$$

3.2 SURFACE DU CAPTEUR SOLAIRE

La surface requise S (m²) du capteur solaire est donnée par la formule :

$$\mathbf{S=(1/rend.sys.) \times fraction\ de\ C / E\ avec}$$

C : besoins d'eau chaude en kWh/j

E : l'ensoleillement quotidien en kWh/m².j

Pour un système de type thermosiphon dont le rendement est de 30%, on prend la valeur de E du mois le moins ensoleillé de l'année. La fraction des besoins couverts étant de 50% ; on trouve une surface de capteur de :

$$\mathbf{S=(1/0.3) \times 0.5 \times 7/4 = 2.9\ i.e.\ 3\ m^2}$$

3.3 VOLUME DE STOCKAGE

Le volume de stockage V en litres peut être évalué à partir de :

- volume quotidien d'eau chaude soutirée en période non productive (de 18h à 6h)
- volume d'eau quotidien à 60°C, produite par le capteur avec un rendement global de 40% et un ensoleillement quotidien moyen équivalent au meilleur mois de l'année.

Ce volume est obtenu par :

$$\mathbf{V=350 \times E \times S / (60-Tf) ;avec :}$$

E : ensoleillement quotidien du meilleur mois (kWh/m².jour)

S : surface des capteurs solaires

Tf: température de l'eau froide.

Ainsi, pour :

Tf=30°C

S=2.9 m²

E=5.03 kWh/m².j, on trouve un volume de stockage de :

$$V=350 \times 5.03 \times 2.9 / (60-30)=170 \text{ litres.}$$

3.4 DIMENSIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Deux paramètres essentiels influent sur le dimensionnement d'un chauffe-eau solaire.

• **l'efficacité spécifique désirée pour l'installation Q_u (en kWh/m²/an) :**

C'est l'apport d'énergie utile qu'on appelle aussi productivité de l'installation calculée sur une année. Elle est fortement dépendante du rendement du capteur solaire. Pour un capteur simple vitrage, celui-ci est (sous sa forme normalisée) :

$$R = \frac{Q_u}{EngA} = \frac{EngA\alpha\tau - KA(T_m - T_a)}{EngA} = \alpha\tau - K \frac{T_m - T_a}{Eng} ;$$

α : coefficient d'absorption du capteur

τ : transmission de la vitre

K : coefficient global d'échange thermique

A : superficie hors tout du capteur (en m²)

Q_u : puissance thermique utile recueillie au capteur (en watt)

T_a : température de l'air ambiant (en °C)

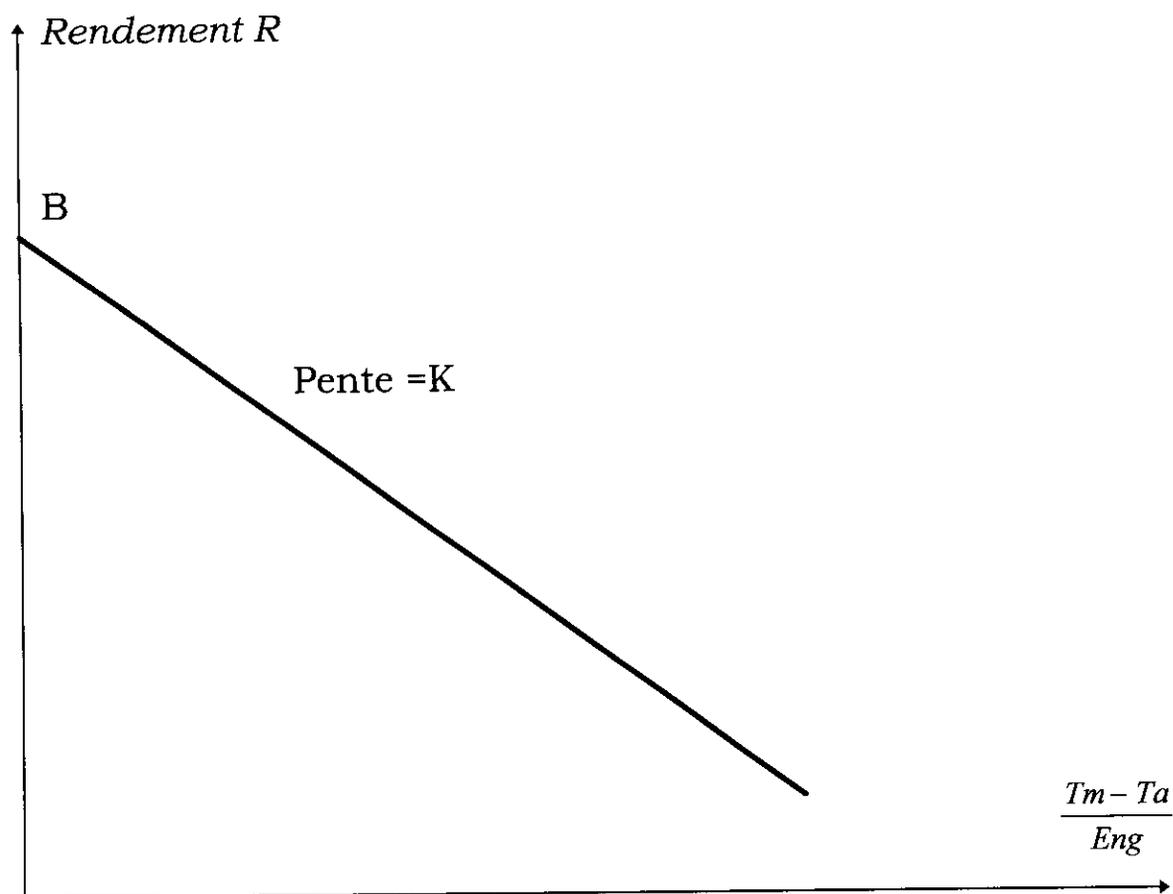
T_m : température moyenne du fluide dans le capteur (en °C)

Eng : éclairement énergétique solaire (en W/m²).

La représentation graphique du rendement thermique du capteur est normalisée sous la forme suivante :

$$R = B - K \frac{T_m - T_a}{Eng} ;$$

en mettant R en ordonnée, $\frac{T_m - T_a}{Eng}$ en abscisse ; on trouve B comme ordonnée à l'origine et K comme pente.



3.5 PERFORMANCES D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Elles sont évaluées à partir du taux de couverture T.C. obtenue par la formule :

$$T.C. = \frac{Qu \times Surf}{BLT} ; \text{ avec :}$$

BLT, les besoins annuels par logement type. Ils sont généralement de 100 litres pour une famille de trois personnes en Europe. Ce chiffre peut monter en Afrique à 200 ou 250 litres (exprimé en kWh/an/logement type).

Afin de le comparer aux autres systèmes de production d'eau chaude sanitaire, on calcule généralement un temps de retour pour les installations d'eau chaude solaire.

Coût de l'installation

$$T.R = \frac{\text{Coût de l'installation}}{\text{Economie de carburant ou d'électricité réalisée par an}}$$

T.R exprime un nombre d'années.

Dans le cas d'un investissement individuel(chauffe-eau pour une maison par exemple) pour qu'un système puisse être acheté , il faut que le temps de retour soit court (2 ans). Dans le cas d'un investissement collectif (cas d'un hôtel), un temps de retour plus élevé (5 ans) pourra être envisagé⁽¹⁾.

3.6 RACCORDEMENT AU SYSTÈME DE PLOMBERIE

On distingue trois types de raccordement du chauffe-eau solaire au système de plomberie.

- **Le système 100% solaire** : l'utilisateur ajuste sa consommation d'eau chaude ou accepte d'avoir des variations de température en fonction de l'ensoleillement quotidien.
- **Système de préchauffage solaire** : On branche l'eau chaude solaire à l'entrée du chauffe-eau standard et celui-ci augmente la température de l'eau à celle désirée.
- **Système solaire en parallèle** : Le chauffe-eau solaire est utilisé en priorité. Quand la température de l'eau chaude solaire tombe en dessous d'une valeur limite (par exemple 40°C), une vanne de mélange thermostatique augmente la proportion d'eau du réservoir d'appoint.

IV. LES CHAUFFE-EAU SOLAIRES FABRIQUES PAR ATESTA

4.1. CHAUFFE-EAU SOLAIRE CAPTEUR STOCKEUR OU CAPTEUR RÉSERVOIR

Ce sont des appareils qui se présentent comme des capteurs solaires à eau classiques avec coffre, vitrage, isolant et absorbeur.

(1) Y. JANNOT, Thermique solaire, P28.

La contenance de l'absorbeur, de l'ordre de 75 l/m² permet d'assurer dans le même appareil, les fonctions de captage et de stockage.

Ces appareils sont peu encombrants, peu onéreux et faciles à installer. Ils présentent un excellent rendement lors des journées ensoleillées ; cependant les pertes thermiques sont importantes la nuit et la température de l'eau le matin en période fraîche est insuffisante.

Cet appareil peut être d'un grand apport dans le cas d'un besoin d'utilisation d'eau chaude situé entre 8 heures et 20 heures (cas des maternités, des dispensaires ou des restaurants).

Le coût actuel d'un module de 56 litres est de 100.000frs au départ de l'atelier.

La photo de la page suivante représente ce type de chauffe-eau solaire et son schéma de principe est donné en annexe.



Photo 1 : Chauffe-eau solaire capteur réservoir.

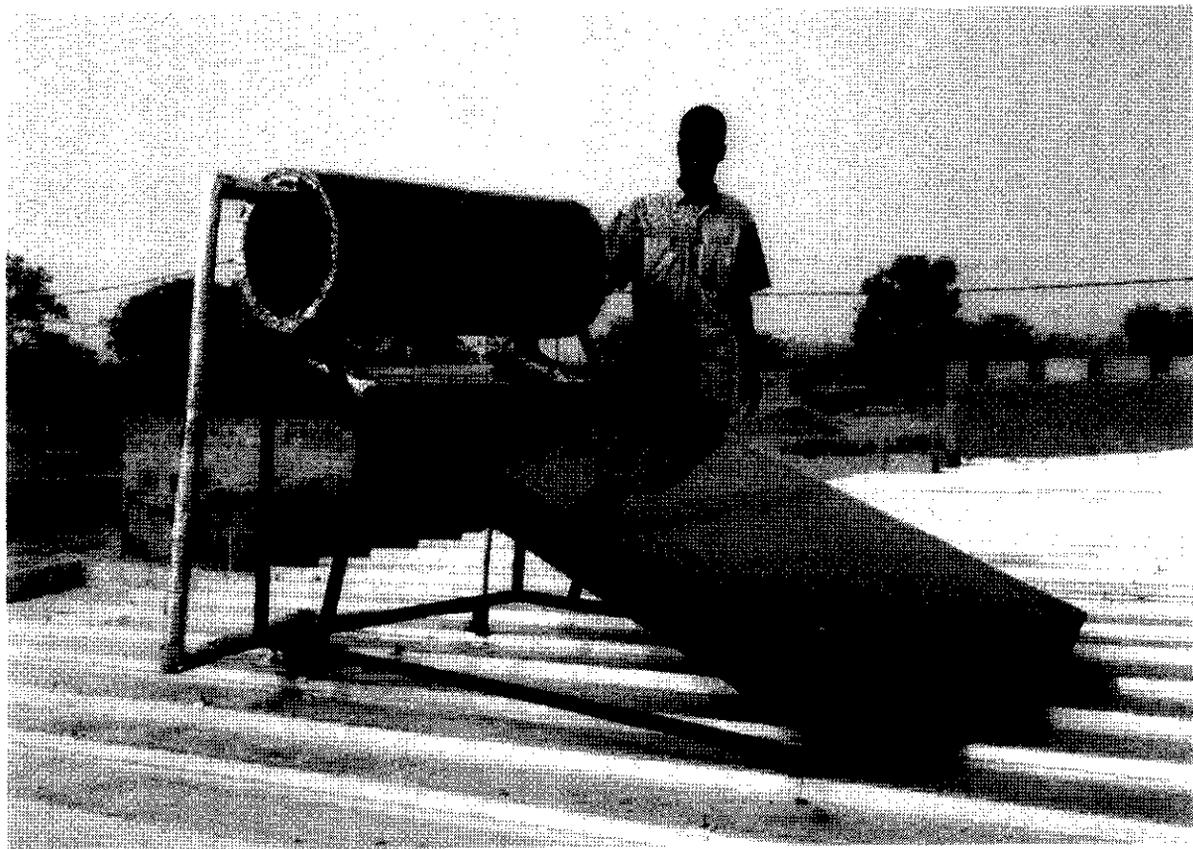
4.2. CHAUFFE-EAU SOLAIRE MONOBLOC OU TYPE CITÉ

Ce sont des appareils dont le ballon de stockage d'eau chaude est solidaire du capteur solaire, la circulation d'eau entre les deux éléments s'effectuant par thermosiphon. Le ballon étant calorifugé, on peut disposer de l'eau chaude 24h/24.

Le coût actuel d'un module de 100 litres est de 375.000frs au départ de l'atelier. Ces modules peuvent être raccordés pour répondre à un besoin plus élevé.

La photo ci-dessous représente ce type de chauffe-eau solaire . Précisons cependant que le schéma de principe donné en annexe est celui d'une version améliorée pour laquelle les longueurs des tuyauteries ont été réduites pour en faire un appareil véritablement monobloc.

Photo 2 :Chauffe-eau solaire monobloc de type CITE (ancienne version)



4.3. CHAUFFE-EAU SOLAIRES À ÉLÉMENTS SÉPARÉS OU DE TYPE CLASSIQUE (CFE)

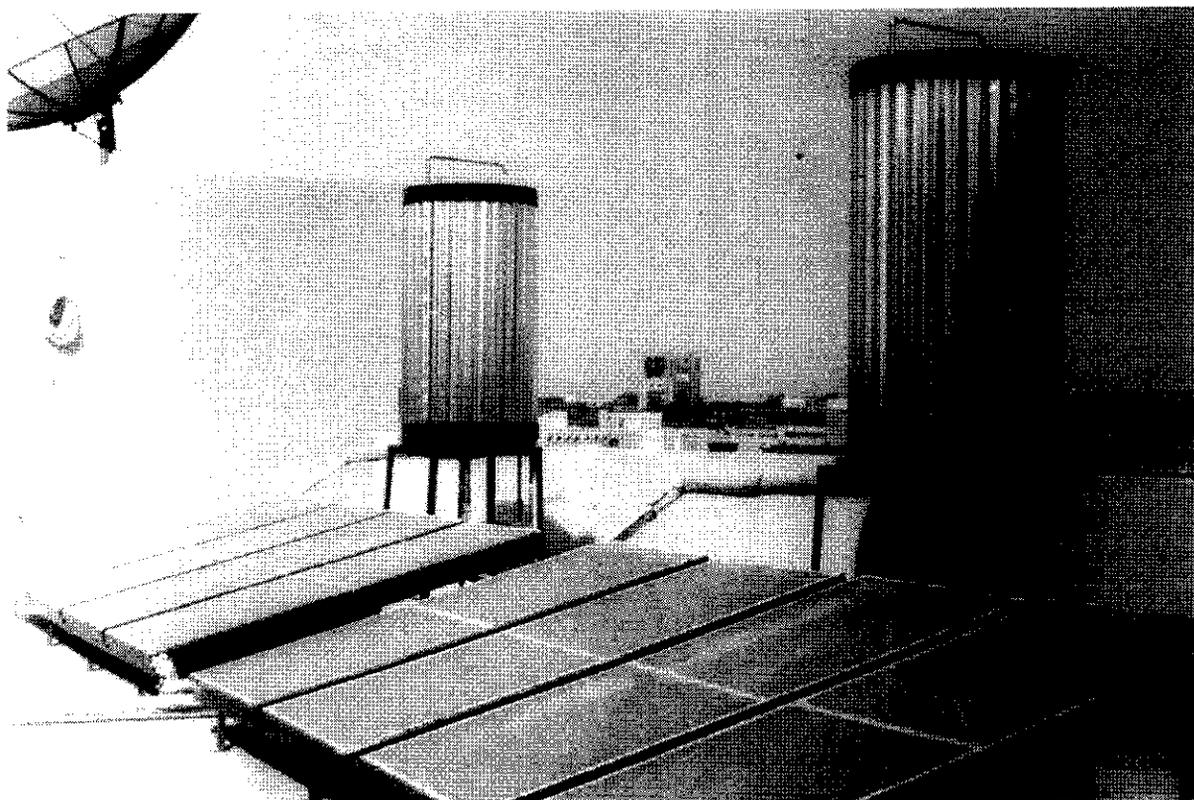
Ces appareils sont constitués d'un ballon relié à un ou plusieurs capteurs par des tuyauteries de longueur variable suivant le type d'installation. Le ballon non solidaire du capteur peut être installé à l'intérieur du logement. Ces appareils fonctionnent soit en thermosiphon, soit en convection forcée à l'aide d'une pompe de circulation.

Ils possèdent en général deux circuits. Dans le premier, l'eau chauffée par le soleil dans un capteur plan circule dans un ballon ou stock réchauffant. L'eau du réseau vient prendre la chaleur dans ce ballon à travers un second circuit comportant un serpentín. Les deux liquides ne se mélangent pas et on peut disposer, comme dans le deuxième cas, de l'eau chaude 24h/24.

Le coût actuel d'un module de 100 litres est de 535.000frs au départ de l'atelier. Celui de 200 litres coûte 775.000frs et le module de 300 litres 875.000frs.

La photo ci-dessous représente ce type de chauffe-eau solaire et son schéma de principe est donné en annexe.

Photo 3 : Chauffe-eau solaire à éléments séparés de type CLASSIQUE (avec échangeur de chaleur).



TROISIÈME PARTIE : ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

I. LES FABRICANTS ET LES CONCEPTEURS

1.1 POLITIQUE DE VULGARISATION DES CES ?

Selon les artisans de GESTA , la promotion et la vulgarisation de leurs chauffe-eau solaires se font au travers des publicités dans les journaux, des publicités à la radio, des expositions comme au SIAO et en laissant des enseignes publicitaires sur les installations qu'ils réalisent. Ils souhaiteraient faire passer une publicité à la télévision nationale, mais c'est un peu trop cher.

Le responsable du Service Appui Technique aux Artisans du CEAS-ATESTA estime pour sa part que la politique à mener dans la promotion des chauffe-eau solaires est du ressort des artisans qui sont les fabricants actuels. Cependant, de temps en temps ils peuvent saisir des occasions de promotion des produits lors des manifestations commerciales comme le SIAO pour informer le public.

En effet depuis 1989 le CEAS-ATESTA n'assure plus la production en raison de son caractère d'organisation à but non lucratif. Elle se consacre aujourd'hui à la recherche, à la formation et au suivi technique.

1.2 FONCTIONNEMENT DU SERVICE DE MAINTENANCE

Le même responsable du CEAS nous a déclaré qu'il n'y a aucun problème technique sur leurs chauffe-eau solaires. La technologie est mûre et les rares cas de fonctionnement inadéquat des installations sont dues à des défauts de mise en oeuvre. Le plus souvent, il s'agit de fuites dans le circuit ou d'une faible épaisseur d'isolant prévue par l'artisan ayant fait l'installation.

La fiabilité de la technologie de fabrication des chauffe-eau solaires nous a d'autre part été confirmée par les chercheurs de l'IRSAT (ex IBE : Institut Burkinabè de l'Energie).

De l'avis du Service Appui Technique aux Artisans du CEAS-ATESTA et des artisans de GESTA, la période de garantie des installations varie de 1 à 2 ans. Durant cette période tout problème survenant dans le système - à l'exception du bris de verre - est résolu gratuitement. Cependant, ils estiment que leur chauffe-eau peut faire très facilement 10 ans sans qu'il ne connaisse aucune panne.

Les enquêtes menées auprès des utilisateurs ont prouvé la véracité de cette affirmation. En effet 94% des détenteurs de CES enquêtés déclarent n'avoir connu aucune panne. La panne évoquée (correspondant aux 6% restant) concerne le remplacement de l'échangeur de chaleur incorporé dans le réservoir. Phénomène du reste prévu dans les mesures d'entretien de l'appareil telles que formulées par les concepteurs.

II. LES DÉTENTEURS DES CES

2.1 RESPECT DES CONSIGNES TECHNIQUES

L'entretien du chauffe-eau solaire nécessite les principales opérations suivantes:

- laver les capteurs à l'eau, au moins une fois par mois afin d'éviter des dépôts et des infiltrations de poussière
- faire l'appoint en eau du réservoir calorifugé une fois tous les 15 jours (cas du CES avec échangeur de chaleur)
- changer l'échangeur une fois tous les 5-6 ans.

Rappelons d'autre part que ces chauffe-eau sont dimensionnés pour une quantité journalière de 25 litres par personne. Ainsi, un chauffe-eau solaire de 100 litres est adapté pour une famille de 3 à 4 personnes, celui de 200 litres pour une famille de 7 à 8 personnes, etc.

Cependant comme il ne peut chauffer l'eau en l'absence d'ensoleillement, il convient de ne pas finir le stock en fin de journée si l'on souhaite disposer de l'eau chaude après (le matin par exemple). Ainsi pour mieux profiter de son système solaire, l'utilisateur doit essayer de régler ses habitudes de consommation d'eau chaude en fonction de l'ensoleillement.

Les enquêtes ont montré que très peu d'utilisateurs connaissent la capacité de leur réservoir. En effet 12 personnes

sur les 21 utilisateurs ne connaissent pas cette capacité, soit 57% de l'échantillon. De plus 9 personnes (soit 43%) déclarent n'avoir jamais lavé leur capteur, 5 le lavent une fois par année ou tous les deux ans(soit 24%). En revanche, personne ne le lave une fois par mois tel que l'exige l'entretien.

Concernant l'appoint d'eau du réservoir à réaliser tous les 15 jours pour les utilisateurs des chauffe-eau avec échangeur de chaleur, nous pourrions supposer que presque aucun utilisateur ne le fait. Bien que le questionnaire élaboré à leur intention n'en fait pas explicitement mention, on peut le supposer car cette opération nécessite le même effort que celle consistant à laver le capteur.

Le remplacement de l'échangeur s'impose en soi après 5 ou 6 ans d'utilisation car en cas de rouille cela se manifeste dans l'eau chaude reçue. Autrement dit, les utilisateurs ne le changent que par la force des choses et non en suivant les consignes d'entretien.

2.2 CAUSE DE NON SATISFACTION DES UTILISATEURS

Sur les 21 utilisateurs de chauffe-eau solaires enquêtés, 4 déclarent ne pas être satisfaits de leur chauffe-eau. Parmi eux, il y a un occupant des villas de l'ETSHER qui a constaté depuis trois mois une baisse du niveau de température de l'eau chaude produite. Il a envisagé de saisir le service technique de cette école pour la réparation.

Le deuxième cas de non satisfaction est un autre occupant de ces villas de l'ETSHER. Son capteur est placé dans un endroit assez ombragé. Ne recevant pas suffisamment de rayons solaires, il en résulte un faible niveau de température atteinte par l'eau chaude produite.

Les deux autres cas correspondent à des utilisateurs qui pensent qu'en saison froide, il faut "perdre" une grande quantité d'eau froide avant d'obtenir de l'eau chaude. Nous pensons que ce sont des utilisateurs qui ont pu exprimer leur déception par rapport à cet état de fait.

Par contre, il y en a d'autres qui se contentent de ce niveau de service , surtout ceux qui n'ont pas dépensé de l'argent pour son acquisition (locataires ou des maisons familiales gérées par les enfants). Toutefois, sur les 21 utilisateurs enquêtés 11

déclarent ne pas disposer d'eau chaude pendant les périodes de faible ensoleillement.

Exprimé en pourcentage, on trouve 52% de chauffe-eau solaires ne donnant pas d'eau à la bonne température pendant les périodes froides. Les raisons d'une déception peuvent donc apparaître car le besoin en eau chaude est plus fort à cette période.

Le chauffe-eau solaire fonctionnant selon le principe de l'effet de serre, il faut que le capteur reçoive correctement le rayonnement solaire. Il ne doit donc y avoir aucune ombre projetée dessus si on veut un fonctionnement optimal. De même on doit éviter les dépôts et infiltrations de poussières dans le capteur.

De même que lorsque l'épaisseur d'isolant n'est pas suffisante, cela accroît les déperditions thermiques. Il en résulte un faible niveau de température de l'eau le matin. Or c'est le moment de la journée où le besoin en eau chaude est le plus grand.

En ce qui concerne cependant les grands systèmes comme ceux des hôtels, ils exigent une certaine technicité dont ne sont toujours pas pourvus les artisans installateurs. C'est ainsi que 2 hôtels (Central Hôtel et Hôtel Rayi's) ont dû abandonner le chauffe-eau solaire au profit du chauffe-eau électrique.

Le responsable de Central Hôtel estime que pour avoir de l'eau dans les chambres du rez-de-chaussée, du 1^{er} et du 2^{eme} étage, il faut faire couler une très grande quantité d'eau froide. Il en résulte une grande élévation de la facture d'eau et des plaintes de la part des clients.

Le responsable de l'hôtel Rayi's nous a fait savoir qu'il n'avait pas du tout d'eau chaude en saison froide. Cela était d'autant plus décevant que le problème survenait en Février 1999 lors du FESPACO. La clientèle avait commencé à baisser considérablement à cause de ce manque d'eau chaude et il fût obligé de s'acheter des chauffe-eau électriques. Bien entendu avant d'opter pour cette solution, il s'était rapproché de GESTA qui avait réalisé l'installation.

En reprenant leurs calculs, les artisans de GESTA avaient estimé qu'il fallait augmenter la surface de captage, c'est-à-dire ajouter le nombre de capteurs. La solution a été jugée peu

honnête car ce responsable de l'hôtel estimait que de tels calculs auraient dû être faits lors de la conception de l'installation.

III. LES UTILISATEURS POTENTIELS

3.1 BESOINS EN EAU CHAUDE

Sur les 35 personnes non détentrices de chauffe-eau solaires enquêtées, 31 utilisent pour leur bain de l'eau chaude à certaines périodes de l'année, soit 89%.

Pour chauffer leur eau, 2 personnes utilisent du bois de chauffe, 18 utilisent du gaz et 11 disposent de chauffe-eau électriques.

La proportion de gens qui ne se baignent jamais à l'eau chaude est assez faible car elle n'est que de 11%.

Les hôtels ont tous besoin d'eau chaude pour le bain et la vaisselle. Ils utilisent pour cela des chauffe-eau électriques.

Plus de 500 chauffe-eau électriques sont importés chaque année dans la ville de Ouagadougou. Ce chiffre témoigne d'un réel besoin en eau chaude dans une ville où les villas de haut standing représentent 11% de l'habitat.

3.2 FRANGE DE LA POPULATION INFORMÉE SUR L'UTILITÉ DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Sur les 31 personnes utilisant l'eau chaude sanitaire, 25 ont déjà entendu parlé du chauffe-eau solaire, ce depuis plus d'une année; soit 81% de l'échantillon.

Cependant les connaissances de la majorité d'entre elles sur cet appareil sont inexactes ou incomplètes. C'est ainsi que 85% de l'échantillon (soit 22 personnes) ignorent le coût d'acquisition du chauffe-eau solaire.

Nous nous sommes rendus compte d'autre part que beaucoup ignorent le principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire. C'est ainsi que certains enquêtés pensent que cet appareil utilise l'électricité produite par des plaques solaires. Leur perception de l'appareil fait penser à une sorte de chauffe-eau « électrique photovoltaïque ».

La nature des personnes déclarant n'avoir jamais entendu parlé d'un chauffe-eau solaire fait penser à une insuffisance de

publicité. En effet parmi ces 6 personnes, il y a un enseignant du supérieur, trois cadres de banque et 2 commerçants.

Cette constatation se renforce par le fait que 62% seulement de responsables d'établissements susceptibles d'utiliser un chauffe-eau solaire, sont informés de son existence. De plus personne dans ce pourcentage n'a la moindre idée du coût de cet appareil.

3.3 AVIS SUR LE COÛT D'ACQUISITION

Le coût actuel d'un module de 56 litres d'un chauffe-eau solaire de type capteur réservoir est de 100.000frs au départ de l'atelier. Celui du chauffe-eau de type CITE de 100 litres est de 375.000frs au départ de l'atelier. Ces modules peuvent être raccordés pour répondre à un besoin plus élevé.

Concernant le chauffe-eau de type CLASSIQUE , avec échangeur de chaleur, le coût actuel d'un module de 100 litres est de 535.000frs au départ de l'atelier. Celui de 200 litres coûte 775.000 frs et le module de 300 litres 875.000frs.

Sur les 25 personnes ayant déjà entendu parlé d'un chauffe-eau solaire 22 n'ont aucune idée du coût d'acquisition de cet appareil.

Ainsi 11 personnes souhaitent avoir un chauffe-eau solaire en proposant une durée d'échelonnement variant de 10 à 12 mois pour un montant total variant de 150.000 à 250.000frs !

Ce qui, en termes de pourcentage, représente 42.3% de l'échantillon.

11 autres personnes estiment ne pas être suffisamment informées pour proposer un échéancier de versement.

En revanche, une seule personne a souhaité l'acquérir au prix de 350.000frs pour une durée d'échelonnement de 4 mois. Un tel prix pouvant correspondre à un chauffe-eau solaire de type CITE (selon la terminologie ATESTA).

Tous les utilisateurs reconnaissent des avantages certains à cet appareil: absence de pollution, de dangers d'incendie ou d'électrocution, pas de frais d'exploitation, etc. Cependant ils estiment que l'investissement initial est très élevé.

Les fabricants reconnaissent eux-mêmes que le coût élevé de l'investissement initial peut constituer un frein pour les clients potentiels.

3.4 RAISONS DE LA RÉTICENCE DES UTILISATEURS POTENTIELS

Sur les 12 responsables des hôtels n'utilisant pas de chauffe-eau solaires, 2 pensent que cet appareil n'est pas approprié pour les hôtels (soit 16.7%) . Il y a un qui estime que c'est trop cher par rapport à l'efficacité (soit 8.3%) et 3 n'envisagent pas de posséder un chauffe-eau solaire présentement car les installations de plomberie n'avaient pas été réalisées en prévoyant une telle éventualité. En optant pour cette solution, il faudrait installer d'autres réseaux de tuyauteries et cela reviendrait trop cher.

Le responsable de l'hôtel Avenir pense que les échos se répandant sur le chauffe-eau solaire ne sont pas positifs. Il fait évidemment allusion au cas de l'hôtel Rayi's.

En ce qui concerne les particuliers, 6 des 31 personnes utilisant de l'eau chaude sanitaire pensent que leurs besoins sont trop faibles pour nécessiter l'achat d'un chauffe-eau solaire. Parmi elles il y a une qui pense que le chauffe-eau solaire est trop cher au regard des économies à réaliser.

QUATRIÈME PARTIE : ÉTUDE COMPARÉE DES CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES ET SOLAIRES

I. NOMBRE DE CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES IMPORTÉS PAR AN

Les données recueillies auprès de l'Institut National de la Statistique et de la Démographie montrent que le nombre de chauffe-eau électriques importés chaque année est très élevé. Ces données sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau : Importation de chauffe-eau électrique de 1992 à 1997 au Burkina Faso

	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Valeur (fcfa)	15.564.089	17.296.011	14.283.708	38.195.407	33.612.630	31.614.344
Volume (kg)	13.676	14.833	8.290	17.383	19.269	18.879
Quantité (unité)	0	0	0	1001	1204	1415

Source : MEF/INSD/DEE-SPMCS/Eurotrace

Pour les trois premières années, les données ne sont pas exprimées en unités. Il nous est par conséquent difficile de tracer une courbe d'évolution du nombre de chauffe-eau importés.

Cependant, on peut remarquer que les besoins vont croissants au regard des chiffres des trois dernières années du tableau.

Bien que ces données concernent tout le Burkina Faso, nous pouvons supposer que plus de la moitié des chauffe-eau électriques importés sont utilisés dans la ville de Ouagadougou.

Les vendeurs de ces appareils (CICA, DIACFA, etc.) n'ont pas été en mesure de nous donner la quantité importée ou écoulee annuellement.

II. NOMBRE DE C.E.S INSTALLÉS PAR AN

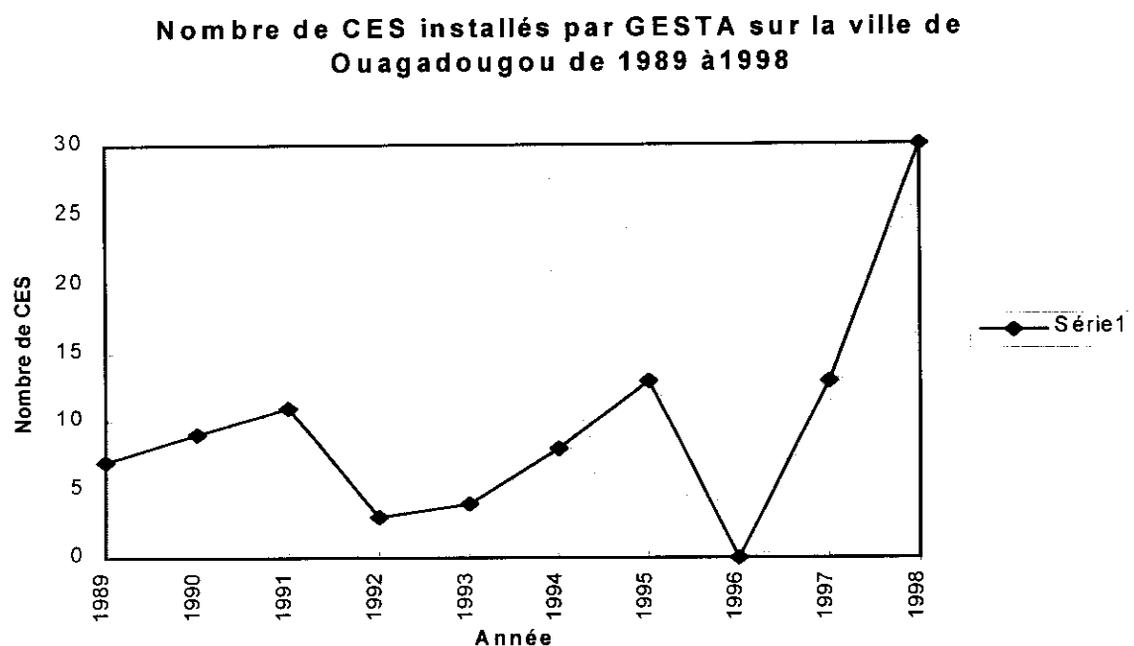
Les chauffe-eau solaires rencontrés dans la ville de Ouagadougou ont été installés, à quelques exceptions près, par l'ONG ATESTA ou par des ateliers constitués de ses anciens ouvriers.

Nous avons pu recueillir les données suivantes auprès de l'atelier GESTA, qui a installé depuis 1989 plus de 60% de chauffe-eau solaires dans la ville de Ouagadougou.

Nous ne mentionnons que les CES installés à Ouagadougou.

Année	Nombre de CES installés	Type
1989	6	CFE 200l
	1	CFE 100l
1990	8	CFE 300l
	1	CITE 100l
1991	10	CFE 300l
	1	réservoir 50l
1992	3	CFE 200l
1993	1	CFE 600l
	3	CITE 100l
1994	2	CFE 600l
	5	CFE 300l
	1	CFE 100l
1995	8	CFE 300l
	4	CFE 100l
	1	CFE 200l
1996	pas de marché à Ouagadougou	
1997	10	CFE 300l
	3	CITE 100l
1998	22	CFE 400l
	5	CFE 200l
	2	CFE 300l
	1	CITE 100l
1999	pas de nouvelle commande jusque-là	
TOTAL	98	tous types confondus

On peut donc tracer la courbe suivante :



Il ne nous a pas été possible d'obtenir le nombre total de chauffe-eau solaires installés dans la ville de Ouagadougou. On peut néanmoins supposer qu'il y a moins de 300 car ce total de 98 est de GESTA qui a installé plus de 60% de ces appareils depuis 1989. Ce qui donne approximativement 160 chauffe-eau solaires installés pendant cette période.

Cependant, étant donné qu'il n'y avait que l'IBE et ATESTA qui avaient installés ces appareils avant 1989, on peut supposer que le nombre total ne peut excéder 150 car les premières installations réalisées par ATESTA remontent à 1981.

Ces chiffres montrent d'autre part que le nombre de chauffe-eau solaires installés chaque année à Ouagadougou est de loin inférieur à celui des chauffe-eau électriques importés.

III. ANALYSE ÉCONOMIQUE SOMMAIRE

3.1 PRÉLIMINAIRES :

Nous allons déterminer les dépenses à effectuer pour obtenir un même niveau de service pour une personne utilisant un chauffe-eau solaire et pour une autre utilisant un chauffe-eau électrique.

Nous considérerons le cas d'une famille de 4 personnes, puis celle d'une famille de 6 personnes consommant chacune 25 litres d'eau chaude par jour.

Ces calculs permettront de déterminer dans chaque cas de figure le prix de revient du chauffage de 1m³ d'eau.

Hypothèses

- Les calculs seront menés en supposant que le besoin d'eau chaude est nul pendant les deux mois les plus ensoleillés de l'année (Mars et Avril).
- Les chauffe-eau solaires sont dimensionnées pour une énergie correspondant au mois le moins ensoleillé de l'année, c'est-à-dire celui de novembre. L'irradiation moyenne journalière de ce mois est de 4kwh/m².jour.
- L'eau est chauffée de 25°C à 60°C.
- Les frais d'entretien des deux chauffe-eau sont négligés.
- La durée de vie du chauffe-eau solaire est de 10ans et celle du chauffe-eau électrique de 5ans.
- Le taux d'actualisation est pris égal au taux d'intérêt accordé par les banques pour un emprunt. Il varie de 11% à 12% ; nous prendrons 11%.
- on considère un CEE dont le rendement est de 95%
- le prix du kwh d'électricité sera de 86frs.
- le coût d'acquisition d'un chauffe-eau électrique de 50 litres sera de 180.000frs et celui de 100litres sera de 235.000frs.

3.2 CALCULS ÉCONOMIQUES

3.2.1 Famille de 4 personnes

a) Cas du chauffe-eau solaire

- Les besoins C en kwh/jour sont donnés par la formule

$$C=0.0011611 \times V \times (T_c- T_f) ;$$

V=25 litres/pers /jour x 4 pers = 100 litres/jour

T_c= température désirée ; dans le cas d'espèce elle est de 60°C

T_f= température de l'eau froide ; ici on la prend à 25°C

On obtient C = 4kwh/j

- La surface de capteur requise est donnée par la formule

$$S=(1/ \text{rend.syst.}) \times \text{fraction de C} / E ;$$

la fraction des besoins couverts est de 50% ;

E=4 kwh/m² ;

le rendement du système est de 30%.

On trouve dans ces conditions S=(1/0.3) x 0.5 x 4/4= 1.67 m² de capteur.

Ainsi un module de 100 litres suffit car les surfaces de capteur sont de 2m² pour le CFE et de 1.92m² pour le CITE.

1^{er} cas : chauffe-eau solaire avec échangeur de chaleur (CFE)

- coût départ atelier : 535.000frs
- frais d'installation : 10.000frs
- dépenses d'exploitation : nulles
- volume total d'eau à chauffer : 25litres/pers/jour x 4pers x 30jours x 10mois =30.000litres, soit 30m³/an.

Le prix de revient d'1 m³ d'eau sera déterminé par la formule

$$PR = \frac{I_0 \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} + D}{Q} ;$$

$I_0=545.000\text{frs}$

$D=0$

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

$i=11\%$ et $n=10$ ans.

On trouve **PR = 3252frs.**

2^{ème} cas : chauffe-eau monobloc (CITE)

Seul le coût d'acquisition change ; $I_0 = 385.000\text{frs}$

On trouve

PR= 2179frs.

b) Cas du chauffe-eau électrique

- L'énergie nécessaire pour le chauffage de l'eau est $Q= C \text{ kwh/jour} \times 30 \text{ jours} \times 10 \text{ mois} = 1200 \text{ kwh}$;
- l'énergie marquée au compteur sera de $E = Q/ 0.95$
 $E = 1263 \text{ kwh}$
- les dépenses d'électricité annuelles seront de :
 $D = 1263 \text{ kwh} \times 86\text{Frs} = 108.618\text{frs.}$
- on rappelle que la durée de vie de l'appareil est de 5 ans alors que l'analyse est faite sur 10 ans.

Cela étant, on trouve le prix de revient en utilisant la formule :

$$PR = \frac{I_0 + D_1(1+i)^{-1} + \dots + D_{10}(1+i)^{-10}}{Q_1(1+i)^{-1} + \dots + Q_{10}(1+i)^{-10}} ; \text{ autrement dit :}$$

$$PR = \frac{I_0 + I_0(1+i)^{-6} + D \frac{1 - (1+i)^{-10}}{i}}{Q \frac{1 - (1+i)^{-10}}{i}} . \text{ D'où : PR= 5184frs}$$

3.2.2 Famille de six (6) personnes

a) Cas du chauffe-eau solaire

- Les besoins C en kwh/jour sont donnés par la formule

$$C=0.0011611 \times V \times (T_c- T_f) ;$$

V=25litres/pers/jour x 6 pers = 150 litres/jour

T_c= température désirée ; dans le cas d'espèce elle est de 60°C

T_f= température de l'eau froide ; ici on la prend à 25°C

On obtient C = 6kwh/j

- La surface de capteur requise est donnée par la formule

$$S=(1/ \text{rend.syst.}) \times \text{fraction de C} / E ;$$

la fraction des besoins couverts est de 50% ;

E=4 kwh/m² ;

le rendement du système est de 30%.

On trouve dans ces conditions S=(1/0.3) x 0.5 x 6/4= 2.5m² de capteur.

Ainsi il faut prendre deux modules de 100 litres pour le CITE et un module de 200 litres pour le CFE.

1^{er} cas : chauffe-eau solaire avec échangeur de chaleur (CFE)

- coût départ atelier : 775.000frs
- frais d'installation : 10.000frs
- dépenses d'exploitation : nulles
- volume total d'eau à chauffer : 25 litres/jour/pers x 6 pers x 30 jours x 10 mois =45.000litres, soit 45m³/an.

Le prix de revient d'1 m³ d'eau sera déterminé par la formule

$$PR = \frac{I_0 \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} + D}{Q} ;$$

I₀=785.000frs

D=0

Q=45m³

i=11% et n=10 ans.

On trouve **PR = 2962frs.**

2^{ème} cas : chauffe-eau monobloc (CITE)

Seul le coût d'acquisition change ; $I_0 = 760.000$ frs.

On trouve

PR= 2868frs.

b) Cas du chauffe-eau électrique

- L'énergie nécessaire pour le chauffage de l'eau est $Q = C \times 10 \times 30 = 1800$ kwh ;
- l'énergie marquée au compteur sera de $E = Q / 0.95$
 $E = 1895$ kwh
- les dépenses d'électricité annuelles seront de :
 $D = 1895 \times 86 = 162.970$ frs.
- on rappelle que la durée de vie de l'appareil est de 5 ans alors que l'analyse est faite sur 10 ans.

Cela étant, on trouve le prix de revient en utilisant la formule :

$$PR = \frac{I_0 + I_0(1+i)^{-6} + D \frac{1 - (1+i)^{-10}}{i}}{Q \frac{1 - (1+i)^{-10}}{i}} . \text{ D'où : } \mathbf{PR = 4982frs.}$$

En définitive, on a la situation suivante :

a) Pour une famille de quatre personnes

	CBE	CDS type CITE	CDS type CITE
Coût d'acquisition et d'installation	180.000frs	385.000frs	545.000frs
Dépenses d'exploitation	108.618frs	0	0
Durée de vie	5 ans	10 ans	10 ans
Prix de revient	5184frs	2179frs	3252frs

b) Pour une famille de six personnes

	CEE	CES type CITE	CES type CPE
Coût d'acquisition et d'installation	235.000frs	760.000frs	735.000frs
Dépenses annuelles d'exploitation	162.970frs	0	0
Durée de vie	5 ans	10 ans	10 ans
Prix de revient	4982frs	2868frs	2962frs

On constate que le chauffe-eau solaire est beaucoup plus économique que le chauffe-eau électrique. Le modèle CITE revient par exemple deux fois moins cher que le CEE pour une famille de 4 personnes.

CONCLUSION

Au terme de notre étude, nous pouvons affirmer que le besoin en eau chaude sanitaire existe bel et bien au sein des populations de la ville de Ouagadougou. Nous affirmons aussi que le chauffe eau solaire est plus économique que le chauffe-eau électrique. Le prix de revient du chauffage de 1m³ d'eau par un chauffe-eau solaire est de 1.5 à 2 fois moins cher qu'avec un chauffe-eau électrique.

La technologie y relative est effectivement éprouvée et fiable. Exceptés les éventuels défauts de réalisation ou de mise en oeuvre (mauvais positionnement du capteur, épaisseur insuffisante d'isolant, etc.), les températures atteintes sont satisfaisantes pour l'usage à faire de cette eau chaude.

La faible utilisation du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou (1 CES pour 3000 habitants) s'explique à notre sens par les raisons suivantes :

1. un manque d'informations techniques et commerciales à l'endroit du public. En effet très peu de gens connaissent les performances techniques et le coût d'acquisition de cet appareil ;
2. le non suivi des consignes techniques de la part des utilisateurs . En effet très peu d'utilisateurs de chauffe-eau solaires connaissent la taille de leur système comme il y en a très peu qui suivent les consignes d'entretien. Il en résulte un fonctionnement en deçà de l'optimum et donc une baisse du niveau de satisfaction de ces utilisateurs.
3. la mauvaise réalisation de quelques installations ; ce qui a engendré une contre publicité. En effet deux hôtels ayant des installations solaires pour la production d'eau chaude ont dû abandonner pour recourir aux chauffe-eau électriques.
4. le coût élevé de l'investissement initial et le mode de paiement inadapté. En effet, en l'état actuel des choses

l'utilisateur du chauffe-eau solaire est amené à dépenser, par avance et en un seul versement, sa consommation énergétique de plusieurs années.

Nous sommes heureux d'avoir travaillé sur un sujet se rapportant à des enquêtes. Outre la méthode à suivre pour mener le travail, nous avons beaucoup appris en ce qui est de la nécessité d'humilité à avoir en recherchant les informations.

SUGGESTIONS

Pour une meilleure diffusion du chauffe-eau solaire dans la ville de Ouagadougou nous suggérons ce qui suit :

1. Intensifier la mise à disposition du public des informations techniques et commerciales relatives à cet appareil. En plus des canaux traditionnellement employés (SIAO, radios, etc.), il nous semble plus indiqué d'insister sur la presse écrite. Cependant, sous réserve de trésorerie, une publicité à la télévision nationale serait un excellent moyen pour l'information du plus grand nombre.
2. Initier de manière formelle une collaboration véritable avec les différents acteurs du bâtiment, notamment les bureaux d'études et les cabinets d'architecture. Cela aura l'avantage de concevoir le bâtiment en prévoyant l'emplacement du capteur. Ce qui aura le double avantage de réduire les coûts d'installation et d'assurer un fonctionnement optimal du chauffe-eau solaire.
3. Les artisans installateurs (GESTA et AFRIMES) doivent systématiquement recourir au concepteur (ATESTA) avant de réaliser des installations complexes (cas des hôtels). Cela évitera de créer d'autres cas déplorables du genre Hôtel Rayi's ou Central Hôtel qui semblent constituer des facteurs d'inhibition ou de méfiance à l'égard de cet appareil.
4. Les technologies solaires thermiques ayant des avantages considérables sur les plans écologiques et humain, il serait souhaitable que l'Etat encourage ce secteur par des abattements fiscaux sur certains matériaux de fabrication ou en développant une politique de crédit abaissant le coût de l'investissement initial.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- A.I.C.V.F., *L'eau chaude sanitaire solaire*, 1985, Pyc Edition-Paris, 47 pages.
- 2- A.F.M.E, *Eau chaude solaire*, sous la direction de Michel RUBINSTEIN
- 3- BENALLOU Abdelhanine et BOUGARD Jacques, *Le solaire thermique au service du développement durable*, RIES, 166 pages.
- 4- CABIROL Thierry, PELISSOU Albert, ROUX Daniel, *Le chauffe-eau solaire*, EDISUD, Aix-en-Provence, 1976, 159 pages.
- 5- CELAIRE Robert, *Les chauffe-eau solaires capteurs-stockeurs*, GRET/GERES/SYNOPTIS, Janvier 1987, 228 pages.
- 6- COULIBALY Yézouma, *Sources d'énergie*, EIER, 1990.
- 7- JANNOT Yves, *Thermique solaire*, EIER , Mars 1993.
- 8- FOGANG Henri, « Etude de l'adaptation des chauffe-eau solaires installés par l'ONG ATESTA sur Ouagadougou », Mémoire de fin d'études, EIER, 1991.
- 9- *Formation à l'exploitation de l'énergie solaire*, ESIM, Collection Technologies et Développement n°4.

ANNEXES

ANNEXE 1 : DIFFERENTES APPLICATIONS DU SOLAIRE THERMIQUE

1. Les capteurs thermiques à basse et moyenne température :

Il s'agit de systèmes captant directement l'énergie diffuse et directe du soleil afin de produire une énergie thermique à basse température. Cette catégorie de capteurs se caractérise par une technologie simple, sans système de poursuite du soleil. Leur usage est largement répandu en systèmes relativement petits, proche du point d'utilisation de l'énergie thermique produite.

1.1 Les capteurs plans :

Ils peuvent fournir l'eau chaude domestique, chauffer l'eau d'une piscine, réchauffer l'espace résidentiel ou commercial, chauffer l'air de ventilation des édifices commerciaux et industriels dans les climats froids. Ces capteurs peuvent chauffer l'eau jusqu'à des températures d'environ 60°C avec une efficacité variant de 40 à 50%.

1.2 Capteurs à tubes sous vide :

Ils utilisent le vide comme isolant thermique pour minimiser les pertes de chaleur. Ces capteurs sont plus efficaces que les capteurs plans avec un rendement de 50 à 70% et ils peuvent fournir une plus haute température allant jusqu'à 150°C.

Grâce à leur capacité à fournir de plus hautes températures, les capteurs sous vide peuvent s'adresser aux mêmes applications que les capteurs plans en étant plus efficaces pour une plus large gamme d'applications commerciales et industrielles. Ces capteurs sont également utilisés avec les systèmes à absorption pour climatiser les édifices et permettre la réfrigération des aliments.

2. Cuiseurs solaires :

Les cuiseurs ou cuisinières solaires utilisent l'énergie solaire, souvent en concentration faible, pour cuire les aliments. Ils sont généralement de deux sortes :

- le cuiseur type " boîte isolée " utilise une plaque de verre double pour laisser passer l'énergie solaire sur le chaudron utilisé comme corps absorbant.
- le cuiseur type parabolique concentre les rayons solaires sur un point focal localisé sous le chaudron.

Ces cuiseurs ne peuvent être utilisés que le jour, lorsqu'il y a un bon ensoleillement. Les températures de cuisson sont relativement faibles (entre 125 et 175°C) , les temps de cuisson longs et le goût des aliments est différent.

3. Distillateur solaire :

On les utilise pour dessaler l'eau de mer ou pour purifier les eaux saumâtres. On se sert d'un couvercle incliné transparent pour isoler le système et condenser l'eau évaporée. Cette eau est recueillie par ruissellement dans une rigole sur le bord inférieur du couvercle.

Dans de bonnes conditions d'ensoleillement journalier, de l'ordre de 6 kWh/m².jour, la production d'eau douce tourne autour de 4 litres/m².

4. Les séchoirs solaires :

On utilise facilement le soleil pour sécher des plantes, des fruits, des légumes, de la viande ou du bois grâce à l'air chauffé dans des capteurs plans.

5. Les pompes solaires :

On utilise l'énergie du soleil pour pomper l'eau d'un forage ou d'un barrage pour alimenter des villages ou le bétail dans des zones arides.

6. Les réfrigérateurs solaires :

Le principe de fonctionnement est le suivant : un réservoir contenant une solution d'eau (le solvant) et d'ammoniac (le réfrigérant) et un capteur solaire forme une boucle à circulation naturelle. Pendant la journée, la chaleur solaire produite par le capteur provoque l'évaporation du réfrigérant sous haute pression (environ 10 bars), sa condensation grâce à l'air ambiant diurne puis son stockage dans un réservoir tampon. Pendant la nuit, la boucle réservoir-capteur se refroidit et voit sa pression diminuer fortement jusqu'à 2-3 bars. Cette importante

chute de pression permet au réfrigérant liquide de se détendre, ce qui provoque son refroidissement et le maintien à basse température de la chambre froide. Après évaporation, le réfrigérant retourne vers le réservoir principal.

7. Les fours solaires :

Ils concentrent le rayonnement solaire et on peut atteindre de très haute température, de l'ordre de 3000°C. On peut produire des matériaux ultra réfractaires de très grande pureté.

ANNEXE 2 : L'EFFET DE SERRE

Le verre a la propriété d'être presque parfaitement transparent pour les longueurs d'onde inférieures à 3 microns (notamment pour le rayonnement visible) et presque complètement opaque pour les longueurs d'onde supérieures (c'est le cas du rayonnement thermique) : cette propriété du verre s'appelle " l'effet de serre " .

D'autres matériaux plastiques transparents utilisés dans les applications de l'énergie solaire réalisent également l'effet de serre : on les appelle couvertures transparentes ou vitrages . Cette propriété du verre est essentielle pour son utilisation dans le domaine de l'énergie solaire, car elle permet de " piéger " cette énergie selon le processus décrit ci-après.

Lorsque l'on place un corps appelé absorbeur dans une enceinte isolée recouverte d'un vitrage soumis au rayonnement solaire, on peut schématiser l'échange d'énergie de la manière suivante :

- l'essentiel du rayonnement solaire traverse le verre sans être absorbé ou réfléchi, car la transmissivité du verre est élevée;
- l'absorbeur absorbe l'essentiel de ce rayonnement car son absorbtivité est élevée;
- il y a réémission d'un rayonnement par l'absorbeur dans le domaine des grandes longueurs d'onde (infrarouge lointain), la température de l'absorbeur étant de l'ordre d'une centaine de degrés Celsius au maximum ;
- le vitrage absorbe la quasi totalité de ce rayonnement thermique car le verre est opaque à ce rayonnement
- cette plaque de verre réémet de l'énergie à son tour dans le domaine de l'infrarouge en partie vers l'intérieur et en partie vers l'extérieur et ainsi de suite

Un tel dispositif permet de piéger le rayonnement solaire et le piège ainsi constitué est appelé capteur solaire ou convertisseur héliothermique. On peut améliorer cet effet de serre , c'est-à-dire retenir une fraction plus importante de l'énergie incidente en plaçant deux vitrages (ou davantage) l'un sur l'autre en les séparant par une couche d'air . La rétention de chaleur est

meilleure grâce à cette deuxième barrière à rayonnement thermique (le deuxième vitrage) et au matelas d'air entre les deux vitrages . Néanmoins, le rayonnement solaire transmis jusqu'à l'absorbeur est également moindre dans ce cas en raison des phénomènes de réflexion et de d'absorption au niveau de chaque couche.

Le verre à vitre par exemple a un facteur de transparence égal à 0.87 environ, c'est-à-dire que seulement 87% du rayonnement solaire le traverse. Si on a deux vitres, la transparence globale des deux vitres n'est plus que de

$$0.87 \times 0.87 = 0.757$$

L'absorbeur ne reçoit plus que les trois quarts du rayonnement solaire. Si l'on rajoute encore une vitre, la transparence n'est plus que de 0.658 !

Le choix du nombre de vitrages pour une application donnée dépend de nombreux paramètres et contraintes techniques et économiques. Avant de rajouter une vitre, il faut donc savoir si ce qu'on perd en transparence est compensé par ce qu'on récupère par effet de serre supplémentaire.

ANNEXE 3 : QUELQUES VALEURS D'ENSOLEILLEMENT

Table : Energie globale reçue en moyenne du soleil sur un plan horizontal en kwh/m² par jour pour chaque mois

VILLE	MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ouagadougou (1)		4.25	4.89	4.98	5.03	5.03	4.78	4.54	4.4	4.77	4.79	4.39	4.09
Dakar (2)		5.20	5.93	6.99	7.02	6.95	6.51	5.78	5.10	5.42	5.5	5.00	4.87
Djakarta (2)		4.19	4.43	4.64	4.59	4.34	4.19	4.50	4.94	5.23	4.89	4.60	4.29
Le Caire (2)		3.36	4.40	5.83	6.76	7.20	7.58	7.43	6.96	6.13	4.86	3.58	3.08
Jodhpur (Inde) (2)		4.78	5.59	6.51	7.34	7.92	7.92	6.17	5.59	6.28	5.92	5.12	4.42
Bogota (2)		5.25	5.16	4.85	4.35	4.37	4.56	4.72	4.79	4.81	4.12	4.48	4.65

SOURCES :

(1) : Yézouma COULIBALY, Godefroy THIOMBIANO et Yves TRAORE, Sud Sciences et Technologies N°2, Juillet 1998 « climat et confort thermique »

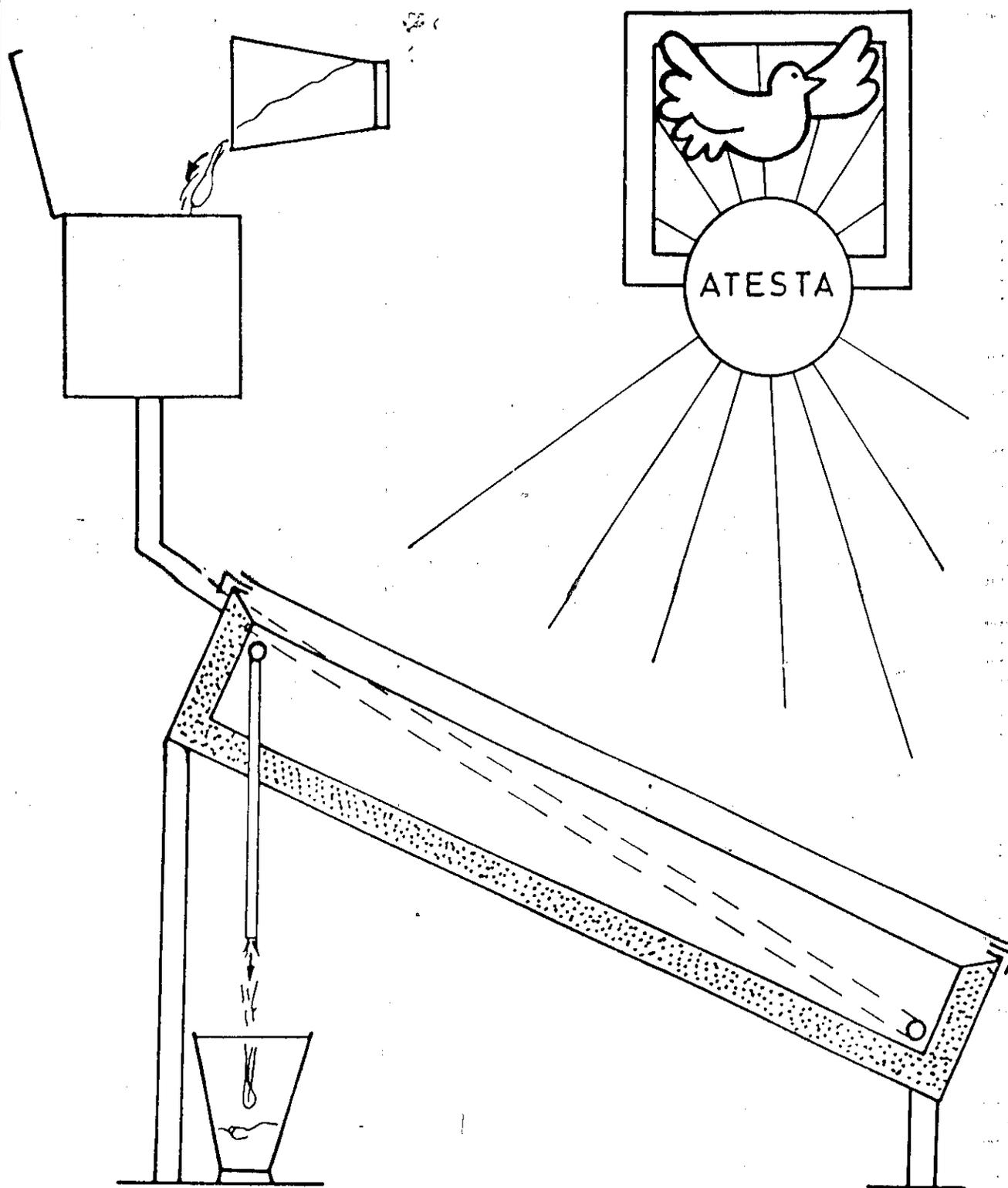
(2) : Théodore FOGELMAN, « Systèmes photovoltaïques pour les pays en voie de développement », Ministère des Relations extérieures, France, 1983.

ANNEXE 4 : SCHÉMAS DE PRINCIPE DES CES

ANNEXE 5 : QUESTIONNAIRES D'ENQUÊTES

ANNEXES 6 : FICHE DE DÉPOUILLEMENT

ANNEXE DE PUBLICITE : SCHEMA DE PRINCIPE DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE CAPTEUR STOCKEUR (OU RESERVOIR)

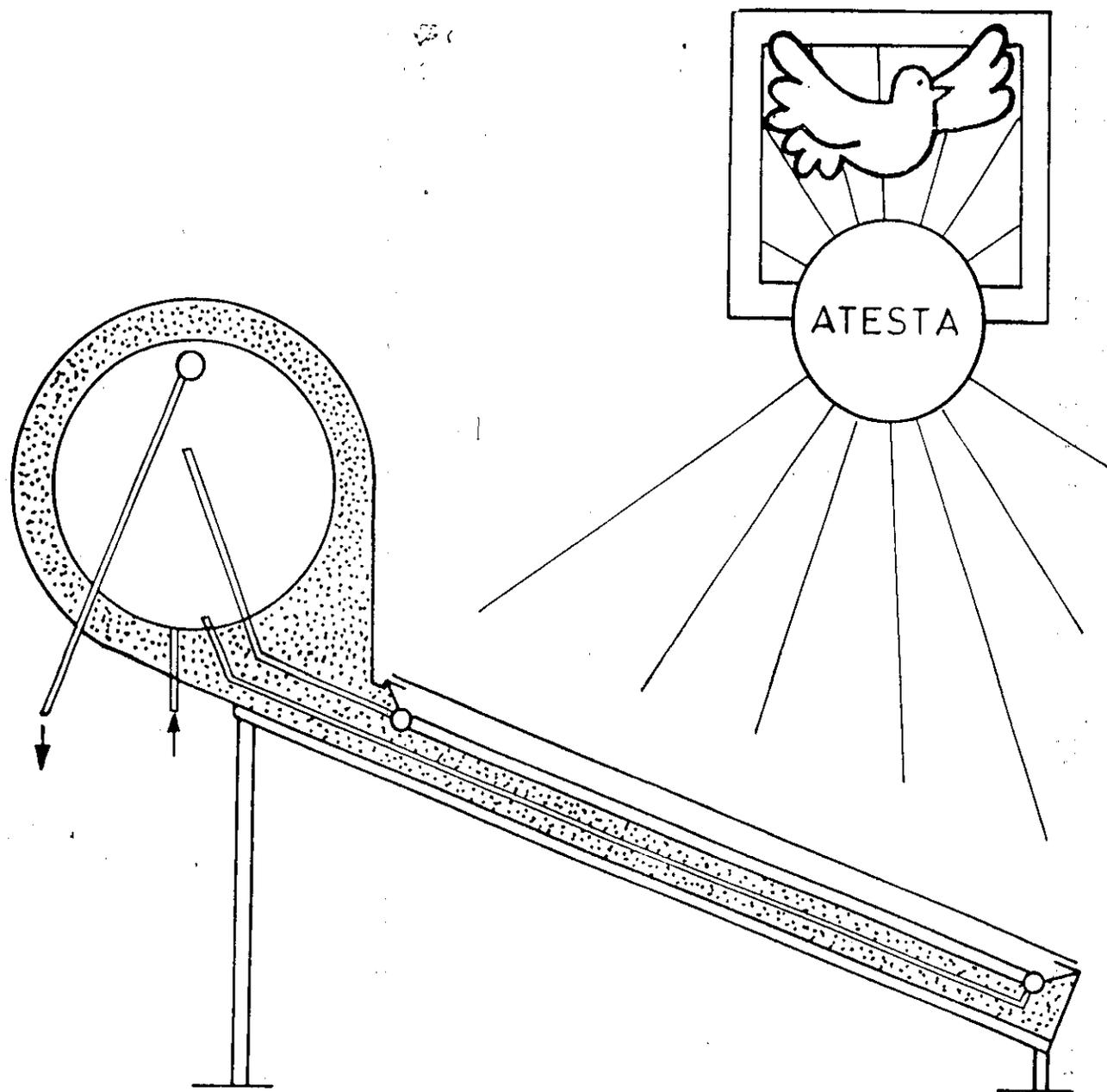


Il se constitue d'une caisse métallique isolée, placée sous un vitrage. Durant la journée l'eau contenue dans la caisse s'échauffe sous l'action du soleil.

Ce type de capteur procure de l'eau à 60°C le soir. Les pertes thermiques sont importantes durant la nuit.

C'est le chauffe-eau le plus simple et le moins cher.

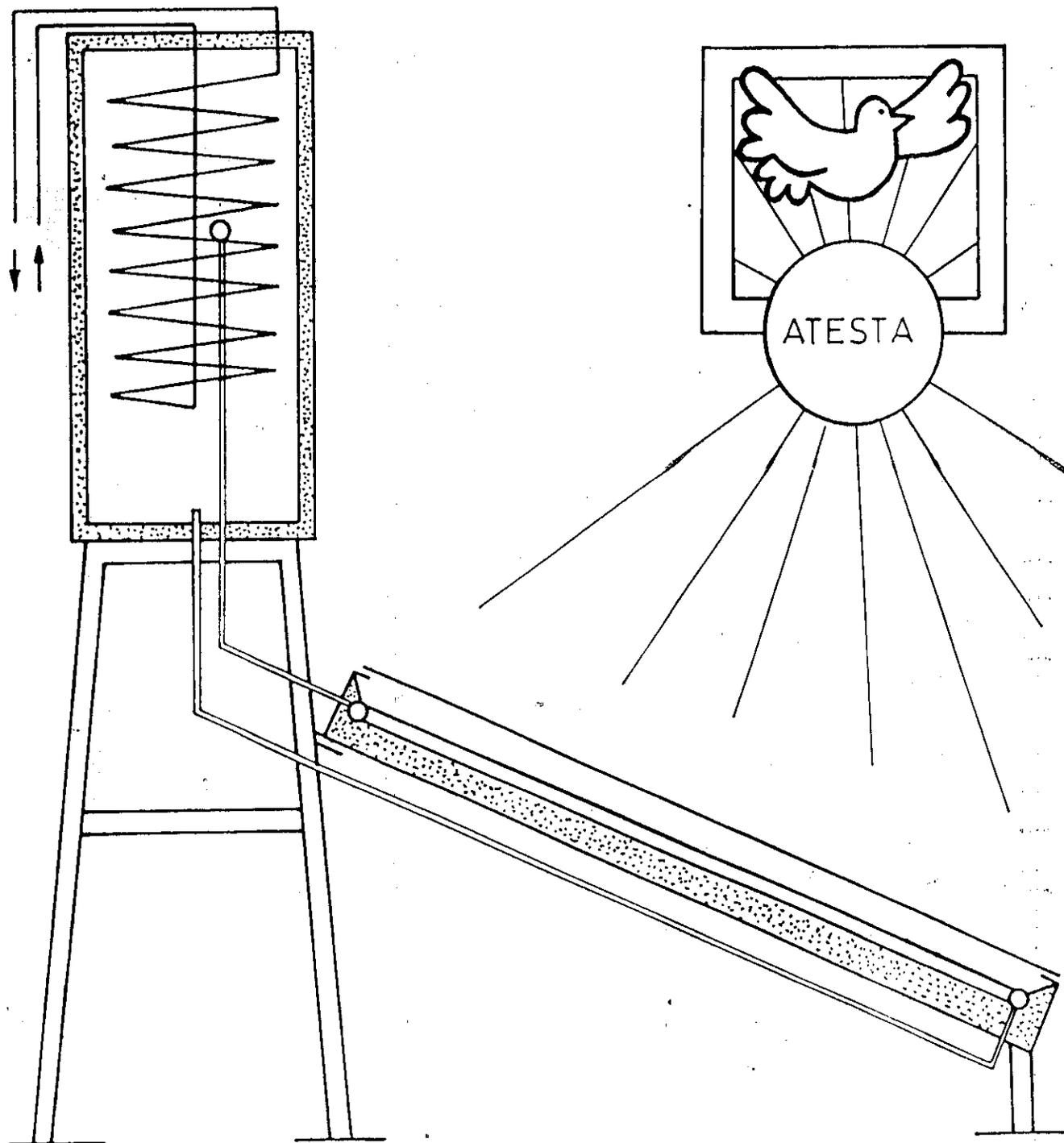
ANNEXE DE PUBLICITE : SCHEMA DE PRINCIPE DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE MONOBLOC (OU TYPE CITE)



Ce chauffe-eau comprend un seul circuit où l'eau circule de l'insolateur vers le stock isolé puis vers le robinet.

Il se présente en module de 100L qui peuvent se raccorder pour constituer un chauffe-eau de capacité répondant à vos besoins. Sa conception simple en fait le chauffe-eau le plus avantageux.

ANNEXE DE PUBLICITE : SCHEMA DE PRINCIPE DU CHAUFFE-EAU
SOLAIRE A ELEMENTS SEPARES (OU CLASSIQUE)



Il comprend 2 circuits séparés. Le circuit capteur où l'eau circule de l'insolateur au stock.

Le circuit de l'échangeur où l'eau vient se chauffer avant de partir vers le robinet.

Cette conception en fait le chauffe-eau le plus robuste.

(adressé aux personnes détentrices de chauffe-eau solaires)

I- Identification

- 1- Nom du chef de famille :
- 2- Profession :
- 3- Profession de l'épouse :

II- Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires

- 4- Pourquoi utilisez-vous un chauffe-eau solaire ?

III- Acquisition et installation

- 5- Depuis combien de temps utilisez-vous votre chauffe-eau solaire ?

- 6- Avez-vous des problèmes de maintenance ?

oui non

- 7- Si oui , depuis combien de temps et quelle est la panne la plus fréquente?

- 8- En cas de panne , à qui vous référez-vous et combien payez-vous (en FCFA) ?

- 9- Combien de personnes utilisaient votre chauffe-eau au début de son fonctionnement ?

Combien l'utilisent actuellement ?

III- Niveau de satisfaction

10-La température de l'eau chaude correspond-elle au moment de son utilisation à vos souhaits ?

oui non

11-Pendant les périodes de faible ensoleillement, avez-vous votre eau chaude à la température souhaitée ?

oui non

12-Êtes-vous satisfait de votre chauffe-eau ?

oui non

Pourquoi ?

13- Quelle est la capacité de votre réservoir ?

14- Combien de fois lavez-vous votre capteur(vitre) par mois ?

15- Vos amis vous demandent-ils des informations sur votre chauffe-eau solaire ?

oui non

16- Si oui , quel a été l'avis que vous leur avez donné sur le chauffe-eau solaire ?

17- Quelles observations pouvez-vous faire sur le chauffe-eau solaire ?

QUESTIONNAIRE

(adressé aux établissements détenteurs de chauffe-eau solaires)

I- Identification

1- Nom de l'institution :

2- Effectif du personnel :

II- Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires

3- Pourquoi utilisez-vous un chauffe-eau solaire ?

III- Acquisition et installation

4- Depuis combien de temps utilisez-vous votre chauffe-eau solaire ?

5- Avez-vous des problèmes de maintenance ?

oui non

6- Si oui, depuis combien de temps et quelle est la panne la plus fréquente ?

7- En cas de panne, à qui vous référez-vous et combien payez-vous (en FCFA) ?

8- Quelle était votre consommation journalière d'eau chaude au début du fonctionnement de votre chauffe-eau solaire (en m³) ?

Quelle quantité utilisez-vous actuellement par jour (en m³) ?

III- Niveau de satisfaction

9-La température de l'eau chaude correspond-elle au moment de son utilisation à vos souhaits ?

oui non

10-Pendant les périodes de faible ensoleillement, avez-vous votre eau chaude à la température souhaitée ?

oui non

11- Etes-vous satisfait de votre chauffe-eau solaire ?

oui non

Pourquoi ?

12- Quelle est la capacité de votre réservoir ?

13- Combien de fois lavez-vous votre capteur(vitre) par mois ?

14-Vos amis vous demandent-ils des informations sur votre chauffe-eau solaire ?

oui non

15- Si oui, quel a été l'avis que vous leur avez donné sur le chauffe-eau solaire ?

16- Quelles observations pouvez-vous faire sur le chauffe-eau solaire ?

QUESTIONS

(adressé aux établissements potentiellement utilisateurs de chauffe-eau solaires)

I- Identification

- 1- Nom de l'institution :
- 2- Effectif du personnel :

II- Besoins en eau chaude

3- Pour quel usage utilisez-vous l'eau chaude ?

bain

toilette

vaisselle

lessive

autre (précisez)

4- Quelle quantité d'eau chaude utilisez-vous par jour pendant les différentes saisons ?

Harmattan

Saison chaude

Saison pluvieuse

5- Qu'est-ce que vous utilisez pour chauffer votre eau ?

bois gaz électricité

Pourquoi ?

6- Combien dépensez-vous par mois pour le chauffage de l'eau ?

III- Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires

7- Savez-vous qu'il existe un appareil sur le marché produisant de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire ?

oui non

8-Si oui, depuis combien de temps en avez-vous entendu parlé ?

Par qui ?

Où ?

9-Envisagez-vous d'en posséder ?

oui non

Si non, pourquoi ?

Si oui, quand ?

IV- Proposition sur l'acquisition

10- Adopteriez-vous un chauffe-eau solaire si on vous offrait un mode de paiement échelonné ?

oui non

11- Si oui, indiquez la durée d'échelonnement et le montant total que vous accepterez dépenser pour son acquisition.

12- Quelles observations pouvez-vous faire sur le chauffe-eau solaire ?

(adressé aux utilisateurs potentiels des chauffe-eau solaires)

I- Identification

- 1- Nom du chef de famille :
- 2- Profession :
- 3- Profession de l'épouse :

II- Besoins en eau chaude

4- Utilisez-vous souvent de l'eau chaude au cours de l'année ?
oui non

5- Si oui, pour quel usage utilisez-vous cette eau chaude ?

bain

toilette

vaisselle

autre (précisez)

6-Quelle quantité d'eau chaude utilisez-vous par jour pendant les différentes saisons?

Harmattan

Saison chaude

Saison pluvieuse

7- Qu'est-ce que vous utilisez pour chauffer votre eau ?

bois

gaz

électricité

Pourquoi ?

8-Combien dépensez-vous par mois pour le chauffage de l'eau ?

III- Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires

9- Savez-vous qu'il existe un appareil sur le marché produisant de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire ?

oui non

10-Si oui, depuis quand en avez-vous entendu parlé ?

Par qui ?

Où ?

11- Envisagez-vous d'en posséder ? oui non

Si non , pourquoi ?

Si oui , quand ?

IV- Proposition sur l'acquisition

12- Adopteriez-vous un chauffe-eau solaire si on vous offrait un mode de paiement échelonné ?

oui non

13- Si oui , indiquez la durée d'échelonnement et le montant total que vous accepterez de dépenser pour son acquisition .

14- Quelles observations pouvez-vous faire sur le chauffe-eau solaire ?

2.2.1 PERSONNES DETENTRICES DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES

• Niveau d'information sur le chauffe-eau solaire

1. Pourquoi utilisez-vous un chauffe-eau solaire ?

	Parce qu'il est déjà installé	Parce qu'il est économique	Total
Nombre	7	14	21
Pourcentage	33%	67%	100%

• Acquisition et installation

2. Depuis combien de temps fonctionne votre chauffe-eau solaire ?

	moins de 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Plus de 10 ans	Total
Nombre	9	9	3	21
Pourcentage	43%	43%	14%	100%

3. Y a-t-il des pannes ?

	oui	non	Total
Nombre	1	20	21
Pourcentage	5%	95%	100%

• Niveau de satisfaction

4. L'eau chaude est-elle à la température souhaitée au moment de son utilisation ?

	oui	non	Total
Nombre	20	1	21
Pourcentage	95%	5%	100%

5. Pendant les périodes de faible ensoleillement, est-elle toujours à la bonne température ?

	oui	non	Total
Nombre	10	11	16
Pourcentage	48%	52%	100%

6. Etes-vous satisfait de votre chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	17	4	21
Pourcentage	81%	19%	100%

7. Quelle est la capacité de votre réservoir ?

	je ne sais pas	100 l ou 200 l	Total
Nombre	12	9	21
Pourcentage	57%	43%	100%

8. Combien de fois lavez-vous votre capteur par mois ?

	Aucune fois	une ou deux fois par an	au moins une fois par trimestre	Total
Nombre	9	8	4	21
Pourcentage	43%	38%	19	100%

9. Vos amis vous demandent-ils des informations sur le chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	11	10	21
Pourcentage	52%	48%	100%

10. Si oui, quel avis leur avez-vous donné ?

	favorable	défavorable	Total
Nombre	10	1	11
Pourcentage	81%	19%	100%

9. Que pensez-vous du chauffe-eau solaire ?

	coût d'acquisition élevé	bon investissement	Total
Nombre	5	16	16
Pourcentage	24%	76%	100%

2.2.2 ETABLISSEMENTS DETENEURS DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES

• Niveau d'information sur le chauffe-eau solaire

1. Pourquoi utilisez-vous un chauffe-eau solaire ?

	Parce qu'il est déjà installé	Parce qu'il est économique	Total
Nombre	0	10	10
Pourcentage	0	100%	100%

• Acquisition et installation

2. Depuis combien de temps fonctionne votre chauffe-eau solaire ?

	moins de 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Plus de 10 ans	Total
Nombre	5	2	3	10
Pourcentage	50%	20%	30%	100%

3. Y a-t-il des pannes ?

	oui	non	Total
Nombre	2	8	10
Pourcentage	20%	80%	100%

• Niveau de satisfaction

4. L'eau chaude est-elle à la température souhaitée au moment de son utilisation ?

	oui	non	Total
Nombre	9	1	10
Pourcentage	90%	10%	100%

5. Pendant les périodes de faible ensoleillement, est-elle toujours à la bonne température ?

	oui	non
Nombre	5	5
Pourcentage	50%	50%

6. Etes-vous satisfait de votre chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	8	2	10
Pourcentage	80%	20%	100%

7. Quelle est la capacité de votre réservoir ?

	Inconnue	Connue	Total
Nombre	4	4	8
Pourcentage	50%	50%	100%

NB : 2 Hôtels ne sont pas pris en compte pour cette question.

8. Combien de fois lavez-vous votre capteur par mois ?

	Aucune fois	Régulièrement	tous les 2 mois	Total
Nombre	4	3	1	8
Pourcentage	50%	37.5	12.5%	100%

9. Vos amis vous demandent-ils des informations sur le chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	5	5	10
Pourcentage	50%	50%	100%

10. Si oui, quel avis leur avez-vous donné ?

	favorable	défavorable	Total
Nombre	5	0	5
Pourcentage	100%	0	100%

11. Que pensez-vous du chauffe-eau solaire ?

	bon outil mais il est cher	bon investissement (pas de panne ni de facture d'électricité)	Pas adapté pour un grand nombre d'utilisateurs	Total
Nombre	2	6	2	10
Pourcentage	20%	60%	20%	100%

2.2.3 ETABLISSEMENTS NE POSSEDANT PAS DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES**• Moyen de chauffage utilisé**

	gaz	électricité (CEE)	Total
Nombre	1	12	13
Pourcentage	8%	92%	100%

NB : Tous les hôtels utilisent des chauffe-eau électriques (CEE).

• Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires**1. Savez-vous qu'il existe un appareil sur le marché produisant de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire ?**

	oui	non	Total
Nombre	8	5	13
Pourcentage	62%	38%	100%

2. Si oui, depuis combien de temps ?

	plus d'une année	moins d'une année	Total
Nombre	8	0	8
Pourcentage	100%	0	100%

3. Par qui ?

	Publicités diverses	Par des amis	J'en ai déjà vu	Total
Nombre	4	2	2	8
Pourcentage	50%	25%	25%	100%

4. Envisagez-vous de posséder un chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	9	4	13
Pourcentage	69%	31%	100%

5. Si oui, quand ?

	La décision ne dépend pas de moi (service public)	Cela dépend du coût	Total
Nombre	1	8	9
Pourcentage	11%	89%	100%

6. Si non pourquoi ?

	Mes installations ne sont pas adaptées	Je ne suis pas sûr de sa rentabilité	Total
Nombre	3	1	4
Pourcentage	75%	25%	100%

• **Proposition sur l'acquisition**

7. Adopteriez-vous un chauffe-eau solaire si on vous offrait un mode de paiement échelonné ?

	oui	non	Total
Nombre	9	4	13
Pourcentage	69%	31%	100%

8. Si oui quelle est la durée d'échelonnement et le montant total à consentir

	A examiner en fonction du coût total	50.000frs/mois jusqu'à la fin du crédit	Pas de point de vue	Total
Nombre	5	2	2	9
Pourcentage	56%	22%	22%	100%

9. Que pensez-vous du chauffe-eau solaire ?

	Economique	Pas bien informé pour se prononcer	Pas adapté pour les hôtels	Trop coûteux par rapport à l'efficacité	Total
Nombre	5	5	2	1	13
Pourcentage	38%	38%	16%	8%	100%

2.2.4. POTENTIELS UTILISATEURS DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES

• **Besoins en eau chaude**

1. Utilisez-vous souvent pour le bain ou pour la toilette de l'eau chaude au cours de l'année?

	oui	non	Total
Nombre	31	4	35
Pourcentage	88.6%	11.4%	100%

2. Qu'est ce que vous utilisez pour chauffer votre eau ?

	bois	gaz	électricité	Total
Nombre	2	18	11	31
Pourcentage	6.5%	58%	35.5%	100%

• Niveau d'information sur les chauffe-eau solaires

3. Savez-vous qu'il existe un appareil sur le marché produisant de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	25	6	31
Pourcentage	80.6%	19.4%	100%

4. Si oui, depuis combien de temps ?

	A peine un an	plus d'une année	Total
Nombre	1	24	25
Pourcentage	4%	96%	100%

5. Par qui ?

	Publicités diverses	Par des amis	Contact avec un fabricant ou un organisme de recherche	Total
Nombre	14	4	7	25
Pourcentage	56%	16%	28%	100%

6. Envisagez-vous de posséder un chauffe-eau solaire ?

	oui	non	Total
Nombre	25	6	31
Pourcentage	80.6%	19.4%	100%

7. Si oui, quand ?

	Cela dépend du coût	Dès que possible	Très prochainement	Pas dans l'immédiat	Total
Nombre	7	10	3	5	25
Pourcentage	28%	40%	12%	20%	100%

8. Si non pourquoi ?

	Mes besoins en eau chaude sont très faibles	Je ne suis pas sûr de sa rentabilité	Total
Nombre	4	2	6
Pourcentage	67%	33%	100%

• Proposition sur l'acquisition

9. Adopteriez-vous un chauffe-eau solaire si on vous offrait un mode de paiement échelonné ?

	oui	non	Total
Nombre	26	5	31
Pourcentage	84%	16%	100%

10. Si oui, indiquez la durée d'échelonnement et le montant total que vous consentirez dépenser pour son acquisition.

	J'ignore le prix pour proposer un échancier	10 à 12 mois pour un montant de 150.000 à 250.000frs	Indifférent	4 mois pour un montant de 350.000frs	Total
Nombre	11	11	3	1	26
Pourcentage	42.3%	42.3%	11.5%	3.9%	100%

11. Qu'est ce que vous pensez du chauffe-eau solaire ?

	Performances peu connues	Bon outil mais le prix d'achat est élevé	Trop cher au regard des économies à réaliser	Total
Nombre	16	13	2	31
Pourcentage	51.6%	42%	6.4%	100%

TABLE DES MATIERES

<u>DEDICACE</u>	3
<u>RÉSUMÉ</u>	4
<u>REMERCIEMENTS</u>	5
<u>RECONNAISSANCE</u>	6
<u>AVANT-PROPOS</u>	7
<u>INTRODUCTION</u>	8
<u>PREMIÈRE PARTIE : CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE</u>	9
I. JUSTIFICATION DU THEME	9
I. REVUE DE LA LITTÉRATURE	9
III. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	11
IV. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE	13
V. METHODOLOGIE	14
5.1 RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	15
5.2 ENQUETES ET ENTRETIENS	15
5.3 MESURES.....	17
5.4 DIFFICULTÉS RENCONTRÉES	18
<u>DEUXIEME PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE DES CHAUFFE-EAU SOLAIRES</u>	20
I. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	20
1-1 CAPTAGE	21
1-3 APPOINT.....	21
II. DIFFERENTS TYPES DE CHAUFFE-EAU SOLAIRES	22
2.1.LE CAPTEUR À STOCKAGE INTÉGRÉ	22
2.2. LE SYSTÈME THERMOSIPHON	22
2.3. LE CAPTEUR À BOUCLE DIRECTE EN CIRCULATION FORCÉE	23
III. CALCUL DES BESOINS ET DIMENSIONNEMENT	23
3.1 LES BESOINS D'EAU CHAUDE	24
3.2 SURFACE DU CAPTEUR SOLAIRE.....	25
3.3 VOLUME DE STOCKAGE	25
3.4 DIMENSIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE	26
3.5 PERFORMANCES D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE	27
3.6 RACCORDEMENT AU SYSTÈME DE PLOMBERIE	28
IV. LES CHAUFFE-EAU SOLAIRES FABRIQUES PAR ATESTA	28
4.1. CHAUFFE-EAU SOLAIRE CAPTEUR STOCKEUR OU CAPTEUR RÉSERVOIR	28
4.2. CHAUFFE-EAU SOLAIRE MONOBLOC OU TYPE CITÉ	31
4.3. CHAUFFE-EAU SOLAIRES À ÉLÉMENTS SÉPARÉS OU DE TYPE CLASSIQUE (CFE)	32

TROISIÈME PARTIE : ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE.....	33
I. LES FABRICANTS ET LES CONCEPTEURS	33
1.1 POLITIQUE DE VULGARISATION DES CES	33
1.2 FONCTIONNEMENT DU SERVICE DE MAINTENANCE	33
II. LES DÉTENTEURS DES CES	34
2.1 RESPECT DES CONSIGNES TECHNIQUES	34
2.2 CAUSE DE NON SATISFACTION DES UTILISATEURS	35
III. LES UTILISATEURS POTENTIELS	37
3.1 BESOINS EN EAU CHAUDE.....	37
3.2 FRANGE DE LA POPULATION INFORMÉE SUR L'UTILITÉ DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE	37
3.3 AVIS SUR LE COÛT D'ACQUISITION	38
3.4 RAISONS DE LA RÉTICENCE DES UTILISATEURS POTENTIELS	39
QUATRIÈME PARTIE : ÉTUDE COMPARÉE DES CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES ET SOLAIRES	40
I. NOMBRE DE CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUES IMPORTÉS PAR AN.....	40
II. NOMBRE DE C.E.S INSTALLÉS PAR AN	41
III. ANALYSE ÉCONOMIQUE SOMMAIRE.....	43
3.1 PRÉLIMINAIRES :	43
3.2 CALCULS ÉCONOMIQUES	44
CONCLUSION.....	49
SUGGESTIONS	51
BIBLIOGRAPHIE.....	52
ANNEXES.....	53
ANNEXE 1 : DIFFERENTES APPLICATIONS DU SOLAIRE THERMIQUE	54
ANNEXE 2 : L'EFFET DE SERRE.....	57
ANNEXE 3 : QUELQUES VALEURS D'ENSOLEILLEMENT.....	59
ANNEXE 4 : SCHÉMAS DE PRINCIPE DES CES	59
ANNEXE 5 : QUESTIONNAIRES D'ENQUÊTES	59
ANNEXES 6 : FICHE DE DÉPOUILLEMENT	59

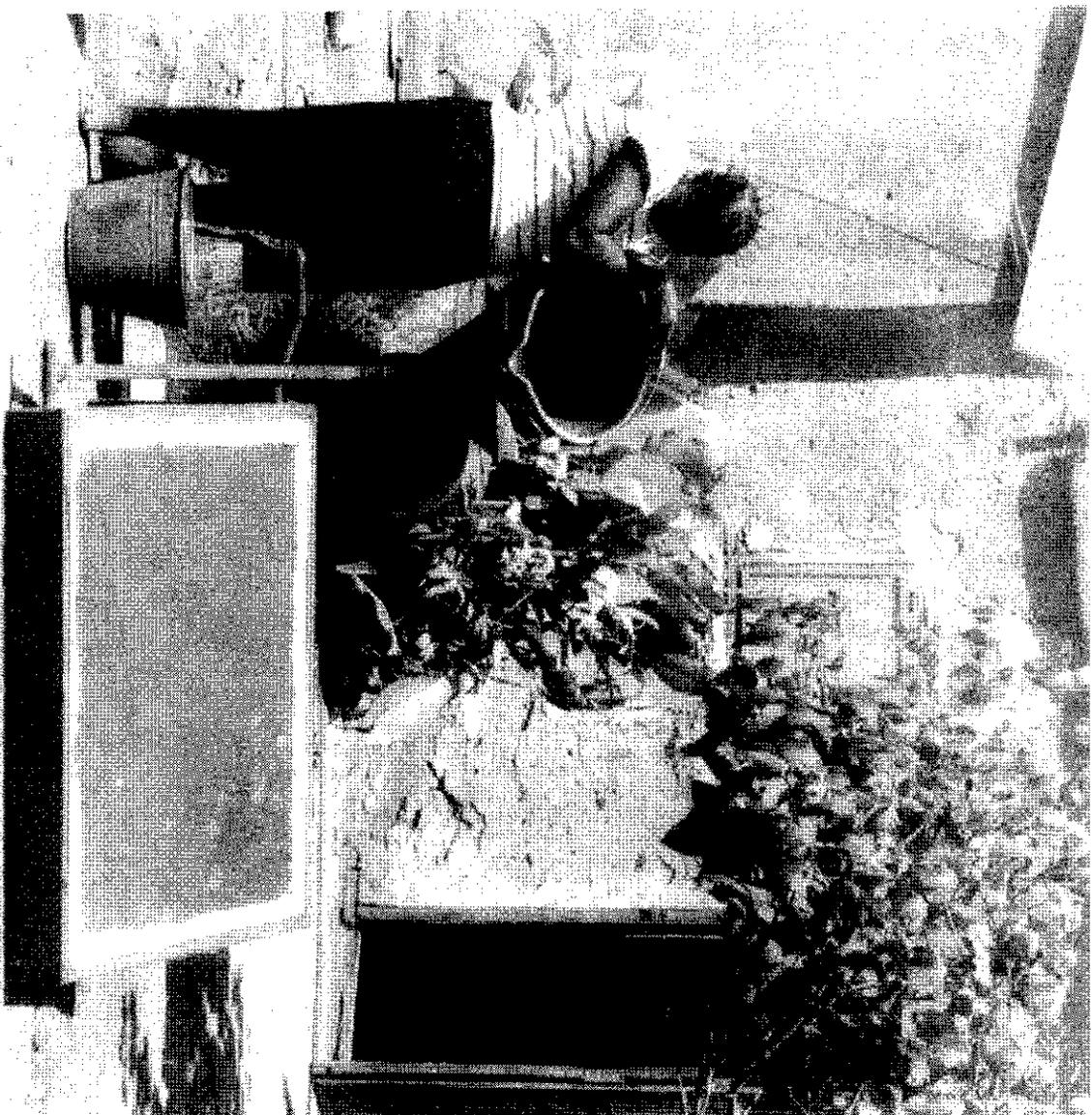


Photo 1 :

**Chauffe-eau solaire
capteur réservoir.**

**Un module de 56 litres
coûte actuellement
100.000 fcfa.**

I. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- le captage,
- le stockage
- le transfert de l'énergie captée vers le stockage,
- un appoint (éventuellement)
- la distribution.

Le schéma de principe d'un tel système se présente comme suit :

