

Research Centre
for Community Water Supply

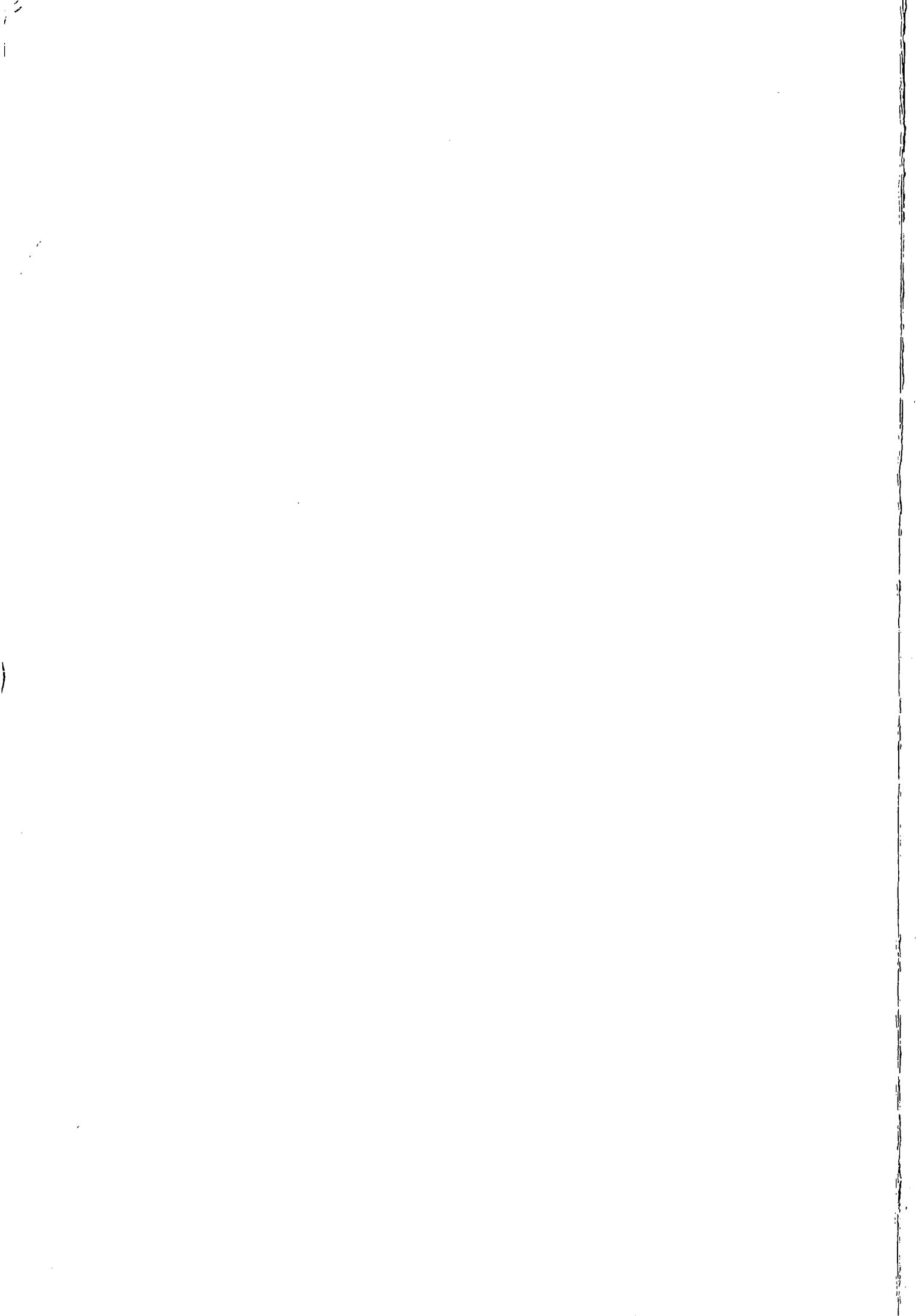
**L'ENERGIE
SOLAIRE:**

**SES UTILISATIONS DANS
LES PAYS EN VOIE DE
DEVELOPPEMENT**

RAPPORT DE STAGE

Opheylysem 7-11 septembre 1981

73-COTAS1
506.1 (III)



LIBRARY
Internat. et n.°
73

**L'ENERGIE
SOLAIRE:
SES UTILISATIONS DANS
LES PAYS EN VOIE DE
DEVELOPPEMENT**

RAPPORT DE STAGE

T A B L E D E S M A T I E R E S

	pages
TABLE DES MATIERES	3
INTRODUCTION	5
A. DOCUMENT PREPARATOIRE	
. <u>Principes élémentaires de conversion de l'énergie solaire</u> , COTA, août 1981, 26 p.	A1
B. L'ENERGIE SOLAIRE DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT	
. <u>La place du solaire dans les énergies rurales</u> , Yves Lambert, COMES, 13 p.	B1
. <u>Quelques exemples de réalisations solaires en pays en voie de développement</u> , Robert Chomé, A.I.D.R., 2 p.	B15
. <u>La politique de l'A.G.C.D. en matières d'énergies nouvelles</u> , G. Beurms, A.G.C.D., 2 p.	B17
. <u>Les énergies alternatives dans les pays en voie de développement : les formes et les moyens de la coopération C.E.E.-P.V.D.</u> , Pierre Lequeux, C.E.E., 21 p.	B19
C. CHAUFFE-EAU SOLAIRE	
. <u>Projet d'une installation de chauffage d'eau sanitaire par capteurs solaires dans le village des Ait Ali Ou Mhend, en Grande Kabylie (RADP)</u> , André De Herde, Unité d'Architecture, UCL, 27 p.	C1
D. SECHAGE SOLAIRE	
. <u>Séchage agricole "solarisé"</u> , L. Delvaux, Institut de Mécanique, U.L.g., 4 p.	D1
. <u>La pratique du séchage solaire à Koumbidia</u> , Patrice Brunet, G.R.E.T., 35 p.	D5
. <u>Développement d'un séchoir solaire pour aliments destinés aux communautés rurales et producteurs artisanaux</u> , J.F. Roels et P.M.L. Onyembe, CGEA, 19 p.	D41
E. DISTILLATION SOLAIRE	
. <u>La distillation solaire</u> , Olivier Deleuze, COTA, 9 p.	E1

F. CUISINIÈRES SOLAIRES

- . Quelques approches techniques et socio-économiques des réalisations solaires en Afrique, G. Delepeleire, KUL, résumé COTA, 4 p. F1
- . Projet marmite solaire, Denis Bruyère et Christian Colson, Liège-Sénégal, 7 p. F5

G. REFRIGERATION SOLAIRE

- . L'utilisation du froid et sa production au moyen d'énergie solaire, Didier Vokaer, U.L.B., 27 p. G0

H. CELLULES PHOTOVOLTAIQUES

- . Les cellules photovoltaïques - Principes de fonctionnement et applications - R. Mertens, K.U.L., 20 p. H1
- . Energie renouvelable, moyen de développement rural au Burundi, Thomas Ruhilima, A.C.E.C., 22 p. H21
- . Installation de production d'électricité à partir de cellules solaires destinée au centre hospitalier rural de Sima-Anjouan (Iles Comores) et annexes, Raymond Willaume, professeur coopérant, 26 p. H43
- . Pompages solaires au Mali - Projet des Iles de Paix - G. Lefevre, Bureau Courtoy, résumé COTA, 2 p. H69

I. SOLAIRE DANS LE BATIMENT

- . L'énergie solaire et l'approche bioclimatique du bâtiment - une étude de cas : "Le Centre de Formation Agricole de Nianing" au Sénégal, Oswald Dellicour, consultant UNESCO, 30 p. I1
- . Terre mique, Hugo Houben, CRATerre, commentaires COTA, 12 p. I31

J. ANNEXES

- . carte solaire, 1 p. J3
- . liste des firmes belges commerciales impliquées dans l'énergie solaire, OBCE, 3 p. J4
- . La face cachée du soleil, GRESEA, 6 p. J7
- . liste des participants au stage, 2 p. J13
- . liste des conférenciers, intervenants et collaborateurs au stage, 2 p. J15
- . index alphabétique, 1 p. J17

I N T R O D U C T I O N

Les applications de l'énergie solaire dans les pays en voie de développement : est-ce une réponse appropriée aux besoins de ces pays ? Une nouvelle technologie maîtrisable par les utilisateurs ? Une folie des grandeurs ? Un nouveau monopole pour les multinationales ? Une "vitrine" pour les organismes d'aide ?

Le séminaire organisé par le COTA du 7 au 11 septembre à Opheylissem (Belgique), a alimenté la réflexion sur ces questions.

Ce rapport reprend les résumés des différentes interventions - rédigées soit par les orateurs eux-mêmes, soit par le COTA -. Il est complété par quelques textes, préparés pour cette session, mais qui n'ont pu y être présentés.

Dans ce volume, le solaire est abordé sous des angles fort différents. Certains textes, très techniques, émanent de chercheurs travaillant dans des laboratoires occidentaux ; ils présentent l'état de la question et les voies de recherche les plus prometteuses. D'autres textes mettent l'accent sur l'insertion socio-culturelle de ces nouvelles techniques. D'autres encore relatent des expériences vécues, menées au Sénégal, aux Iles Comores, au Mali ou au Zaïre. Les grands organismes tels que le F.E.D., l'A.G.C.D. et la COMES, situent la place du solaire et des autres énergies renouvelables dans les programmes de coopération.

Certains événements du séminaire ne sont pas repris dans ce rapport. Par exemple, l'exposition de matériel solaire auto-construit (cuisinière à concentration, chauffe-eau avec circulateur, séchoir pour produits agricoles, etc ...), et de matériel fabriqué industriellement (panneau de cellules photovoltaïques, paraboles, etc ...).

Egalement l'intervention de trois fabricants de matériel solaire venus présenter leurs produits et leur politique de vente.

Ce rapport ne peut bien sûr contenir les échanges d'expériences qui ont eu lieu entre les participants, ni les discussions souvent très fructueuses qui ont suivi les exposés.

L'intérêt suscité par le sujet du séminaire est illustré par le nombre de demandes d'inscriptions reçues : plus de cent parmi lesquelles 49 personnes ont pu être retenues. Leur niveau de connaissances à la fois théorique et pratique était particulièrement élevé.

Le COTA tient à remercier ici tous ceux qui ont collaboré à cette session :

- les participants dont l'expérience et l'esprit critique ont considérablement enrichi les échanges ;
- les orateurs qui ont répondu nombreux à notre appel et qui ont contribué largement à l'édition de ce rapport grâce à leurs documents clairs et illustrés ;
- les pouvoirs publics qui, par leur appui financier ont permis la réalisation de ce séminaire.

L'équipe du COTA.

Bruxelles, août 1981

PRINCIPES ELEMENTAIRES DE CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE

Toute l'énergie consommée sur la terre, nous est fournie directement par le soleil. Sans lui, il n'y aurait ni vent, ni pluie, ni vagues, ni végétation, ni pétrole, ni charbon, ni gaz.

En outre, la quantité d'énergie solaire reçue par la terre chaque année, représente 24.000 fois la consommation mondiale d'énergie pendant cette même période.

Pour la Belgique, l'énergie incidente est 50 fois supérieure à la consommation totale d'énergie.

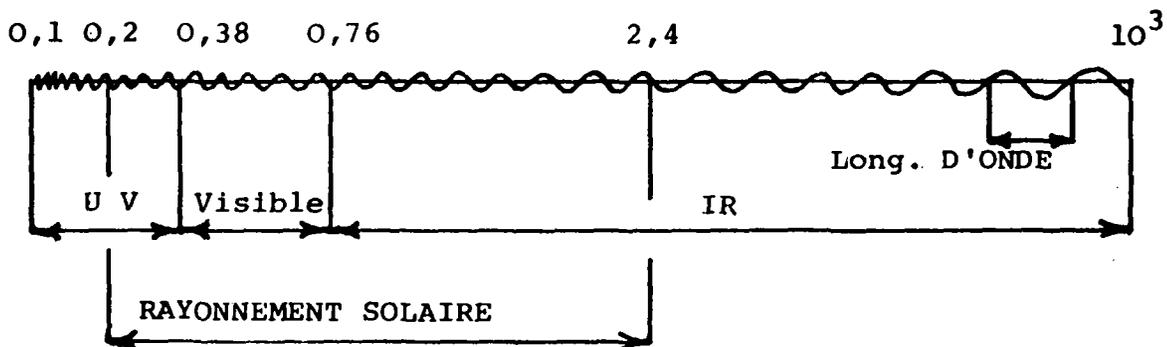
Et nous savons que le soleil continuera à rayonner avec la même intensité pendant 10 milliards d'années !

1. Définition de l'énergie solaire

Le rayonnement solaire, constitué essentiellement de lumière et de chaleur, nous est envoyé sous forme d'ondes, plus précisément d'une superposition d'ondes de différentes fréquences, dont chacune a des propriétés particulières (fig. 1).

Les voici :

- Rayonnement ultraviolet : (invisible, formé d'ondes très courtes de 0,2 à 0,38 microns ou micromètres).
- Rayonnement visible : (lumière blanche, composée du mélange des couleurs de l'arc en ciel et dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,38 et 0,76 μm).
- Rayonnement infrarouge : (invisible, que nous percevons sous forme de chaleur et formé d'ondes de longueur supérieure à 0,76 μm).



(fig. 1) longueurs d'onde du rayonnement solaire (μm).

Dans l'échelle ci-dessus, les longueurs d'onde des différents rayonnements sont données en micromètre (μm).

Un micromètre = 10^{-6} mètre (m).

Le rayonnement solaire qui atteint les couches externes de l'atmosphère est relativement constant (dépendant de la distance terre-soleil, déterminée par les saisons).

On parle de constante solaire dont la valeur est de 1350 Watts par mètre carré (W/m^2).

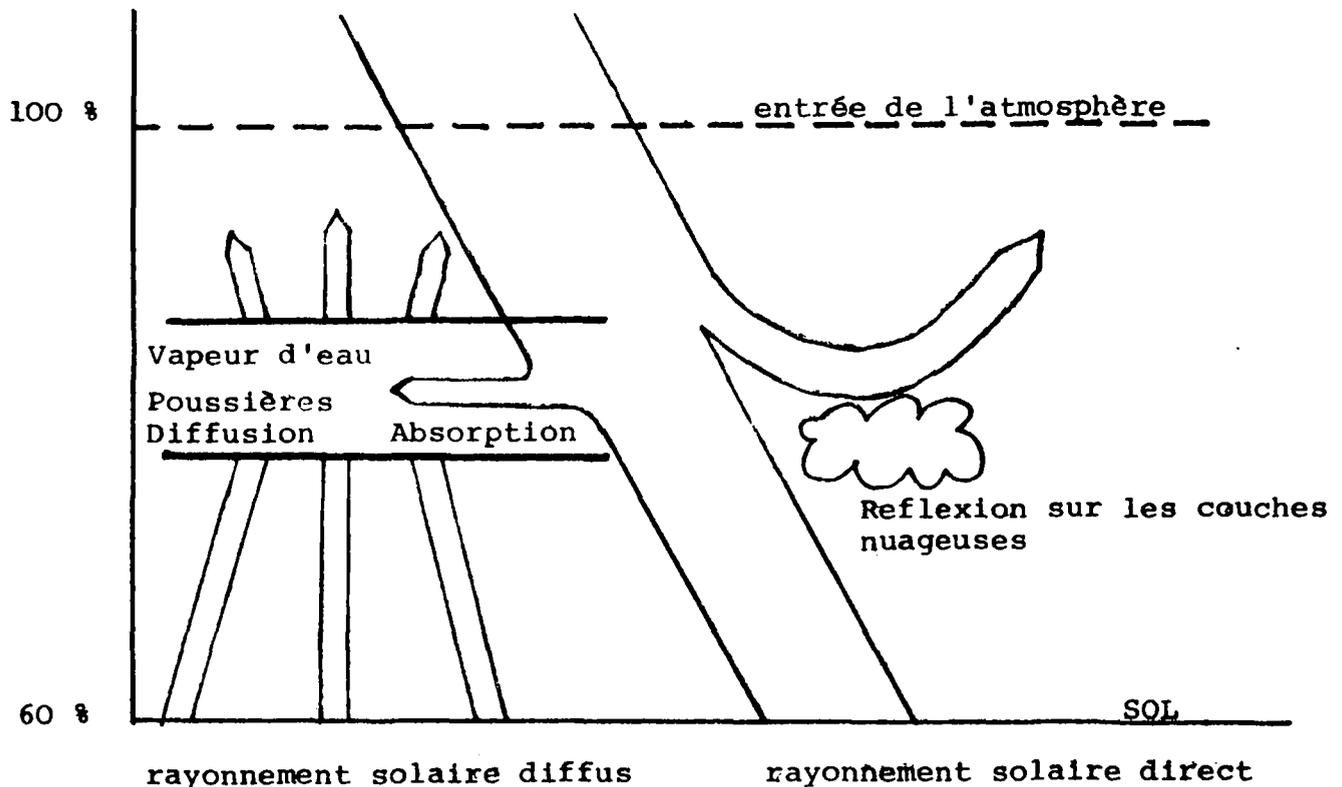
Au cours de sa traversée de l'atmosphère, une partie du rayonnement solaire est altérée en grandeur et direction (fig. 2).

Celle-ci est soit absorbée et diffusée par l'air, la vapeur d'eau, le CO_2 , les poussières en suspension, soit réfléchiée sur les couches nuageuses.

Finalement de 30 à 60 % de l'énergie du départ vont atteindre la surface terrestre (suivant les saisons et les conditions climatiques).

Au niveau du sol, le rayonnement solaire comprend deux composantes :

- Le rayonnement direct I (rayons parallèles qui proviennent directement du soleil).
- Le rayonnement diffus D (rayons brisés par des particules qui les réfléchissent dans toutes les directions).



(fig. 2) comportement du rayonnement solaire au cours de sa traversée de l'atmosphère.

Les valeurs de I et de D varient considérablement selon l'état de l'atmosphère (conditions météorologiques, degré de pollution) et la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon (saison, heure, situation géographique).

2. Principaux procédés de conversion de l'énergie solaire

2.1. Conversion en énergie thermique

- Conversion en chaleur à basse température (20° à 100° C)

Cette conversion est obtenue dans des capteurs plans à air ou à eau dont le principe est basé sur l'effet de serre. Ils sont relativement simples à construire et à entretenir et leurs rendements de conversion sont élevés, jusqu'à 85 %.

- Conversion en chaleur à haute température (100° à 4.000°C)

Grâce à la concentration du rayonnement solaire direct par des miroirs ou des lentilles, on peut obtenir des températures très élevées, à la limite celle du soleil. Le rendement de conversion est de l'ordre de 20 à 25 %.

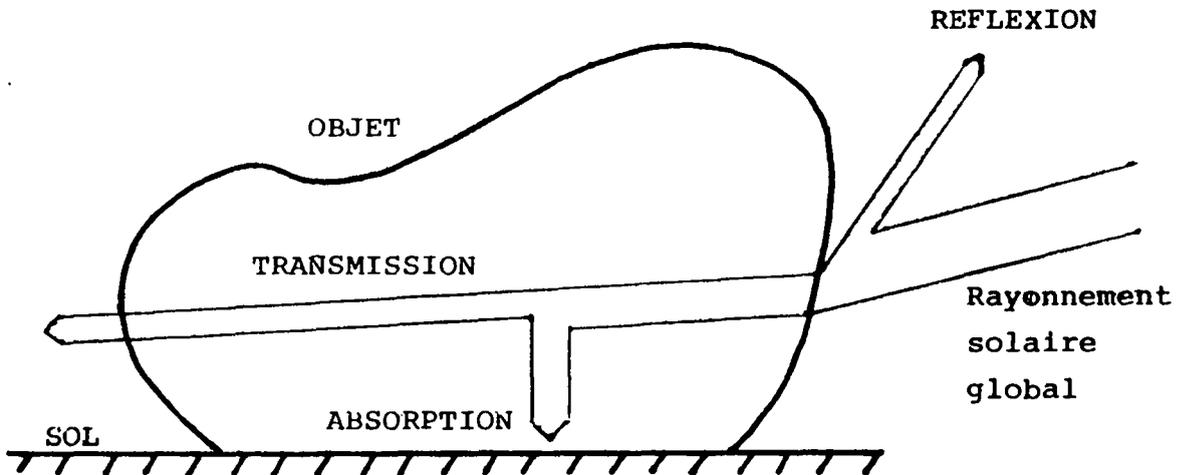
2.2. Conversion en électricité par voie photovoltaïque

Les générateurs photovoltaïques ou photopiles sont des semi-conducteurs réalisés le plus souvent en silicium et capables de transformer directement le rayonnement solaire en électricité. Le rendement de ces générateurs est de l'ordre de 12 %.

2.1. Conversion en énergie thermique

2.1.1. Conversion en chaleur à basse température (20 à 100°C)

Considérons un objet posé sur le sol et soumis à un rayonnement solaire (fig. 3)



(fig. 3) comportement d'un objet soumis à un rayonnement solaire.

Une partie de ce rayonnement est réfléchi par le corps. Le pourcentage de cette réflexion va dépendre de la couleur de l'objet et de l'aspect de sa surface.

- Une surface blanche et lisse va réfléchir la majorité du rayonnement.
 - Une surface noire et mate ne réfléchira presque rien.
- Une partie de l'énergie va être transmise à travers l'objet, suivant qu'il est plus ou moins translucide.
- Le verre ordinaire laisse passer facilement le rayonnement solaire.
 - Le métal ne le laisse pas passer.

Le reste du rayonnement va être absorbé par l'objet. C'est cette partie du rayonnement solaire qui va être transformée en chaleur.

Le rayonnement solaire est composé de longueurs d'onde différentes et les corps "qui absorbent" sont sélectifs par rapport à ce rayonnement, c'est-à-dire qu'ils peuvent absorber une longueur d'onde et pas une autre.

Un corps qui absorbe peu dans toute la gamme du rayonnement visible va nous apparaître blanc.

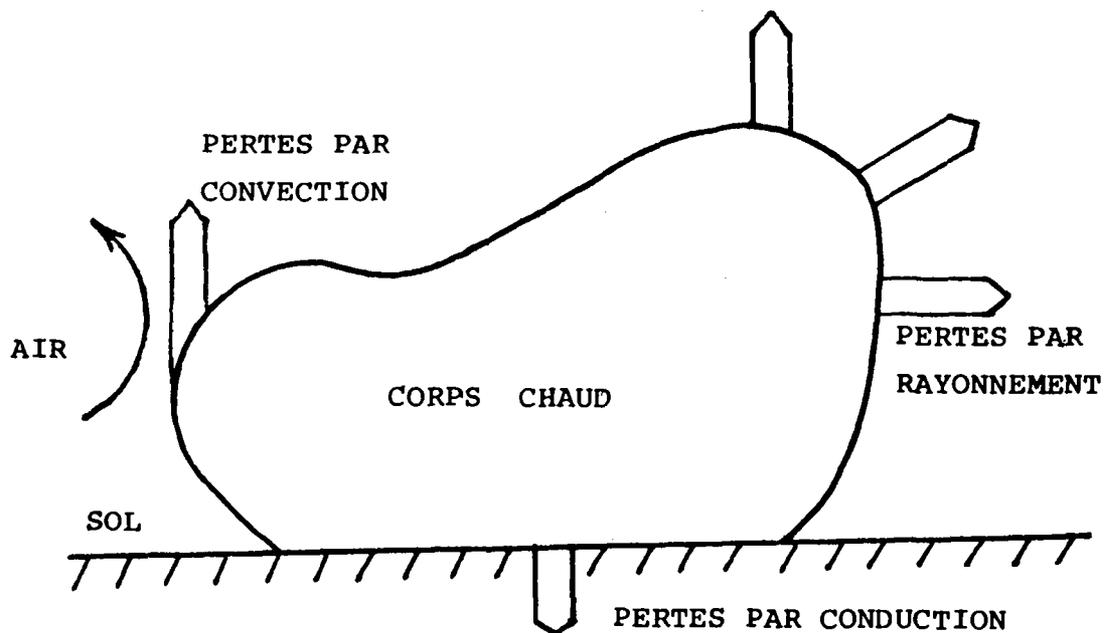
Ceci veut dire que presque tous les rayons visibles sont réfléchis.

Un corps noir, par contre, nous apparaît noir parce que l'ensemble des longueurs d'onde du rayonnement visible est absorbé.

Le rayonnement absorbé se transforme en chaleur et par conséquent, la température sera plus importante sur un corps noir que sur un corps blanc.

Cette chaleur absorbée se traduira par une élévation de la température de l'objet.

Ici certains phénomènes physiques entrent en jeu (fig. 4)



(fig. 4) Phénomènes d'échanges thermiques d'un corps chaud avec son entourage.

Chaque fois qu'un corps chaud est en présence d'un corps plus froid, il va y avoir un transfert de chaleur du chaud vers le froid qui va avoir tendance à égaliser les températures.

L'objet va donc avoir tendance à céder sa chaleur à son entourage.

- l'air (on parle de convection)
- le sol ou tout autre support (on parle de conduction)

Tout corps chaud émet un rayonnement infrarouge dans l'espace dont la quantité est proportionnelle à T^4 (T étant la température absolue du corps).

Capture du soleil

Un corps noir absorbe donc un maximum de rayonnement solaire qui se transforme en chaleur.

Mais cette chaleur a tendance à se dissiper et à se perdre dans l'espace (convection, conduction, rayonnement infrarouge).

Si l'on désire la conserver, il faudra isoler le corps noir sur toutes ses faces avec un matériau conduisant mal la chaleur. L'isolant faisant face au soleil devra avoir la qualité de laisser passer le rayonnement, donc d'être transparent.

La solution est d'y placer une feuille de verre ou de plastique transparent, qui ont en plus une qualité particulière: ils laissent passer quasiment tout le rayonnement solaire y compris

l'infrarouge (0,76 à 2,4 μm), et très peu de rayonnement infrarouge émis par le corps noir (2,4 à 10^3 μm). Ils permettent de piéger la chaleur, c'est l'effet de serre.

Effet de serre (fig. 5).

Le rayonnement solaire, dont la longueur d'onde est comprise entre 0,2 et 2,4 μm , traverse aisément la couverture transparente (verre le plus souvent), et atteint le corps noir qui l'absorbe et le convertit en chaleur.

Le corps peut atteindre des températures de l'ordre de 100°C.

Du fait de cette température, le corps va rayonner de l'I.R. mais pas dans le même domaine de longueurs d'onde que l'I.R. solaire. Il émettra entre $2,5$ et $10^3 \mu\text{m}$, c'est-à-dire dans l'infrarouge de plus grande longueur d'onde.

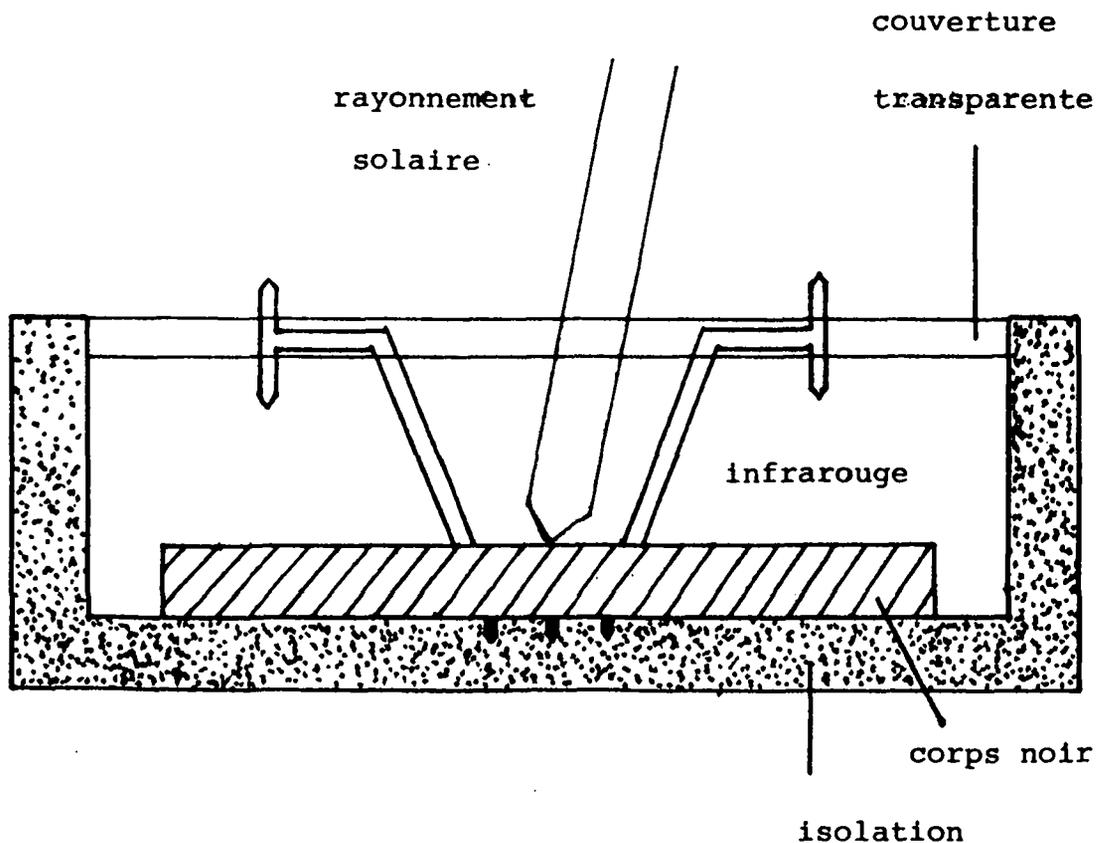
Le rayonnement émis par le corps, va essayer de sortir de l'enceinte, et se heurtera d'une part à l'isolant qui en limite les pertes thermiques, et d'autre part à la vitre qui est transparente pour le rayonnement solaire, y compris l'I.R. solaire (inférieur à $2,5 \mu\text{m}$), mais est pratiquement opaque pour le rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (supérieur à $2,5 \mu\text{m}$).

La vitre va donc absorber une grande partie du rayonnement I.R. émis par le corps noir.

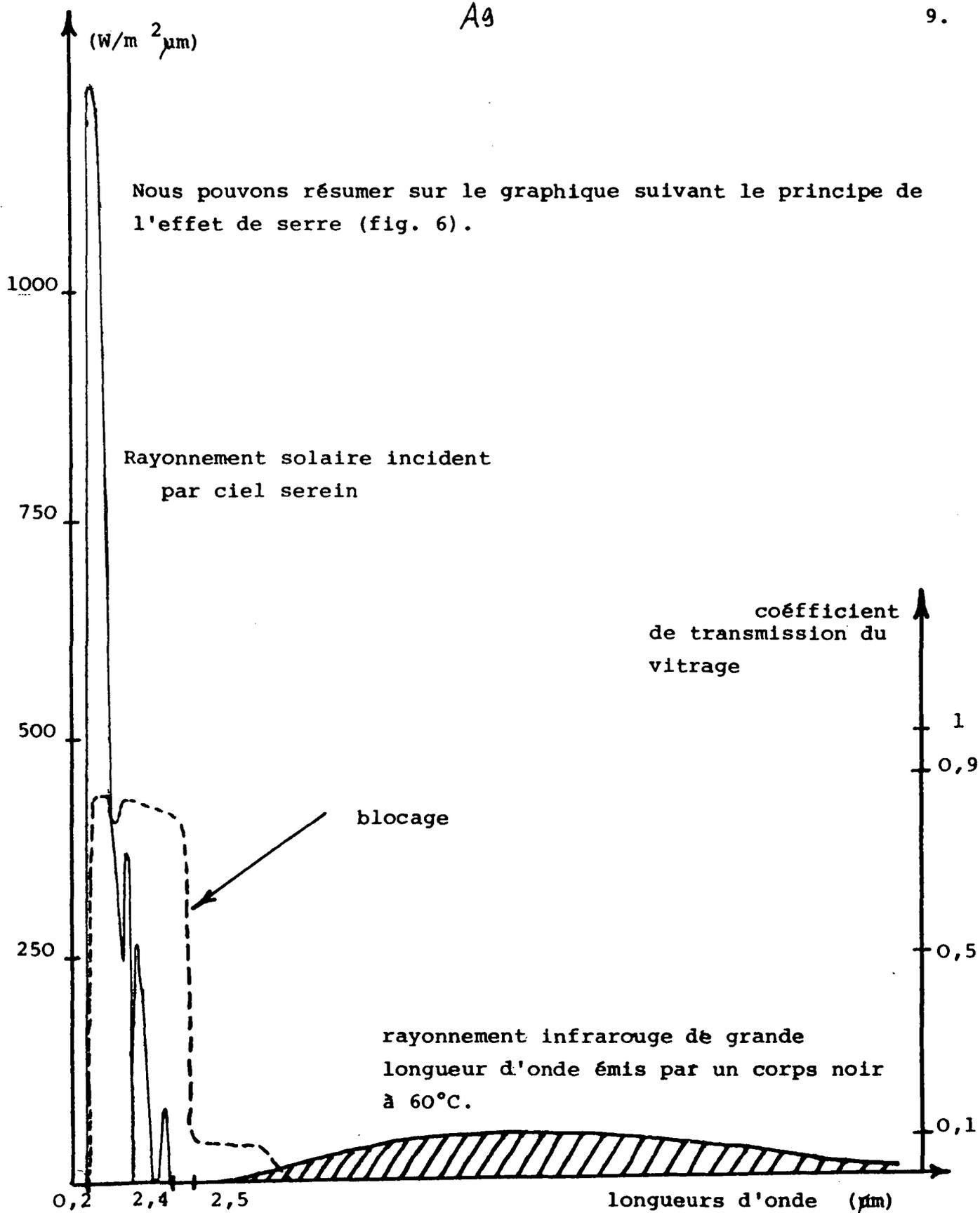
En absorbant ce rayonnement, la vitre s'échauffe et rayonne dans l'I.R. de grande longueur d'onde sur ses deux faces.

Le corps noir en récupère donc une moitié.

L'ensemble corps noir/vitre constitue donc un piège à rayonnement.



(fig. 5) effet de serre



(Fig. 6) Principe de l'effet de serre.

Nous avons reporté en trait continu le rayonnement solaire incident en fonction de la longueur d'onde, et sur le même graphique le rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (supérieur à 2,5 μm), émis par un corps noir qui aurait atteint une température de 60°C.

Nous y avons superposé, en trait interrompu, le coefficient de transmission du vitrage en fonction de la longueur d'onde. Le coefficient de transmission d'un vitrage caractérise sa faculté de transmettre un rayonnement de longueur d'onde donnée. En d'autres termes, il caractérise la transparence d'un vitrage.

Exemples :

- coefficient de transmission = 1 (pour une longueur d'onde donnée), il s'agit d'un vitrage idéal. Tous les rayons passent.
- coefficient de transmission = 0 (pour une longueur d'onde donnée), il s'agit d'un vitrage totalement opaque. Aucun rayon ne passe.

Le verre ordinaire a un coefficient de transmission de 0,9 pour le rayonnement solaire et pratiquement nul dans le domaine infrarouge de grande longueur d'onde.

En consultant la figure 6, nous constatons que la plus grande partie de l'énergie incidente (longueurs d'onde comprises entre 0,2 et 2,4 μm) est bien transmise par le vitrage, tandis que le rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (supérieur à 2,5 μm), réémis par le corps noir, à la température de 60°C, est "bloqué" par la présence du verre.

A 111

Mais comment utiliser et récupérer la chaleur créée par l'effet de serre ?

Il est nécessaire de la transporter, en prenant comme support un fluide (liquide).

On l'appelle le fluide caloporteur (calorie-porteur).

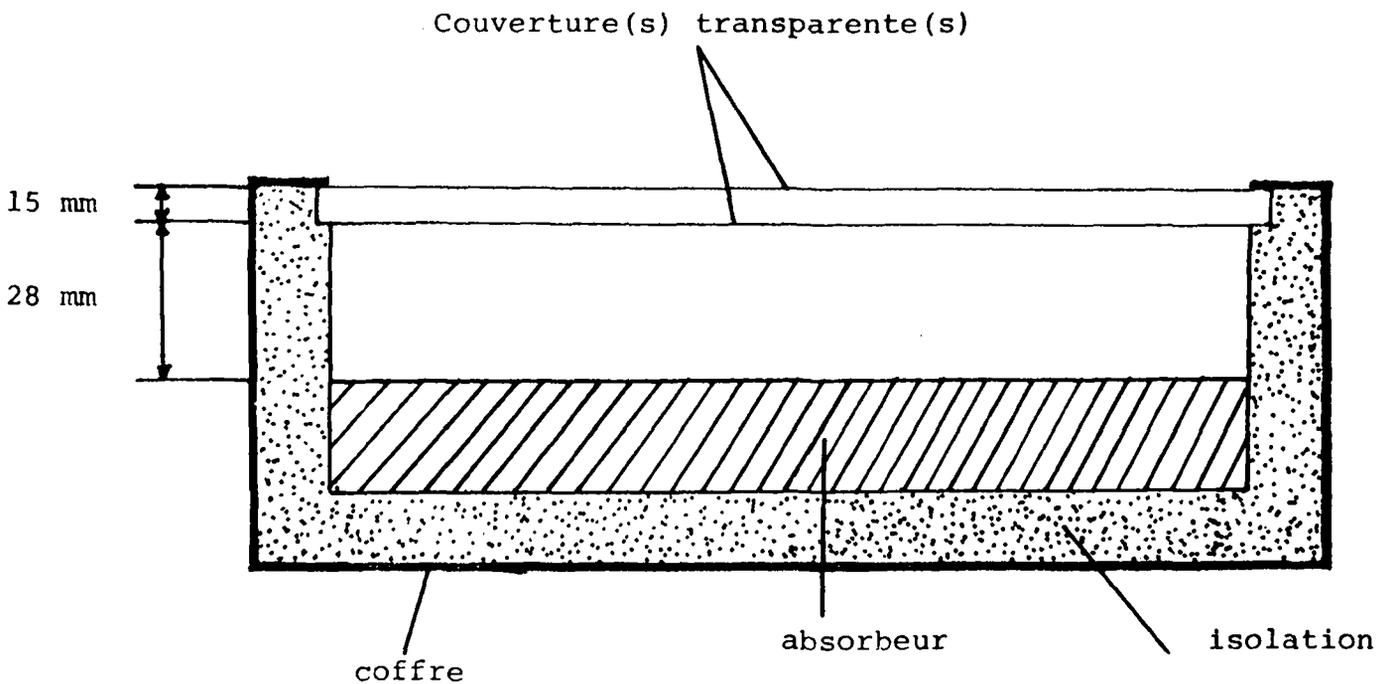
En effet, si le corps noir est un radiateur métallique très plat, pouvant contenir de l'eau, ou une plaque sur laquelle sont soudés des tuyaux contenant de l'eau, la chaleur captée va se transmettre à son tour (par conduction) au liquide (l'eau), qui s'échauffera. L'eau chauffée pourra être transportée par la canalisation.

Il faudra veiller à avoir un très bon contact entre le corps absorbeur (plaque ou radiateur), et le liquide caloporteur, pour que le transfert de chaleur se fasse le mieux possible.

Description d'un capteur plan (fig.7).

Un capteur plan ou isolateur plan à effet de serre est généralement constitué des éléments suivants :

Élément	Rôle	Matériaux
Coffre	- rigidité de l'ensemble - étanchéité à la pluie	- fibre de verre - tôle en acier galvanisé - tôle d'aluminium - fibrociment - (bois)
Isolation	- réduction des pertes thermiques	- polystyrène expansé - laine de verre - mousse de polyuréthane - (sciure de bois)
Absorbeur	- absorption du rayonnement solaire - transmission des calories qu fluide caloporteur	- radiateur de chauffage à eau extra plat. - tubes soudés sur tôle d'acier
Couverture transparente	- créer un "effet de serre" - protéger la surface absorbante des courants de convection dûs au vent	- verre (excellent mais fragile et cher) - plastique (bon marché, mais moins performant et peu durable).



(Fig. 7). coupe d'un capteur solaire

Rendement des capteurs plans

Le rendement d'un capteur plan, est le rapport de l'énergie recueillie par le capteur à l'énergie solaire incidente au capteur.

Il est toujours inférieur à 1 et est fonction de paramètres qui sont principalement :

- la nature des matériaux utilisés
- leur disposition
- la température d'entrée du fluide
- la température de sortie du fluide
- le débit du fluide
- la vitesse du vent.

Le capteur reçoit un maximum d'énergie lorsqu'il est perpendiculaire aux rayons solaires.

Comme il s'opère une variation journalière et saisonnière de la position du soleil, et que normalement le capteur est

fixé définitivement, on choisira :

- une orientation plein sud dans l'hémisphère nord
plein nord dans l'hémisphère sud.
- une inclinaison d'un angle égal à la latitude du lieu
augmenté de 10 degrés.

Pour un même capteur, on note que le rendement varie en fonction inverse de la température d'utilisation.

Par exemple :

température d'utilisation	rendement
40°	80%
60°	65%
80°	50%
100°	35%

Il faut enfin noter que le rendement d'un capteur diminue fortement dès que la vitesse du vent dépasse 2 m/seconde. Il est donc important de l'abriter.

2.1.2. Conversion en chaleur à haute température

Le capteur à concentration

Les températures supérieures à 100°C ne peuvent être obtenues par des insolateurs plans à effet de serre. Il est nécessaire de concentrer le rayonnement solaire pour les obtenir. On y parvient à l'aide de lentilles ou de miroirs.

Les lentilles convexes ou convergentes (plus épaisses au centre que sur les bords, comme par exemple une loupe) concentrent à la fois la chaleur et les rayons lumineux.

Une feuille de papier soumise aux rayons concentrés par une loupe commence aussitôt à noircir.

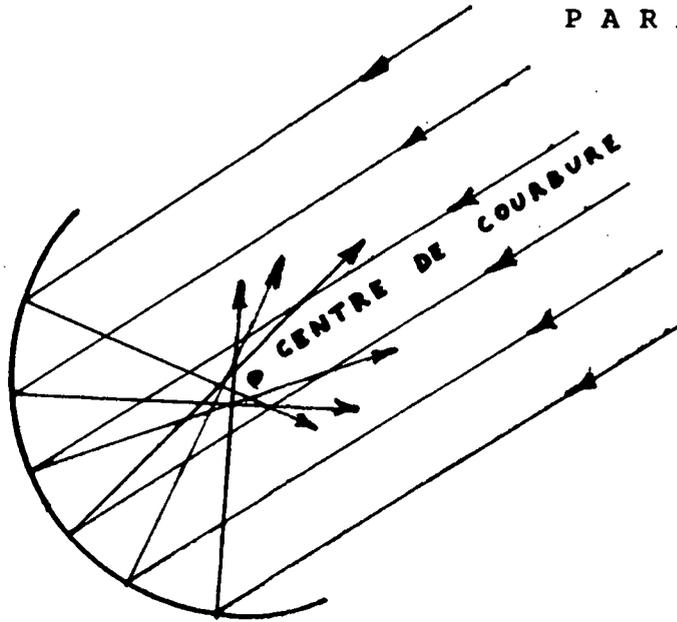
Plus les lentilles sont grandes, plus nombreux sont les rayons qu'elles peuvent intercepter et concentrer, et donc plus élevée sera la température à leur foyer. Les lentilles doivent être fabriquées avec une grande précision, et coûtent dès lors fort cher.

Dans le cas du miroir concave (comme le creux d'une cuillère), les rayons lumineux parallèles provenant du soleil frappent la surface de celui-ci, et sont tous réfléchis vers un même point, le foyer principal.

Si le miroir a la forme d'une calotte sphérique (fig. 8), tous les rayons réfléchis ne passent pas par un même point et la concentration n'est pas efficace.

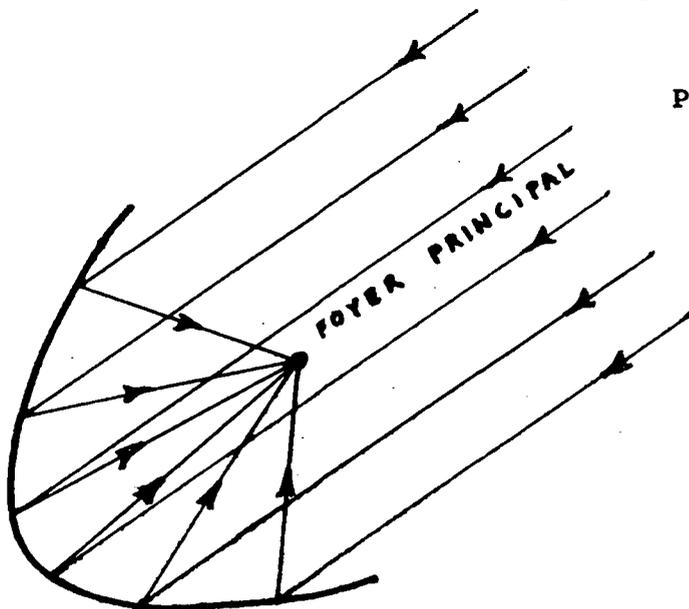
C'est pourquoi, ces miroirs ont une forme légèrement différente, que l'on appelle parabololoïde (fig. 9), qui possède la propriété de réfléchir tous les rayons vers un même point, le foyer, pourvu que sa partie creuse soit orientée parfaitement vers le soleil.

RAYONS SOLAIRES
PARALLELES



(fig. 8) Calotte spérique

RAYONS SOLAIRES
PARALLELES

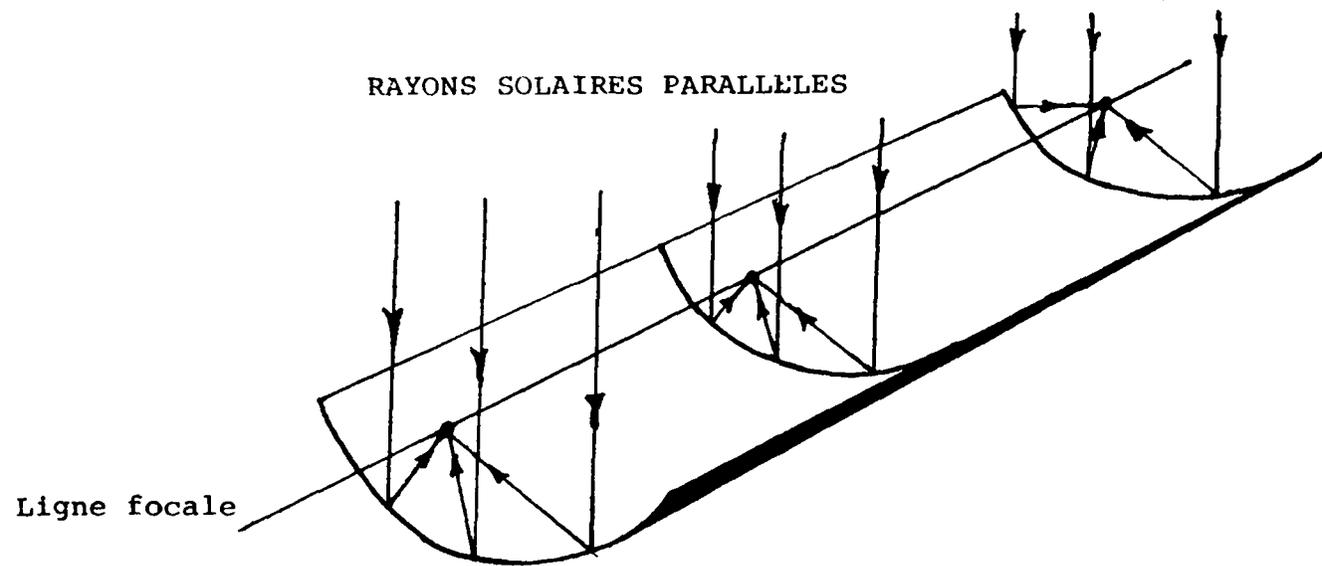


(fig. 9) Miroir parabolique

Il existe aussi des miroirs ayant la forme d'une section de cylindre droit parabolique (encore appelés cylindro-paraboliques). La concentration obtenue est moins importante que pour le miroir parabolique. En effet, plutôt que d'avoir un "point" de concentration, le cylindre donne une "ligne" de concentration.

Cette ligne appelée ligne focale est le lieu des foyers de paraboles, formant le cylindre (fig. 10).

Les rayons solaires parallèles arrivant sur le miroir sont réfléchis et concentrés sur cette ligne focale.



(fig. 10) miroir cylindro-parabolique

Ces miroirs paraboliques sont faciles à réaliser et peu coûteux.

Les miroirs à concentration n'utilisent que le rayonnement solaire direct, c'est-à-dire les rayons parallèles. Le rayonnement diffus, c'est-à-dire les rayons brisés ne lui sont d'aucune utilité, car ils ne sont pas renvoyés sur le foyer.

Applications

Les applications des miroirs à concentration sont nombreuses. En voici quelques exemples :

- cuisson d'aliments dans des récipients placés sur la ligne focale ou au foyer d'un concentrateur.
- production de vapeur.
- fusion de certains métaux.

Comparaisons entre capteurs plans et capteurs à concentration

Critères	Capteurs plans	capteurs à concentration
Utilisation des rayonnements direct et diffus	oui fonctionnement par ciel couvert	non ne fonctionne qu'avec le rayonnement direct
rendement énergétique	bon à basse et moyenne température, mauvais au-delà de 100°C.	bon à haute température
applications	chauffe-eau séchoir distillateur	cuiseur four production de vapeur
facilité d'utilisation	excellente	médiocre, il faut suivre le soleil en permanence (1)
entretien	faible	important (miroirs, mécanisme d'orientation)
durée de vie	élevée	incertaine
nécessité de personnel	non	oui, si orientation manuelle
coût d'investissement	moyen	élevé (2)

(1) Les cylindres paraboliques peuvent être orientés E-O et ne nécessitent qu'une correction journalière et même hebdomadaire.

(2) moyen pour les cylindres paraboliques.

2.2. Conversion en électricité par voie photovoltaïque

Les semi-conducteurs

Certaines matières laissent l'électricité les traverser très facilement, avec une faible résistance, et l'on dit alors qu'ils sont bons conducteurs ; mais il en est d'autres, les isolants qui sont très mauvais conducteurs, ils ont une forte résistance.

Entre ces deux extrêmes se placent des matières de résistance moyenne.

Ce sont les semi-conducteurs, dont les plus courants sont le germanium et le silicium.

Toutes les matières sont formées d'atomes liés les uns aux autres, de façon assez rigide, selon une disposition géométrique très nette.

L'atome proprement dit comprend un noyau central à charge électrique positive, entouré d'un nuage d'électrons à charge négative.

Ces charges positives et négatives s'équilibrent et l'atome entier est électriquement neutre.

Les électrons périphériques maintiennent l'atome en un tout cohérent : ils forment une sorte de "colle" atomique.

Bien que les électrons périphériques soient normalement fixés à l'atome, il arrive que dans certains cas, (par exemple lorsqu'ils sont soumis à une énergie lumineuse) ils bénéficient d'un supplément d'énergie et s'échappent de l'atome pour circuler librement dans la matière.

Il est aisé de libérer les électrons périphériques dans les conducteurs, mais difficile de le faire dans les isolants.

Une fois de plus, les semi-conducteurs se classent entre les deux extrêmes : à la température ambiante, il y a suffisamment d'électrons libres dans un semi-conducteur, pour permettre le passage d'un léger courant électrique.

Semi-conducteurs de type P et de type N

Le nombre d'électrons libérés dans une matière peut être augmenté en ajoutant une impureté constituée par des atomes hétérogènes (de nature différente).

La figure 11 représente des atomes de silicium pur (seuls figurent les quatre électrons périphériques).

Le lien entre chaque couple d'atomes est formé par deux électrons, un pour chaque atome.

Supposons que quelques atomes hétérogènes de phosphore, par exemple, ayant chacun cinq électrons périphériques, soient introduits dans le silicium (fig. 12).

Un électron de chaque atome de phosphore se trouvera donc sans partenaire (électron associé).

Ces électrons sans partenaires sont plus facilement détachés de leurs atomes que les électrons formant le lien, et une fois libérés, ils peuvent conduire l'électricité à travers la matière.

Si l'on ajoute des atomes hétérogènes ayant trois électrons périphériques, par exemple des atomes de bore, il manque un électron à l'un des liens, ce qui fait un "trou" dans la structure de la matière (fig. 13).

Ce trou disparaît si un autre électron d'un autre lien "saute" pour le remplir, mais en laissant un autre trou derrière lui (fig. 14). De cette façon, un trou "voyage" d'un bout à l'autre d'une ligne d'atomes.

Les atomes hétérogènes ayant trois électrons périphériques (bore) sont appelés récepteurs, car ils peuvent recevoir des électrons provenant d'autres parties de la matière et devenir de ce fait des ions (atomes portant une charge électrique positive ou négative), à charge négative. Ils transforment la matière en un semi-conducteur de type P, ainsi appelé parce que la présence de trous constitue une charge positive.

Les atomes hétérogènes ayant cinq électrons périphériques sont appelés donneurs parce qu'ils fournissent des électrons supplémentaires à la matière, devenant de ce fait des ions à charge positive ; ils transforment la matière en un semi-conducteur de type N, ainsi appelé parce qu'il existe des électrons excédentaires à charge négative.

La jonction P-N

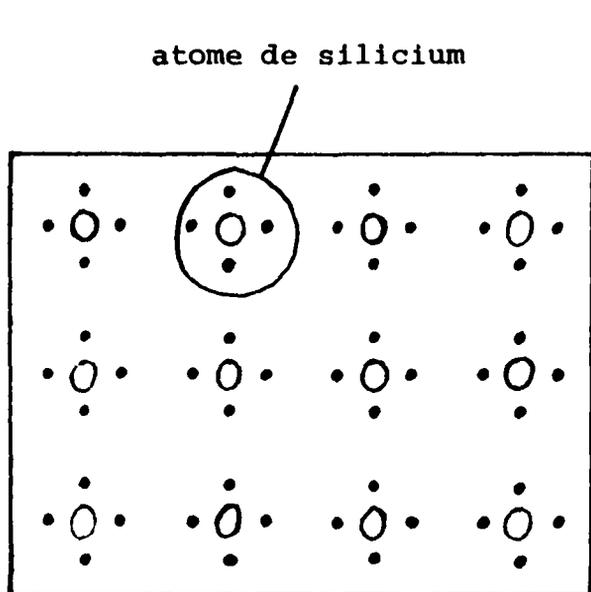
Lorsque l'on réunit un morceau de silicium de type N et un autre de type P, le résultat obtenu est très important (fig. 15). Puisque les électrons, aussi bien que les trous se déplacent dans la nouvelle matière ainsi formée, on pourrait s'attendre à ce que tous les trous de la région P, et tous les électrons excédentaires de la région N s'unissent, se combinent et s'éliminent.

Mais rien de tel ne se passe.

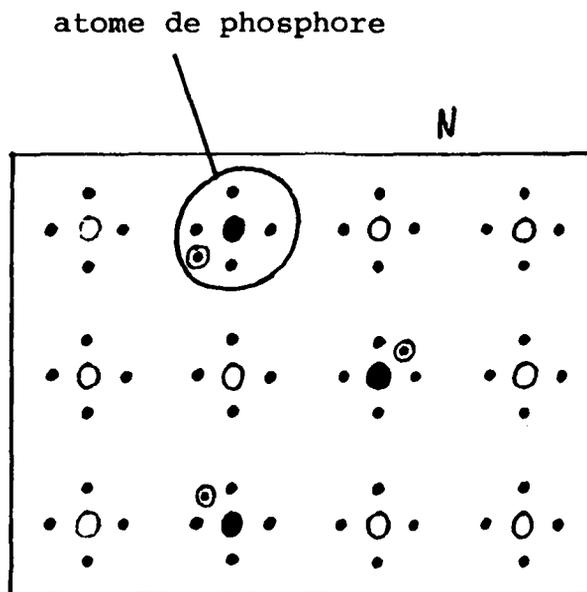
Au début, quelques électrons excédentaires et quelques trous se combinent.

Mais le résultat est une force électromotrice qui prévient toute combinaison postérieure (la barrière de jonction). Cette barrière s'établit dans la zone de la jonction P-N. Ceci provient du fait que certains atomes récepteurs (ils peuvent recevoir un électron pour devenir des ions à charge négative) de la région P, et certains atomes donneurs (ils peuvent céder un électron pour devenir des ions à charge positive) de la région N, sans leurs trous et électrons propres, se chargent respectivement de charges négatives et positives.

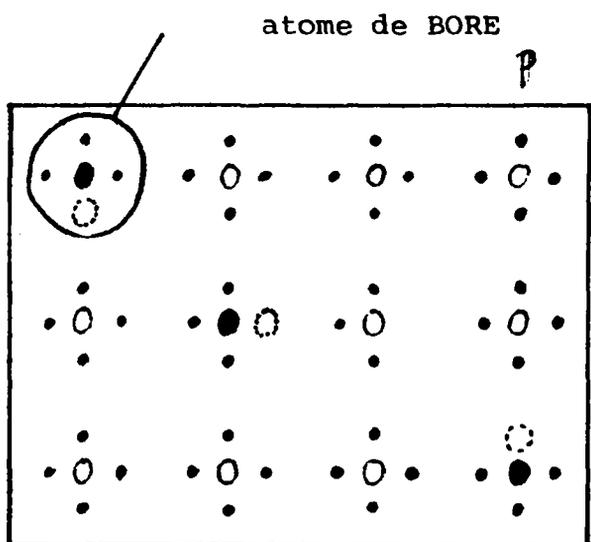
Si un trou supplémentaire à charge positive tend à se mouvoir vers la région N, il est repoussé par la charge positive des ions donneurs qui s'y trouvent, et vice versa. Par conséquent, il n'y a pas de passage de courant au travers de la jonction P-N, d'où formation d'une région de dépression dépourvue d'électrons excédentaires et de trous (fig. 16). Cette région ayant d'un côté une charge positive et, de l'autre côté une charge négative, une différence de potentiel (voltage) s'y établit.



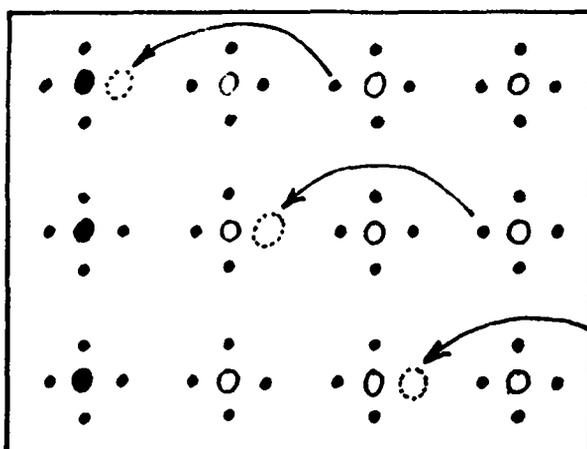
(fig. 11) atomes de silicium pur



(fig. 12) introduction d'atomes de phosphore dans le silicium



(fig. 13) introduction d'atomes de BORE dans le silicium



sens de déplacement du trou

(fig. 14) déplacement d'un trou le long d'une ligne d'atomes

○ NOYAU DE SILICIUM

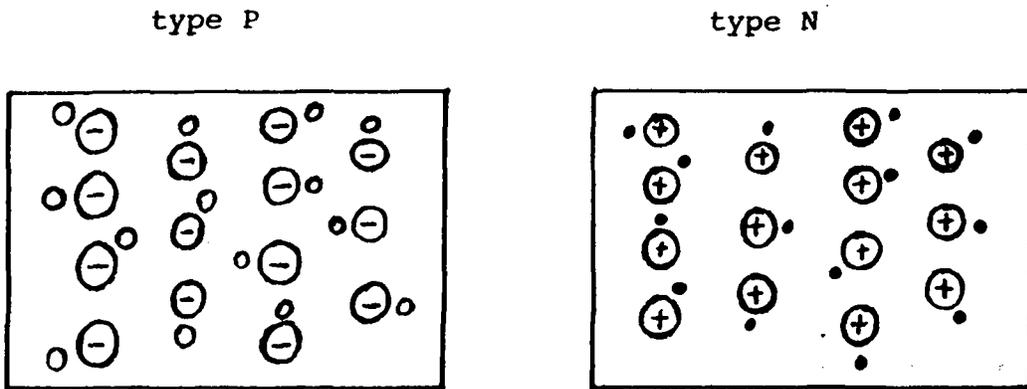
● ION HÉTÉROGÈNE

• ELECTRON

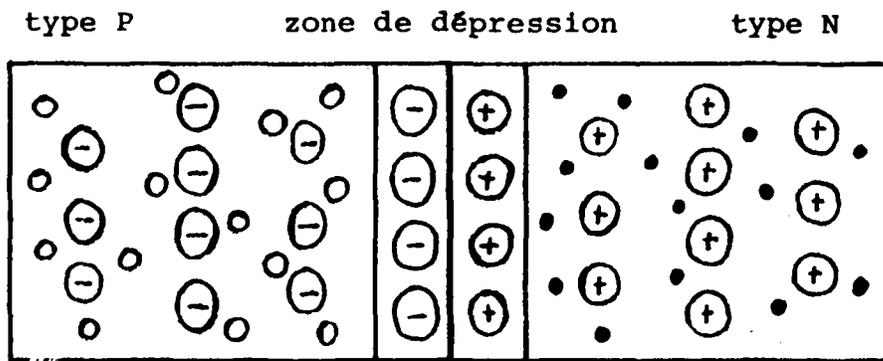
RECEPTEUR OU DONNEUR

⊙ TROU

⊙ ELECTRON EXCEDENTAIRE



(fig. 15) semi-conducteurs de type P et N



(fig. 16) jonction P-N

- T R O U
- ⊕ I O N P O S I T I F
- E L E C T R O N
- ⊖ I O N N E G A T I F

A25

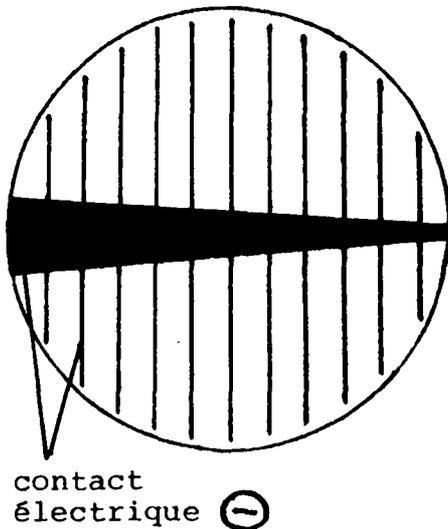
Description d'une photopile (fig. 17)

Les photopiles sont constituées d'une lame de silicium, dopée au bore, donc du type P (positif), dont l'une des faces porte une mince couche de conductivité opposée (par diffusion gazeuse de phosphore type N).

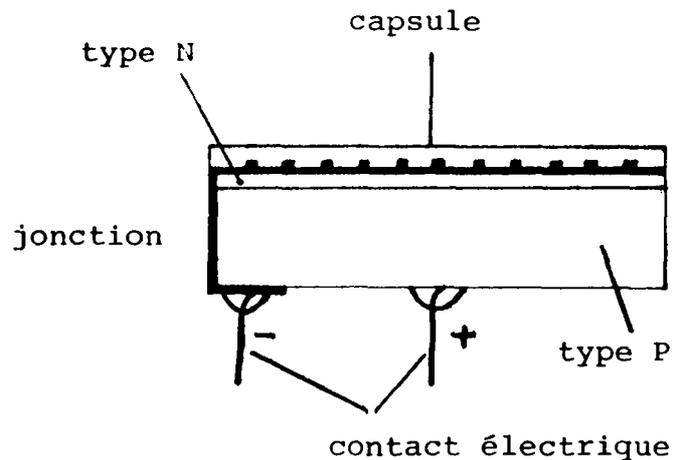
Ces deux couches P et N forment une jonction qui doit se trouver aussi près que possible de la surface afin d'obtenir un bon rendement énergétique.

La cellule est complétée par la prise de contact électrique réalisée en matériau bon conducteur d'électricité.

Pour améliorer la stabilité mécanique et la résistance aux conditions atmosphériques des cellules, celles-ci sont mises sous capsules fermées hermétiquement.



vue de haut



(fig. 17) coupe d'une photopile

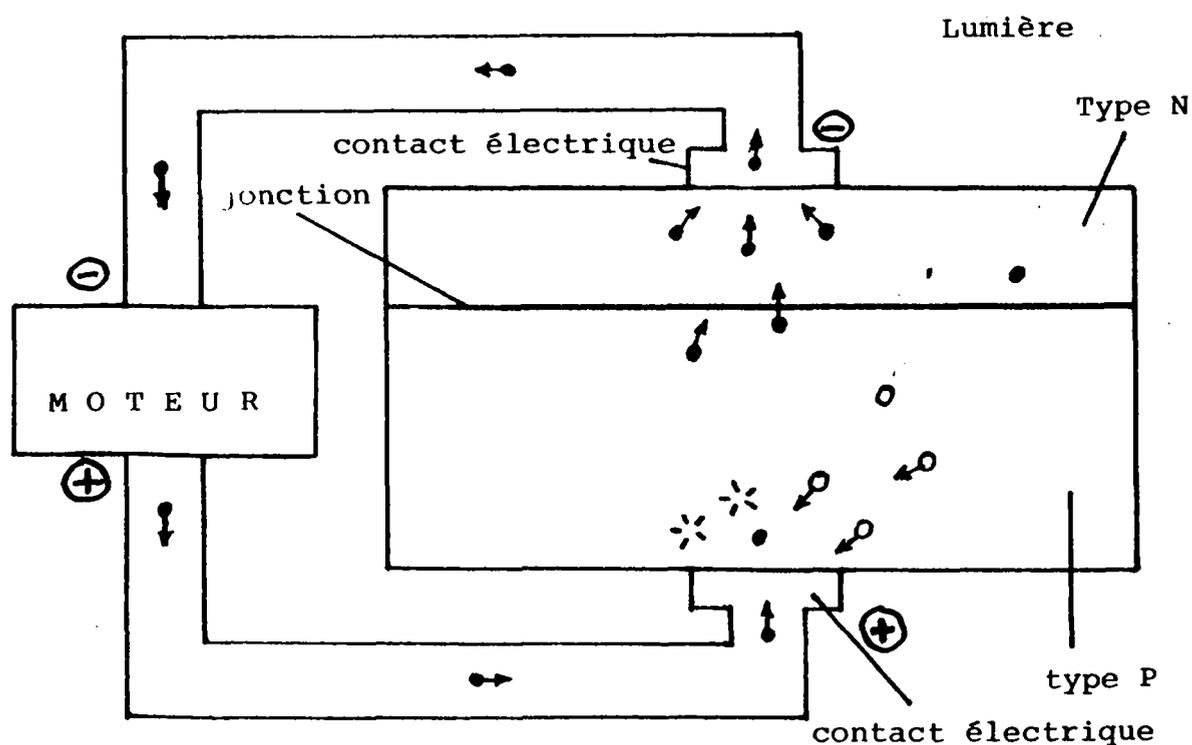
A26

Principe de fonctionnement (fig. 18)

Quand les photons (particules élémentaires de la lumière) de l'énergie lumineuse atteignent la cellule, ils sont absorbés par le semi-conducteur et frappent les atomes de celui-ci: des électrons se libèrent et des trous se forment. Les porteurs de charges (électrons ou "trous") libérés se propagent dans la matière et peuvent se recombiner, mais si un porteur minoritaire (électron dans la zone P, trou dans la zone N) atteint la jonction, il est attiré par le champ électrique de cette couche, et pénètre dans la région où les porteurs de même signe sont majoritaires.

D'autre part, le champ électrique, au niveau de la jonction, retient les porteurs majoritaires dans la région où ils ont été libérés.

Ainsi, quelle que soit la région où le photon est absorbé, et les porteurs de charge libérés, l'effet photovoltaïque donne naissance à un courant électrique circulant de la région N vers la région P (les électrons circulent dans le sens inverse du courant).



(fig. 18) Principe de fonctionnement

A27

Une cellule solaire au silicium de 45 cm² fournit ainsi en plein ensoleillement, 1,1 ampère sous 0,5 volts.

Ceci correspond à un rendement de conversion d'environ 12%.

Des tensions et des courants plus importants peuvent être obtenus en câblant les cellules respectivement en série ou en parallèle.

Les photopiles sont très fiables mais leur technologie étant sophistiquée, elles coûtent actuellement encore très cher.

LA PLACE DU SOLAIRE DANS LES ENERGIES RURALES*

Yves Lambert
Chef du Service
Projets et Applications
COMES
Commissariat à l' énergie solaire
26, rue de Chambéry
75015 PARIS

Séminaire COTA du 7/9 au 11/9/1981
OPHEYLLISSEM

* voir également le document distribué aux stagiaires:
Evaluation des énergies renouvelables pour les pays
en développement, Ministère de la Coopération et
Commissariat à l'énergie solaire, République Fran-
çaise, SEMA, collection TECHNOLOGIES ET DEVELOPPEMENT
N°1, 437 p., 1981

DEVELOPPEMENT RURAL ET ENERGIE*

Parmi les obstacles actuels au développement dans les pays du tiers monde on a coutume de mettre en avant l'alimentation et l'énergie. En particulier, l'augmentation du prix des produits pétroliers a entraîné un grave déficit de la balance des paiements de nombreux pays en développement, mais cette crise a-t-elle eu véritablement un impact sur le milieu rural de ces pays ?

Qui consomme l'énergie et sous quelle forme ?

LA DISPARITE DES CONSOUMATIONS DE COMBUSTIBLES

La consommation des principaux combustibles varie considérablement selon les pays et leur degré d'industrialisation :

Combustibles	Consommation dans le monde		
	1974	Projections 1985	
- Pétrole	41 %	48 %	1990 ↓
- Charbon	27 %	20 %	↗
- Gaz Naturel	17 %	16 %	↗
- Hydroélectricité	5 %	6 %	↗
- Bois	5 %	4 %	↗
- Nucléaire	4 %	6 %	↗
- Déchets agricoles) Fumier)	1 %	-	1928
Ensemble	100	100	

Il s'agit de projections 1985 et non de prévisions tenant compte des nouvelles stratégies liées à l'augmentation du prix du pétrole.

1) Selon les pays :

La dépendance vis à vis de tel ou tel combustible varie également selon les pays. Le bois de feu par exemple, n'assure plus qu'une très faible part des besoins en énergie dans les pays industrialisés alors que son rôle est encore primordial dans beaucoup de pays et en particulier en milieu rural :

% de bois et déchets/total des combustibles						
Europe	France	Monde	Amérique latine	Inde	Afrique	Villages*
0,7 %	1,3 %	6 %	20 %	60 %	60 %	100 %

* on estime qu'il y a à travers le monde plus de 1 million de villages, de quelques dizaines à quelques milliers d'habitants dont la seule ressource en combustible est le bois.

.../...

Cette importance du bois dans la consommation d'énergie reflète le niveau de cette consommation.

Les besoins en énergie par habitant et par an sont estimés à :

- 175.10^9 joules pour les pays industrialisés (avec 6% de la population du globe, les Etats-Unis consomment 31 % de l'énergie produits dans le monde et l'ensemble des pays de l'OCDE en consomme 86 %).
- 14.10^9 joules pour les pays en développement
- 2 à 5.10^9 joules pour les plus pauvres d'entre eux.

2) A l'intérieur des pays :

Le rapport de 1 à 50 selon les pays existe également à l'intérieur des pays en développement eux-mêmes. Les habitants du milieu urbain consomment beaucoup plus d'énergie que ceux du milieu rural, si bien qu'un paysan du tiers monde consomme environ 1000 fois moins d'énergie qu'un cadre américain.

Il y a donc une double disparité en matière de consommation de combustibles : selon les pays d'une part, à l'intérieur même des pays d'autre part (entre milieu urbain et milieu rural). C'est ainsi qu'au Mexique la population rurale qui représente 56 % de la population mexicaine, consomme 3 % de l'énergie.

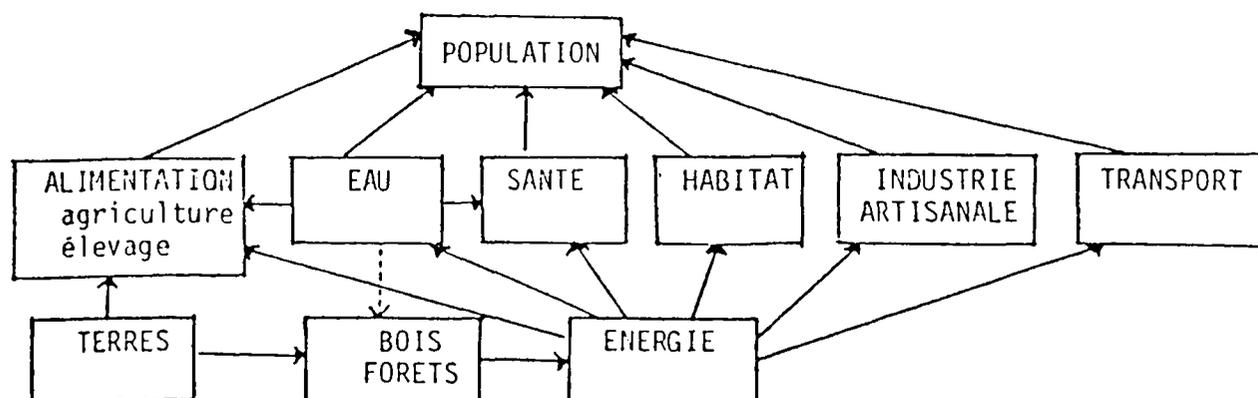
Ces chiffres sont peut être faussés car il est difficile d'évaluer les consommations des combustibles non commercialisés comme le bois de chauffe, mais l'ordre de grandeur n'en serait certainement pas fondamentalement modifié.

Ces quelques réflexions montrent qu'en fait les consommations actuelles d'énergie en milieu rural dans les pays en développement sont très faibles et par conséquent, les énergies renouvelables, même en faible quantité, peuvent y jouer un rôle important, ce qui est difficilement envisageable à moyen terme dans les villes de ces mêmes pays ou dans les pays industrialisés.

En fait, contrairement à une approche énergétique courante, il est nécessaire de considérer les besoins essentiels dans le développement rural et d'étudier dans quelle mesure les énergies peuvent permettre d'aider à satisfaire ces besoins essentiels. L'énergie sous toutes ses formes d'utilisation n'est pas une fin en soi, et doit rester un outil au service du développement rural.

I - LES BESOINS EN ENERGIE POUR LE DEVELOPPEMENT RURAL

On peut schématiquement analyser les besoins énergétiques correspondant aux besoins essentiels : alimentation, eau, habitat, santé et éventuellement industrie, artisanat et transport.



Afin de préciser les besoins énergétiques correspondants à ces besoins essentiels, nous seront amenés à distinguer au travers de quelques exemples les différents types d'énergie :

- thermique : chaleur pour cuisson, séchage, artisanat...
- mécanique : énergie humaine, animale ou motorisée.
- électrique

et leurs disponibilités, leur caractère combustible, commercialisé.

I.1. Alimentation

Plusieurs aspects distincts doivent être envisagés :

I.1.1. L'agriculture et l'élevage : d'une part qui fournissent les produits de base, l'alimentation et pour lesquels les besoins en énergie sont déjà très diversifiés.

Pour l'agriculture : labour, semis, sarclage, irrigation, récolte, transformation et conservation des produits, nécessitent de l'énergie mécanique ou thermique, parfois animale (culture attelée, exhaure de l'eau), parfois mécanisée (tracteur, moteur...). L'énergie contenue dans les engrais ne doit pas être oubliée. Une analyse vise à montrer d'autre part, la nécessité de raisonner en terme d'énergie et non en terme de puissance et de ne pas négliger le facteur temps dans la recherche de solutions alternatives. Par exemple, le labourage suppose une puissance supérieure à celle nécessaire au semis ou au sarclage par exemple, mais cette puissance peut être mise en oeuvre sur une période de temps relativement longue pour le labourage alors que le sarclage doit être fait à un moment bien précis et mobilise une main d'oeuvre importante pendant peu de jours, ce qui justifie en priorité la mécanisation du sarclage.

Il ne faut pas oublier, si l'on veut être exhaustif, l'énergie dépensée par les agriculteurs pour se rendre sur leurs champs qui peuvent être distants des habitations de plusieurs kilomètres.

Enfin, de consommateur d'énergie, l'agriculteur peut devenir un fournisseur car les déchets agricoles peuvent avoir une valorisation énergétique. Une intégration de l'ensemble visant une certaine autonomie énergétique est donc possible.

Pour l'élevage : La recherche de pâturage, l'exhaure de l'eau, les déplacements jusqu'aux lieux de vente sont consommateurs d'énergie (ou de calories). Les pertes de valeur de bétail sur de longs trajets, par perte de poids peuvent être importantes et devraient pouvoir être valorisées ce qui d'un point de vue macro-économique permettrait de justifier la création de points d'eau par exemple.

Enfin, comme pour l'agriculture, l'élevage peut être source d'énergie : le fumier animal peut permettre la production de gaz et d'engrais.

I.1.2. La cuisson des aliments :

Il y a souvent besoin d'eau pour la cuisson, mais il faut surtout un combustible. "A quoi serviront les aliments s'il n'y a plus de bois pour les faire cuire ?". Ce cri d'alarme montre que le problème alimentaire doit être étudié dans son ensemble et non simplement pour les ressources.

Or le bois de chauffe est quasiment le seul combustible utilisé en milieu rural. Ce problème de la cuisson a donc tout naturellement donné lieu à un foisonnement de propositions en particulier en utilisant l'énergie solaire. C'est ainsi que beaucoup voient les cuisinières solaires à concentration comme la solution au problème de désertification. Cet exemple mérite d'être analysé car il correspond à une erreur de raisonnement. Ce n'est pas parce qu'une technique existe qu'elle est utilisable et un bon cahier des charges montre qu'il y a peu de chances pour que les cuisinières solaires à concentration soient effectivement utilisées en milieu rural (tout au moins sahélien).

- la cuisson des aliments se fait le plus souvent le matin et le soir avant et après être allé aux champs, au marché... dans beaucoup de pays les paysans emmènent au champ de quoi manger dans le courant de la journée. Or la cuisinière solaire ne peut fonctionner qu'environ 6 heures par jour entre 9 heures et 15 heures.
- les cuisines sont généralement abritées. Or la cuisinière solaire doit obligatoirement se faire en plein soleil, sans ombre.
- les femmes qui font la cuisine ont souvent un enfant qu'elles portent sur leur dos. Or une cuisinière solaire à concentration doit être orientée très régulièrement (toutes les 5 minutes) et il n'est pas conseillé de rester au soleil sous les tropiques (surtout pour les enfants en bas âges).
- il y a de plus: des risques de brûlures, le prix est et restera relativement élevé, les aliments cuits manquent de goût...

Une analyse préalable précise du problème de la cuisson montre à l'évidence que la solution cuisinière solaire à concentration ne répond pas au besoin et il n'est pas envisageable de modifier aussi fondamentalement les habitudes et le rythme de vie des populations rurales.

Par contre des cuisinières solaires à capteur plan avec stockage pourraient être utilisées à condition d'arriver à un prix de revient compétitif. Mais surtout, il existe d'autres solutions pour essayer de résoudre ce problème, comme :

- inciter les populations à avoir leur propre plantation de bois de chauffe et rendre effectivement renouvelable cette ressource qui s'épuise
- améliorer les cuisinières traditionnelles pour qu'elles aient un meilleur rendement
- utiliser de nouvelles marmites permettant de faire cuire plus vite les aliments
- promouvoir l'utilisation du biogaz
-

I.2. Eau

L'eau dont nous avons déjà montré l'importance pour l'agriculture ou la cuisson des aliments est vitale pour la population. Les chiffres les plus bas estiment le minimum vital de 10 à 20 l/habitant et par jour pour la boisson, la cuisson, le lavage... Or s'il faut de l'énergie pour extraire l'eau du puits ou d'un forage, il en faut également (et souvent plus) pour la transporter du point d'eau jusqu'à l'habitation. Le problème de l'eau dans beaucoup de pays est un problème de multiplication de points d'eau (éviter de devoir faire plusieurs kilomètres pour aller la chercher) autant qu'un problème d'exhaure et parfois un problème de dessalement.

I.2.1. Pompage

Les solutions d'exhaure par éolienne, pompe solaire ou autre solution alternative au groupe électrogène devront être comparées avec des pompes manuelles. De telles solutions sont toutefois difficilement acceptables pour l'hydraulique pastorale ou l'irrigation car les quantités d'eau à pomper sont beaucoup plus importantes que pour l'hydraulique villageoise.

Les problèmes quantitatifs ne devront pas non plus faire oublier l'importance de la qualité de l'eau. Une eau propre et saine a des effets évidents sur la santé. Or le forage garantit beaucoup mieux que le puits cette salubrité de l'eau ce qui nécessite un moyen d'exhaure : pompe manuelle ou motorisée. Malheureusement, cette condition n'est pas toujours suffisante et l'eau peut être naturellement saumâtre. Certaines populations s'en accomode^m mais il est souvent nécessaire de dessaliniser.

I.2.2. Dessalement

Cette nécessité que l'on rencontre à l'intérieur des pays est en particulier cruciale pour beaucoup de villages isolés ou sur des îles, où les seules ressources en eau viennent de l'eau de mer.

Or le dessalement nécessite de l'énergie : thermique pour la distillation mécanique ou électrique pour les procédés d'osmose inverse ou d'électrolyse.

Pour des besoins bien particuliers, enfin il peut être nécessaire de chauffer l'eau (en dehors des besoins pour la cuisson) ou de la stériliser : dans des dispensaires ou des hôpitaux par exemple. Les énergies nécessaires correspondantes sont thermiques et électriques et des solutions énergies renouvelables existent là aussi.

I.3. Santé :

Plusieurs aspects concernant la santé ont déjà été analysés lors du paragraphe précédent sur l'eau : salubrité, chauffage, stérilisation peuvent à titres divers avoir un impact sur la santé. D'un point de vue énergétique les besoins de santé seront différents selon que l'accent sera mis sur la médecine préventive ou curative. La médecine préventive suppose des équipes mobiles et donc des moyens de transport et des équipements ayant leur propre autonomie énergétique. La médecine curative demandera une énergie plus centralisée dans les dispensaires et les hôpitaux, capable de répondre aux différents besoins.

Sans entrer dans le détail, et en dehors des besoins liés à l'eau, les principaux besoins énergétiques correspondent à la conservation des vaccins et des médicaments, à l'éclairage, à la ventilation, à l'alimentation de divers équipements pour les opérations (scialytique, bistouri...) et éventuellement à une radio-téléphone.

I.4. Habitat :

La recherche d'un certain "confort" est une revendication de la population rurale et la tentation de copier le milieu urbain n'a pas toujours eu des conséquences heureuses. Une maison en parpaings de ciments et avec toit de tôle peut selon les climats devenir un véritable four solaire ou une caisse de raisonnement lorsqu'il pleut. Les solutions traditionnelles qui étaient le fruit de réflexions et d'essais de nombreuses générations faisaient appel avant la lettre à l'architecture bioclimatique de nouveau à la mode.

La conception de l'habitat en fonction du climat peut notablement améliorer les conditions de confort à l'intérieur sans avoir recours à la climatisation active consommatrice d'électricité.

I.4.1. Matériaux de construction

La construction proprement dite des habitations devra faire appel à des matériaux locaux transformés ou non. La production de briques et de tuiles qui se fait dans plusieurs pays devrait être analysée du point de vue énergétique car la consommation de bois est assez importante. Est-il nécessaire de chauffer à 700 ou 800°C pour obtenir des briques ? Peut-on produire d'autres matériaux isolants pour toiture, ne peut-on relancer la production de chaux qui est un liant excellent ? La prise en considération des besoins énergétiques liés à la construction des habitations repose le problème du choix de ces matériaux tenant compte de leur disponibilité locale et de leur capacité d'isolation, de leur perméabilité...

I.4.2. Electrification

L'éclairage, la ventilation, la réfrigération, certains appareils ménagers sont également susceptibles de compléter ce besoin de "confort" et aura pour conséquence de freiner l'exode rural. Malheureusement, l'électrification rurale est lente à se mettre en place et coûte cher, car on pense réseau centralisé. En dehors du coût de distribution (100 à 150 000 FF/km de ligne), le contrôle des équipements et la facturation de l'énergie consommée freinent le développement des réseaux d'électrification rurale.

Avec les énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire et la filière photovoltaïque, on peut se demander si il est nécessaire de mettre en place des réseaux et si au contraire on ne peut pas repenser les équipements afin qu'ils aient leur propre autonomie énergétique. Chaque famille, chaque habitation, serait susceptible alors d'acheter les produits dont ils ont envie sans devoir être obligatoirement raccordé au réseau de distribution d'électricité.

Pour les besoins mécaniques : mouture de mil, machines à coudre... l'énergie humaine actuellement la plus fréquente peut être remplacée par l'énergie éolienne ou solaire.

Les besoins liés à la cuisine et à l'eau ont été analysés précédemment.

I.5. Artisanat - Industrie

Les forgerons, menuisiers, bijoutiers ont des besoins en énergie thermique et mécanique. Une connaissance précise de ces besoins, des températures, des puissances, des temps de fonctionnement nécessaires permettra d'envisager les solutions solaires ou énergies renouvelables possibles.

Les transformations des produits agricoles, qui sont le plus souvent effectuées dans les grandes villes, sont actuellement limitées en milieu rural par manque d'énergie. La valorisation des sous-produits agricoles et l'énergie solaire (pour le séchage par exemple) peuvent fournir l'énergie nécessaire à la conservation et à la transformation sur place des produits. L'augmentation de valeur ajoutée locale et donc de revenu pourrait avoir ainsi pour effet de limiter l'écart des revenus entre milieu urbain et rural et par conséquent, de freiner l'exode rural.

I.6. Communications :

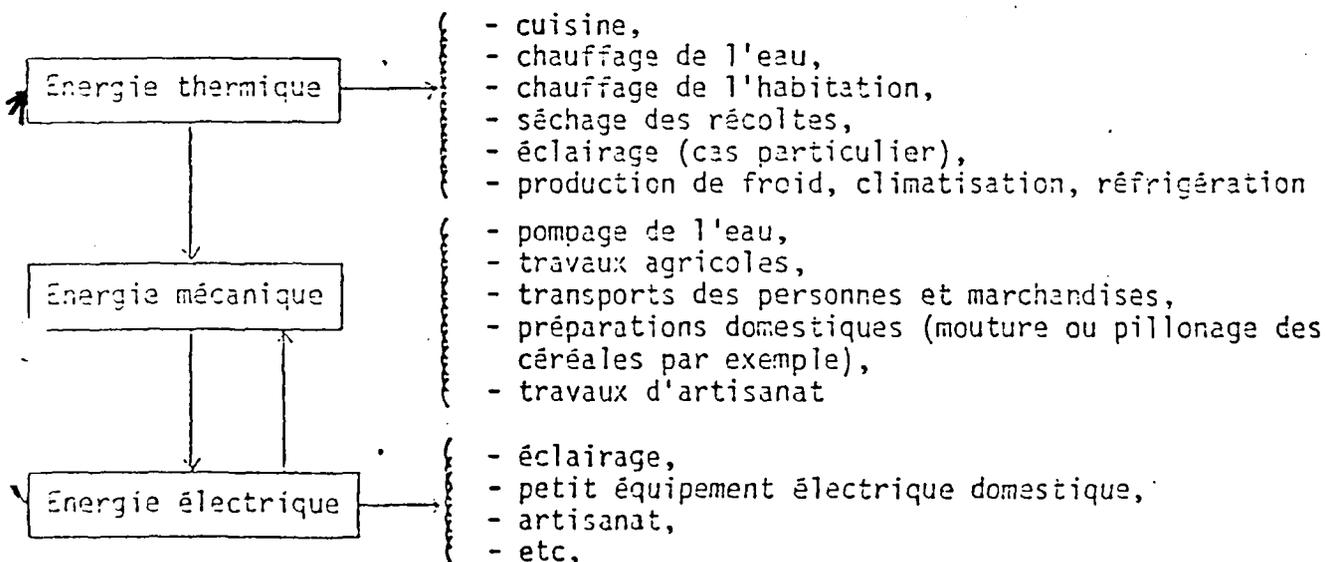
Les transports peuvent également favoriser le développement rural en facilitant l'approvisionnement de produits manufacturés et l'écoulement des produits agricoles et de l'élevage. Or ces transports consomment beaucoup d'énergie. Les charrettes tirées par des ânes comme en Haute-Volta ne suffisent plus pour approvisionner en bois la ville de Ouagadougou ou pour transporter des bidons d'eau d'un point à un autre. D'autres moyens devront être mis en oeuvre qui risquent, si des solutions nouvelles ne sont pas trouvées, d'aggraver le déficit en devises dû à la facture pétrolière.

Les liaisons par radio, par téléphone ou par téléx peuvent rompre l'isolement de villages ou de régions. L'énergie nécessaire pour ces équipements (relais hertziens, émetteurs, récepteurs) est souvent faible et la fiabilité exigée correspond bien à l'utilisation des photopiles .

La télévision enfin peut avoir un rôle éducatif et peut être un vecteur de transmission de l'information pour les questions alimentaires, de santé... La puissance nécessaire pour faire fonctionner un poste de télévision destiné à écoute collective, est maintenant inférieure à 20 W.

Pour tous les équipements en milieu rural, l'effort destiné à réduire la consommation d'énergie, devra être poursuivi. Beaucoup de services peuvent être rendus en consommant moins d'énergie. Il n'y a pas toujours de relation de cause à effet entre augmentation de la consommation d'énergie et développement.

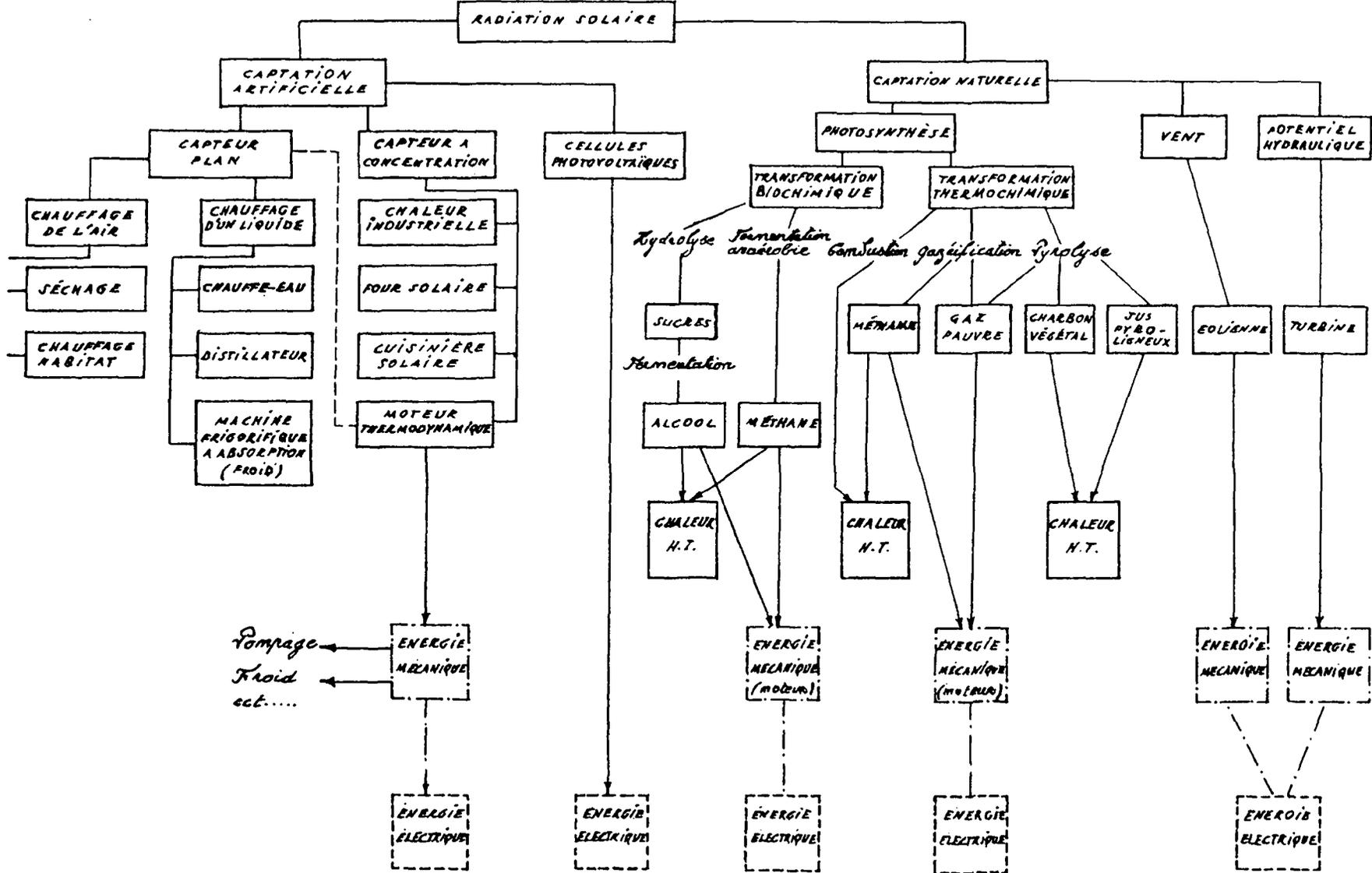
Formes d'énergies et besoins correspondants (récapitulatif)



Ce premier tour d'horizon des besoins en énergie en milieu rural nous a montré la nécessité de mieux identifier ces besoins tant en quantité, qu'en qualité ou dans le temps. Les enquêtes temps de travaux par exemple devraient permettre de préciser la répartition dans la journée et sur l'année (saisonnalité) de ces besoins. L'importance de la commercialisation du bois de chauffe est également mal connue, ainsi que l'évolution de son prix de revient (temps et énergie de collecte, transport) et de vente.

Les considérations techniques et économiques devront également être complétées par une analyse sociale du comportement des populations rurales. On a en effet observé de multiples rejets de nouvelles technologies ou de modifications dans la répartition des tâches par exemple.

PRINCIPALES VOIES DE TRANSFORMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE



Une connaissance précise de l'environnement, des connaissances techniques (celles des forgerons en particulier), des traditions, est nécessaire si l'on veut définir le cahier des charges d'un produit qui aura les meilleures chances d'être intégré et approprié.

II - ROLE POSSIBLE DES ENERGIES RENOUVELABLES DANS LE DEVELOPPEMENT RURAL

Afin d'analyser le rôle possible des énergies renouvelables, il est nécessaire de mieux connaître les ressources correspondantes à ces différentes énergies ainsi que l'état de développement des principales filières de conversion.

II.1. Les ressources

Le rayonnement solaire donne lieu à deux grands types de captation : naturelle et artificielle. Or le gisement solaire est très important à la surface du globe. Avec un rendement de captation de 10 %, une surface de quelques dizaines de km² de capteurs suffirait à alimenter en énergie chaque pays sahélien.

. Captation naturelle :

- Energie hydraulique : ressource très inégalement répartie à la surface du globe. Les données à prendre en compte sont les débit, les hauteurs de chute et les variations saisonnières.
- Energie éolienne : ressource prédominante le long des côtes ou sur les îles; utilisable éventuellement au Sahel du nord du 17^e parallèle. L'énergie récupérable étant proportionnelle au cube de la vitesse du vent, une connaissance précise et non une moyenne des vitesses, est nécessaire pour dimensionner un équipement.
- Photosynthèse ou énergie verte : les plantes, les algues, les végétaux d'une manière générale accumulent de l'énergie solaire. La photosynthèse réalise la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique. Le rendement de conversion effectif varie entre 0,5 et 2 % à l'échelle de l'année. Les sous-produits agricoles (paille de mil, paille de riz, coque d'arachide...) ainsi que la biomasse forestière, représentent des quantités de matières sèches très variables d'un pays ou d'une région, à l'autre.
- Gradient thermique des mers : le réchauffement de la mer en surface permet de récupérer de l'énergie selon le principe de CARNOT (l'eau du fond servant de source froide) le potentiel est très important mais la technique de conversion est encore très expérimentale.

. Captation artificielle :

Le gisement solaire, susceptible d'être capté avec des collecteurs plans ou à concentration ou des cellules photovoltaïques, est d'environ 5 à 6 kWh/m²/jour pour les pays tropicaux. Les mesures effectuées ont permis de distinguer le rayonnement global du rayonnement direct normal (seul utile pour les collecteurs à concentration). La répartition des fréquences dans le temps est également nécessaire pour dimensionner les stockages.

II.2. Les filières technologiques de conversion :

Pour la satisfaction de chaque type de besoin par les énergies renouvelables, plusieurs filières technologiques sont envisageables. Le choix d'une filière sera déterminé par son adaptation aux ressources et aux besoins locaux, son coût, sa fiabilité, etc... Etant donné la diversité des conditions que l'on rencontre dans les pays en développement, il est peu probable qu'une filière unique s'imposera. Mais, aujourd'hui, certaines paraissent avoir devant elles un avenir plus prometteur :

.../

- les capteurs solaires plans : peuvent être fabriqués localement et ont des applications multiples : séchage, chauffage de l'eau, distillation, chaleur pour production d'énergie mécanique, de froid. Satisfaction des besoins thermiques d'une manière générale.
- les capteurs solaires à concentration : ont vraisemblablement un avenir à plus long terme pour la production de chaleur haute température et d'électricité.
- les générateurs photovoltaïques : aujourd'hui, limités à l'approvisionnement en énergie électrique de très petites installations isolées, leur champ d'application devrait se développer avec la baisse attendue du prix des cellules. On peut penser aux télécommunications, à la signalisation, au pompage de l'eau, à l'alimentation de petits réseaux de distribution d'électricité dans les villages, etc...
- la valorisation des déchets végétaux par gazéification, production de biogaz d'éthanol ou de méthanol. Certaines techniques sont déjà tout à fait compétitives avec l'utilisation de produits pétroliers pour fournir l'énergie mécanique ou électrique dans certaines conditions : c'est le cas de la gazéification de certains déchets, le gaz servant à alimenter des moteurs diesels mixtes. Les filières biogaz, méthanol, éthanol devraient aussi devenir compétitives à brève échéance.
- Les micro-centrales hydrauliques : de technologie très fiable, elles constituent aussi une solution très intéressante pour approvisionner en électricité les collectivités situées à proximité d'un cours d'eau de bonnes caractéristiques.
- les aérogénérateurs : ils constituent une solution particulièrement intéressante dans les pays ventés, pour les applications les plus diverses dont le pompage. Dans les régions à la fois isolées et ventées, ils **sont** également compétitifs pour la production d'énergie électrique.

II.3. Contribution des énergies renouvelables au développement rural :

Un certain nombre d'énergies renouvelables sont techniquement opérationnelles et compétitives d'un point de vue économique dès que le site d'utilisation est isolé (éloigné d'une ville, d'un axe de transport, une île...). Le caractère dispersé et décentralisé des énergies renouvelables permet d'envisager un grand nombre d'applications.

Les solutions envisageables sont présentées ici en tenant compte des décideurs et des utilisateurs.

II.3.1. Satisfaction des besoins énergétiques domestiques ou individuels :

BESOINS ENERGETIQUES	SOLUTIONS ENERGIES RENOUVELABLES ENVISAGEABLES
Cuisson des aliments	- reforestation (rendre renouvelable l'énergie verte) - fermentation méthanique des déchets végétaux - cuiseur solaire (après adaptation)
eau chaude	- chauffe-eau solaire
Distillation- dessalement de l'eau	- distillateur solaire - photopiles ou) osmose inverse ou - aérogénérateur) électrodialyse
Eclairage	- photopiles + batteries = électricité - fermentation méthanique = gaz
Climatisation	- architecture bioclimatique ou climatisation "passive" - climatisation active - absorption : solaire thermique - compression: solaire-éolien
Réfrigération - Conservation	- réfrigérateurs : photopiles - chambres froides : photopiles - aérogénérateurs
Artisanat et traitement des produits agricoles	- chauffe-eau solaire - moteurs alimentés par photopiles ou aérogénérateurs - four solaire
Transport routier	- utilisation d'éthanol ou de méthanol seul ou en mélange avec des produits pétroliers

II.3.2. Satisfaction des besoins énergétiques d'équipements isolés

Télécommunications : relais hertzien, réémetteurs téléphonie rurale...	- générateurs photovoltaïques - aérogénérateurs
Récepteurs de télévision et de radio pour éducation ou écoute collective	- générateurs photovoltaïques
Hydraulique villageoise et pastorale	- Pompes solaires à photopiles - éoliennes et aérogénérateurs de pompage
Irrigation	- moteurs dual fuel alimentés au gaz pauvre (gazéification des déchets, pailles, etc...) - éoliennes et aérogénérateurs - pompes solaires thermodynamiques ou photovoltaïques

II.3.3. Satisfaction des besoins énergétiques de réseaux électriques isolés :

Electrification rurale	<ul style="list-style-type: none"> - mini et micro-centrales hydro-électriques - moteurs alternateurs dual fuel (gazéification des déchets végétaux) - aérogénérateurs - centrales solaires thermodynamiques ou photovoltaïques
------------------------	---

III.3.4. Satisfaction des besoins énergétiques des agro-industries et des industries du bois :

Conservation des produits agricoles	<ul style="list-style-type: none"> - séchage solaire ou par combustion de déchets - chambres froides alimentées par photopiles ou aérogénérateurs - ou au gaz pauvre (déchets végétaux)
Agro-industries et industries du bois :	<ul style="list-style-type: none"> - valorisation énergétique des déchets végétaux ou de bois par : <ul style="list-style-type: none"> . gazéification (moteur dual fuel) . combustion (turbine à vapeur)
<ul style="list-style-type: none"> - énergie mécanique - énergie électrique 	
<ul style="list-style-type: none"> - chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> - capteurs solaires plans ou à concentration selon le besoin en température

CONCLUSION :

De nombreuses améliorations techniques sont encore nécessaires pour que les énergies renouvelables trouvent un large champ d'application au service du développement rural. Cette approche seule ne permettra cependant pas la pénétration de ces nouvelles technologies qui ne pourra se faire que progressivement et après avoir fait ses preuves. L'identification des besoins et la solvabilité des utilisateurs potentiels ne suffisent pas à garantir un marché surtout lorsqu'il s'agit d'innovations pour le milieu rural. Les paysans sont plutôt méfiants par nature et il faudra du temps pour les convaincre de modifier leurs habitudes.

En milieu rural, et compte tenu du faible niveau de consommation actuelle d'énergie (en dehors du bois de chauffe) ce n'est pas la substitution aux énergies classiques qu'il faut rechercher mais plutôt la fourniture de services qui ne pouvaient être rendus jusqu'à présent.

La dispersion de l'énergie solaire devient alors un avantage car elle permet l'utilisation décentralisée d'équipements que ce soit dans des pays de grande superficie ou dans des archipels. De plus, la transformation sur place de produits agricoles par exemple, peut permettre une plus grande valeur ajoutée locale et améliorer ainsi les revenus des populations rurales. Enfin un certain "confort" est possible : l'éclairage, un réfrigérateur, un ventilateur, une radio, peuvent tous être alimentés par des photopiles ou des aérogénérateurs.

Ces différents facteurs peuvent permettre un nouveau type de développement rural avec pour conséquence de freiner l'exode rural.



Le 7 septembre 1981.

Texte dit à OPHEYLISSEM.

QUELQUES EXEMPLES DE REALISATIONS SOLAIRES EN PAYS EN
VOIE DE DEVELOPPEMENT.

Robert CHOME, Ingénieur.

Mon exposé consiste en un reportage sur divers projets solaires d'Afrique. Il est illustré par des diapositives prises dans une dizaine de pays d'Afrique avec des commentaires de réussite ou d'échec du point de vue de l'utilisateur. Composé essentiellement de multiples remarques très concrètes appuyées par des images, cet exposé est difficile à résumer. Le présent texte reprend donc quelques grands thèmes.

1. Pompe solaire thermodynamique, appareil qui a été un des pionniers de l'énergie solaire. Il consiste à utiliser l'eau chaude produite par des capteurs plans comme source chaude d'un cycle thermodynamique et source froide l'eau pompée. Il s'agit donc d'un moteur à piston et beaucoup sont en panne. Seules des très grandes unités avec permanence de techniciens spécialisées sont encore envisageables.
2. Pompe solaire photovoltaïque :
Simple et fiable. Très cher pour les grosses puissances (10 kW et plus). Utilisé avec succès pour des hauteurs de pompage d'eau de 20 à 30 m comme c'est fréquent au Sahel.
Si le prix diminue autant que prévu, ce serait la pompe d'avenir en toutes applications.
3. Chauffe-eau solaire :
Technique bien connue et répandue surtout par volonté politique comme à NIAMEY ou au RWANDA.
A Niamey (NIGER), la qualité d'une production locale a été poussée assez haut, mais le prix est élevé.
Au Rwanda, la fabrication nationale est plus artisanale, mais bon marché.

Tous les nouveaux hôtels et plusieurs anciens sont équipés en solaire.

L'un d'eux a des absorbeurs en aluminium mince venus d'Europe et prévu pour un fluide antigel (PKL) et non corrosif.

L'eau acide locale a percé ces absorbeurs en moins de 2 ans.

4. Distillateurs solaires pour l'eau des batteries :

Des modèles ont été réalisés à l'ONERSOL (Office National de l'Energie Solaire au NIGER) et au CEAER (Centre d'Etude et d'Application des énergies au Rwanda)

5. Séchoirs :

Exemple de séchoir à poisson au CEAER.

Projet A.I.D.R. pour sécher les drèches de brasserie.

6. Cuisinières solaires :

La paraboloïde est théoriquement un bon moyen de cuire à 300° C. Toutefois, elle éblouit la personne qui cuisine, elle est assez fragile pour permettre son mouvement en fonction du soleil, elle impose de cuisiner à midi et au dehors.

Pratiquement personne n'a encore réussi à l'adapter aux conditions pratiques.

7. Chauffage de serres :

L'A.I.D.R. a réalisé pour le TOGO à 600 m d'altitude, une étude d'un chauffage solaire par capteur plan d'une réserve d'eau restituant ses calories pendant la nuit à une pépinière de jeunes caféiers. Le mouvement de l'eau est assuré le jour par un circulateur fonctionnant aussi au soleil par des photopiles.

La température des plantes resterait ainsi la nuit à 26° C au lieu de descendre jusqu'à 20° C.

8. Il faut enfin souligner l'intérêt qu'il y a souvent à intégrer diverses techniques d'énergies alternatives. Un exemple est donné par les digesteurs produisant du biogaz. Le solaire peut apporter le complément de chauffage nécessaire dans des pays tempérés (Rwanda, Burundi) et l'A.I.D.R. y installe donc des capteurs-plans pour ses digesteurs.

Tandis qu'en Haute Volta, nous pensons à un système solaire très simple destiné à augmenter encore un peu la température juste suffisante actuelle.

En conclusion, le solaire a un rôle d'avenir en Afrique. Déjà au point pour des réalisations industrielles et pour des équipements d'une certaine technicité, il devra encore s'adapter pour répondre à des besoins ruraux, simples mais vitaux pour la majorité de la population.

La politique de l'A.G.C.D. en matières d'énergies nouvelles

G. BEURMS.

Premier Attaché
à l' A.G.C.D.

On ne peut que constater que si les divers chocs pétroliers et la crise énergétique qui, en est résulté, ont fort affecté le monde industrialisé, ils ont eu des impacts autrement plus importants sur le tiers-monde. Surtout les P.M.A., qui ne disposaient déjà pas des ressources nécessaires à leur développement économique, voient leur maigre budget écrasé de plus en plus par l'approvisionnement coûteux en énergie, qui diminue cependant de plus en plus en volume.

C'est dire qu'une politique de développement de ces pays ne peut rester indifférente au secteur énergie, qui, à côté des besoins de base - alimentation, habitat, eau, santé, - constitue de plus en plus une condition sine qua non du développement du pays et du bien-être des populations.

L'Administration de la Coopération au Développement estime par conséquent que le secteur énergétique au sens large - c'est-à-dire aussi bien l'énergie commerciale que la non commerciale qui souvent constitue encore la seule ressource pratiquement accessible aux populations rurales des P.V.D. - est appelé à retenir une part de plus en plus importante du budget de la coopération. Ce n'est pas là évidemment une position isolée, puisqu'elle comporte un très large consensus dans le monde, comme l'a démontré récemment la Conférence de Nairobi.

Pratiquement, l'A.G.C.D. considère qu'il y a lieu de mener un développement "tous azimuths" dans ce secteur, assurant aussi bien le développement des secteurs classiques qu'ils soient renouvelables ou pas - que les secteurs "nouveaux".

C'est ainsi que l'énergie hydro-électrique - classique mais renouvelable - dont le potentiel n'est exploité que très insuffisamment dans le tiers-monde (Afrique 5 % affirme-t-on) mérite un grand développement, d'autant plus qu'elle constitue pratiquement la seule source d'énergie renouvelable dont la technologie est parfaitement connue et maîtrisée et dont l'apport ou le rendement est significatif. Malheureusement, les réalisations coûtent cher et la population - souvent rurale - ne bénéficie pas de celles-ci. Des unités plus modestes, à l'échelle des petites communautés (quelques dizaines ou maximum centaines de kW.) à prix abordable devraient retenir l'attention dans beaucoup de cas. On constate malheureusement que l'industrie belge est totalement absente de ce marché, pourtant prometteur, ce qui freine l'A.G.C.D. dans certains de ses projets.

Parmi les autres secteurs classiques, mais non renouvelables cette fois, l'A.G.C.D. est aussi disposée à mettre le Know-how belge à la disposition des P.V.D. dans les secteurs charbonniers et⁴ distribution de gaz naturel. Elle collabore actuellement à de tels projets, e.a. au Bangladesh.

En ce qui concerne les nouvelles énergies, des projets de recherche et de mise au point sont subventionnés actuellement par l'A.G.C.D. dans les domaines de la biomasse, du fuel-wood, de l'énergie éolienne, de fours ménagers solaires.

Des applications pratiques dans le cadre de projets ont également été financées : des reforestations, des nouvelles plantations d'espèces à haut rendement, de l'énergie électrique par voie voltaïque dans le secteur médical et dans les télécommunications, du chauffage solaire dans des projets touristiques isolés.

Enfin, sur un plan plus intellectuel, l'A.G.C.D. favorise d'une part la collaboration avec les P.V.D. dans la mise au point de leurs plans énergétiques, le survey de leurs ressources et besoins, le management de leurs services techniques ad hoc et d'autre part, elle apporte une coopération dans le domaine des recherches appliquées axées plus spécialement sur les renouvelables, en supportant des instituts scientifiques des P.V.D. et en finançant une coopération scientifique de nos propres instituts de recherche avec ceux-là.

Malgré le fait - et il faut en être conscient - que les nouvelles énergies resteront pour très longtemps encore marginales dans les besoins globaux d'un pays, elles sont appelées, de l'avis de l'A.G.C.D., à un développement rapide et sont, dans beaucoup de cas, les seules susceptibles de fournir une solution pratique aux problèmes des populations rurales. Si quantitativement, elles ont un impact moindre que les classiques, elles n'en méritent donc pas moins notre attention et notre effort.

Bruxelles, Mai 1981

LES ENERGIES ALTERNATIVES DANS LES PAYS EN VOIE DE
DEVELOPPEMENT

Les formes et les moyens de la Coopération CEE-PVD

Mr. PIERRE LEQUEUX
ADMINISTRATEUR PRINCIPAL

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
DIRECTION GÉNÉRALE DU DÉVELOPPEMENT
TÉL. (02) 736.00.40
200, RUE DE LA LOI
1049 BRUXELLES

Introduction

L'heure n'est plus à l'optimisme quant à l'avenir économique des nations. On le savait depuis longtemps, depuis que la crise pétrolière a fait prendre conscience aux pays pauvres comme aux pays riches que la composante énergétique allait peser fort lourd dans la croissance. On prévoit ainsi par l'accroissement de la demande en énergie une pression considérable sur le marché mondial des énergies fossiles, et en particulier sur celui du pétrole avec son cortège de conséquences lourdes à supporter : hausses des prix, déficits croissants des balances des paiements, baisse des revenus disponibles pour les consommations non énergétiques, tensions internationales accrues.

Face à cette situation, la Communauté mondiale ne pouvait que s'émouvoir et tenter de trouver des solutions à ce nouveau défi. Il était ainsi de son intérêt d'apporter son aide à la mise en valeur du potentiel énergétique des pays en voie de développement. Elle l'a fait en ordre plus ou moins dispersé et la dernière initiative en date a été la convocation par les Nations Unies d'une conférence sur les énergies nouvelles et renouvelables en août 1981 à Nairobi où des experts du monde entier y exposeront leur volonté de localiser, d'évaluer et d'exploiter les sources d'énergies nouvelles et renouvelables. Cette préoccupation est en rapport avec un certain nombre d'objectifs, parmi lesquels on peut citer la nécessité de :

- compléter les combustibles fossiles comme sources premières d'énergie, parce que les réserves de ces sources sont limitées et qu'elles s'épuisent, tandis que la demande relative à ces combustibles et leurs coûts augmentent;
- exploiter des sources d'énergie disponibles et contrôlées localement, de manière à diminuer une dépendance économique et stratégique de sources extérieures;
- découvrir des moyens permettant de fournir de l'énergie par le biais de technologies appropriées, à une petite échelle, particulièrement dans des zones rurales où les sources traditionnelles sont économiquement et techniquement impropres;

- d'exploiter des sources d'énergie qui ne portent pas préjudice à l'environnement.

Energies nouvelles ... Mot magique aux accents vaguement mythiques et que beaucoup relèguent au rayon des gadgets. En quoi, en effet, les énergies nouvelles et renouvelables constitueront-elles une réponse non négligeable à la crise ? Il n'y a pas en réalité de réponse satisfaisante à cette question en raison de la confusion générale sur les termes et les concepts qui se mêlent à l'incertitude des prévisions. On peut tout au plus replacer le problème dans son véritable contexte économique et socio-géographique.

Problème de terminologie avant tout. Pour la Communauté, les énergies nouvelles et renouvelables se limitent à l'énergie solaire au sens large (rayonnement direct bien sûr mais aussi énergie éolienne, biomasse, énergie hydraulique) et à la géothermie. Les Nations Unies y ajoutent, dans le contexte de la conférence de Nairobi, les schistes bitumineux, la tourbe et les animaux de trait. D'autres parleront d'énergies alternatives, d'énergies douces ou d'énergies de substitution et l'on conçoit dès lors qu'il soit extrêmement difficile de parler le même langage et donc de se livrer à des comparaisons.

Problème à composante sociale, géographique et économique ensuite.

Si l'on prend par exemple le cas de l'Afrique continentale, on constate que le pourcentage de population rurale se situe en général entre 60 et 90 % selon les pays. Cette dispersion démographique et la dimension des territoires excluent dans bien des cas le recours à des réseaux de distribution énergétique classiques, tels que les lignes de transport d'électricité. En revanche, et c'est la seule solution envisageable, des installations ponctuelles de petite ou moyenne taille sont aptes à desservir un village ou une région. Le projet solaire sous toutes ses formes peut être alors mis en oeuvre.

Avant de pronostiquer quelle sera la part des énergies nouvelles et en

particulier du solaire, dans l'approvisionnement énergétique des P.V.D. en l'an 2000, il serait évidemment souhaitable de faire le bilan des ressources et des utilisations d'énergie de ces derniers. L'O.C.D.E. se livre depuis quelques temps à cet exercice périlleux mais, en ce qui concerne les pays en développement liés à la Communauté par un accord d'association, ces bilans n'ont été établis que pour quelques-uns des plus développés d'entre eux, tels l'Algérie, le Kenya, l'Egypte et le Nigéria. Encore n'a-t-on pu prendre en considération que les énergies "commerciales" ce qui, dans le cas des P.V.D., fausse totalement les perspectives. En effet, dans la plupart des pays en développement, l'utilisation du bois récolté gratuitement par les populations rurales pour leurs besoins domestiques, cuisson des aliments en particulier, représente entre 40 et 80 % de leurs ressources énergétiques.

Si bien que selon les estimations les plus raisonnables, les énergies renouvelables représentent déjà, par le fait de l'utilisation du bois, au moins 50 % en moyenne des ressources énergétiques des P.V.D. Il est prévisible qu'elles auront toujours une part au minimum équivalente dans le bilan énergétique des P.V.D. en l'an 2000. Ce que l'on ignore encore, c'est la part qui reviendra aux énergies renouvelables issues des techniques nouvelles actuellement en cours de perfectionnement (captation solaire proprement dite, biomasse etc.). Il serait souhaitable que cette part soit la plus importante possible. Faute de quoi, les besoins croissants des populations rurales, consécutifs à l'explosion démographique, conduiraient à la désertification irréversible de certaines zones. Et l'on pense bien sûr au Sahel.

II. Bilan des actions passées

Etant donné cette situation, voyons dans quelle mesure la Communauté européenne est intervenue dans la coopération énergétique.

Depuis la mise en oeuvre du Traité de Rome en 1958 et jusqu'à l'année dernière, le secteur énergétique a été quelque peu négligé dans les schémas de coopération au développement de la Communauté, l'essentiel de ses interventions étant attribué au développement rural, aux infrastructures de base et à la formation. Malgré ce constat, la Communauté et ses Etats membres se situent aujourd'hui au premier rang mondial des donneurs d'aide en matière de coopération énergétique avec les PVD, alors que la Banque mondiale arrive en tête en ce qui concerne l'octroi des prêts.

Le montant total des financements dans le domaine de l'énergie a ainsi atteint, sur une période de vingt-deux ans le chiffre appréciable de 230 millions ECU ^{*)} qui, si on y ajoute les interventions de la Banque européenne d'investissements, ont généré pour plus de 1 milliard d'ECU d'investissements énergétiques rendu possible par le biais des cofinancements notamment avec les Fonds arabes et la Banque mondiale.

Ces actions ont été surtout développées avec les pays associés à la Communauté à savoir les 60 Etats d'Afrique, des Caraïbes, du Pacifique (ACP) signataires de la Convention de Lomé mais aussi dans le cadre d'autres instruments financiers illustrés à la figure 1.

Le Traité de Rome, les deux Conventions de Yaoundé et la première Convention de Lomé ne portaient pas un intérêt particulier à la coopération énergétique, qui était simplement mentionnée parmi les domaines susceptibles de faire l'objet de financements, au même titre que le développement rural, l'industrialisation, les mines, le tourisme ou l'infrastructure économique et sociale.

Les accords bilatéraux, avec les pays de la Méditerranée ne comportent pas de chapitre particulier à la coopération énergétique. Ils donnent toutefois lieu à des opérations "énergie" relevant de la BEI et surtout des actions de coopération scientifique où le développement

./.

*) 1 ECU = 41,5 FB

des énergies nouvelles et renouvelables occupe une place importante.

Bien que la Coopération financière et technique avec les PVD non associés vise essentiellement le développement rural, compris dans un sens large, les orientations générales permettent désormais un certain élargissement, bien que avec prudence, à d'autres secteurs, dont celui de l'énergie au moins dans la phase de pré-investissement (étude, mini-projet pilote, démonstration), jugé parfois essentiel au développement rural. Cet élargissement est également possible dans le cadre d'actions à caractère régional.

Les financements accordés au bénéfice des organisations non gouvernementales peuvent faire l'objet d'actions intégrées valorisant les énergies alternatives. Celles-ci sont particulièrement appréciées par les ONG qui y trouvent une solution à bon nombre de leurs problèmes. Il est utile de noter à ce sujet que l'aide aux ONG est la seule forme d'intervention qui n'est pas publique.

La Commission dispose enfin d'autres moyens, figurant notamment à son budget annuel, qui peuvent lui permettre d'intervenir en matière de programmation énergétique, essentielle pour l'utilisation d'énergies indigènes, leur gestion rationnelle et le développement à long terme de l'industrialisation et de la croissance économique. La Commission intervient également par des actions directes en matière de recherche et par des missions d'identification de projets. Enfin, l'aide d'urgence communautaire peut être également le support d'une certaine forme de coopération énergétique.

Les opérations financées au titre de ces instruments de coopération se sont partagées entre plusieurs secteurs d'intervention où les projets de grands barrages hydroélectriques et les réseaux de transport d'électricité représentent la part la plus importante. (83 % des fonds affectés aux projets d'énergie).

Dans le secteur particulier des énergies nouvelles et renouvelables, on relève que l'action de la CEE et de ses Etats membres représente quelques 80 % des réalisations mondiales dans les PVD. Ces réalisations propres à l'action communautaire ont essentiellement pris la forme d'une aide financière à des projets choisis par les pays bénéficiaires eux-mêmes et mis en oeuvre au travers de plusieurs procédures. La plus traditionnelle et la plus spectaculaire est celle du Fonds européen de Développement (FED), instrument financier des Accords de Lomé. Ainsi, lors de la précédente Convention de Lomé I (1975-1980), les participations communautaires concernant les nouvelles énergies ont atteint 20 millions ECU, soit près de 14 % des fonds accordées aux projets énergétiques, ce qui est d'autant plus remarquable que l'on se trouve au tout début de la prise de conscience du rôle que joueront les nouvelles énergies dans l'approvisionnement énergétique des PVD. En y ajoutant, les actions menées au titre des autres instruments financiers, on relève pour la même période 1975-1980 une intervention communautaire totale de 35 MECU concernant 48 projets.

Le niveau de financement dans le secteur des énergies alternatives est encore modeste, mais la Communauté estime que la réussite des actions entreprises confirme la justesse de l'approche suivie, qui s'appuyait sur 6 considérations essentielles :

- Les techniques nouvelles mises en oeuvre étaient déjà suffisamment au point pour que les risques d'échec soient limités. La Communauté s'est refusée à voir dans les PVD un laboratoire où seraient testées de nouvelles techniques pouvant par la suite être utilisées en Europe. C'est l'approche inverse qui a été suivie, à savoir la mise en place de techniques préalablement mises au point puis adaptées aux besoins locaux.
- Les investissements dans ce domaine ont été utilisés de façon optimale afin de réduire les risques, les moyens financiers disponibles pour le développement n'autorisant aucun gaspillage.
- Les composantes "énergies nouvelles" ont été, dans la mesure du possible, intégrées dans des projets plus vastes à objectif non énergétique (par exemple, irrigation par pompage solaire d'un petit périmètre au sein d'un grand projet hydro-agricole).

- Les problèmes d'adaptation au milieu ont été soigneusement étudiés de façon à éviter des difficultés d'ordre psychologique pouvant aller jusqu'à de véritables rejets (c'est ainsi que l'étude sur l'utilisation des mélasses pour produire de l'éthanol en Haute-Volta tient le plus grand compte des traditions villageoises).
- Les projets financés par la Communauté se sont appuyés, dans toutes la mesure du possible, sur les organismes de recherche et d'application existant déjà dans les PVD. Il faut noter à ce propos le haut niveau d'expérience et de connaissance déjà atteint par certains centres de recherche nationaux.
- Le souci de lier à ces projets les opérations de formation nécessaires à leur réussite.

On peut penser qu'à l'avenir un septième point viendra s'ajouter à ces ensemble de préceptes. En effet, l'on est de plus en plus persuadé dans les milieux communautaires que l'aide au développement dans certains secteurs, et en particulier celui de l'énergie et des énergies nouvelles, nécessite une action de recherche et développement spécifique. Elle pourrait être conduite par des organismes européens en liaison avec des instituts de recherche des P.V.D. et orientée sur la mise en oeuvre de techniques spécialement adaptées aux conditions de ces pays.

Pour en terminer avec ce bilan du passé, il faut noter l'importance des actions de formation affectées au secteur de l'énergie. Celles-ci s'élevaient fin 1980 à plus de 30 millions d'ECU depuis la mise en oeuvre du Traité de Rome.

III. Evaluation des résultats

Cela est le bilan du passé. Quel en a été le résultat ? Rappelons tout d'abord une des règles d'or de la politique de coopération au développement de la Communauté : avant tout se mettre à l'écoute des populations concernées avec suffisamment de modestie et de réalisme pour identifier leurs besoins et la manière dont elles entendent les satisfaire. C'est l'évidence qui est apparue au cours des 20 dernières années à tous les praticiens du développement : les populations ne consentent un effort d'investissement, si minime soit-il, que si le projet qu'on leur propose correspond à leurs aspirations et a été

ressenti comme tel. En particulier, il apparaît qu'en matière énergétique, pour les PVD, la notion de progrès est incontestablement liée à l'électricité. Celle-ci leur apporte la possibilité d'un approvisionnement souple en eau, condition de la survie pour toute la "ceinture solaire" de l'Afrique, mais également l'accès aux signes extérieurs de développement que sont les appareils frigorifiques, la radio, la télévision, l'éclairage des villages. La capacité d'approvisionner les régions rurales des P.V.D. en électricité conditionne, en outre, leur chance d'une amorce d'industrialisation.

Si l'électricité constitue l'aspiration des habitants du Tiers Monde en tant que vecteur d'énergie, le problème fondamental immédiat reste celui de l'approvisionnement en eau tant pour la consommation des villageois eux-même que pour celle de leurs animaux. Et l'on aborde ici toute la diversité des situations liées aux conditions de disponibilité de cette eau : nappes nécessitant des pompages peu ou très profonds, nécessité de dessalement des eaux saumâtres, problème de désinfection des eaux polluées, etc. La réussite de l'aide au développement en matière d'énergies nouvelles sera jugée au travers de la capacité des détenteurs de la technologie de satisfaire ce besoin en eau des régions arides, clé de toute croissance future.

Un autre besoin énergétique important des P.V.D., et en particulier des pays africains, est constitué par la cuisson des aliments pour laquelle le bois est, à l'heure actuelle, le combustible quasi universel, au prix d'une désertification de certaines contrées. Des solutions de remplacement ont été expérimentées avec enthousiasme mais ont débouché sur d'amères désillusions, faute d'avoir pris en compte le facteur si important des mentalités. Pour les fours solaires destinés à cuire les aliments par concentration du rayonnement on avait tout simplement oublié que la plupart des femmes africaines préparent le repas à l'ombre et de préférence le soir. Et les quelques expériences d'utilisation de

gaz issu de la biomasse se sont également soldées par des demi-échecs. On avait pensé transposer la réussite enregistrée en Chine concernant la production de gaz à partir de la fermentation des déchets humains, animaux et végétaux. Mais une telle technique requiert des manipulations de ces déchets difficilement compatibles avec certaines mentalités et, là aussi, l'expérience ne s'est pas révélée entièrement satisfaisante.

Production d'électricité, approvisionnement en eau, cuisson des aliments. Ainsi peut-on résumer les besoins immédiats des P.V.D. liés au problème de l'énergie.

L'énergie solaire jouera un rôle important dans les pays en développement pour deux raisons :

- la première s'explique par l'absence d'infrastructure de ces pays,
- la seconde est liée à leur consommation actuellement très faible et à l'étendue des territoires à approvisionner.

Les gens qui, dans le monde, n'ont pas d'électricité sont au nombre de 1,5 milliard. Et l'on admet désormais que, malgré les efforts de développement technologique entrepris dans les pays industrialisés eux-même, l'avenir des énergies nouvelles, et surtout du solaire, réside dans les P.V.D. Or, l'on se trouve dans ce domaine pratiquement au niveau zéro. Et certains même d'ajouter qu'en ce qui concerne les expériences pratiques menées par les Européens en Afrique ceux-ci n'ont pas lieu d'en être très fiers car les échecs ont été largement plus nombreux que les réussites, surtout dans le domaine de la coopération bilatérale entre les Etats membre et les P.V.D. Autrement dit tout reste à faire dans ce domaine et toute action en profondeur passe par un développement systématique des opérations de recherche spécifiques aux conditions des P.V.D. C'est là un des espoirs de la Commission qui compte présenter des propositions en ce sens au Conseil des Ministres au cours des années 1981-1982.

Des initiatives ont cependant déjà été prises au niveau communautaire au cours des années passées pour favoriser les échanges d'information sur les énergies nouvelles. Elles ont surtout consisté en l'organisation de conférences internationales réunissant les meilleurs spécialistes de la question. Ce fut notamment le cas en mars 1979 où eut lieu à Varèse une conférence sur "l'énergie solaire au service du développement" pour discuter des problèmes de l'eau, des générateurs de puissance, de l'utilisation de la chaleur solaire ainsi que de la coopération internationale et régionale et des implications sociales de cette source d'énergie. Citons également trois autres conférences d'une portée plus générale mais dont une partie était systématiquement consacrée aux problèmes du développement : la conférence sur la "conversion photovoltaïque de l'énergie solaire" tenue à Cannes en Octobre 1980, la conférence sur "l'énergie tirée de la biomasse" à Brighton en novembre 1980 et enfin la conférence de Bruxelles sur "Les obstacles non techniques à l'utilisation de l'énergie solaire" (mai 1980).

IV. Sélection des techniques

L'enseignement du passé permet de classer les énergies nouvelles et renouvelables en deux secteurs préférentiels identifiables par la fiabilité, la rentabilité économique, la bonne adaptation des équipements mis en oeuvre. On sépare ainsi les technologies favorables à un développement immédiat susceptibles de remplacer les équipements classiques de celles encore en phase de recherche et d'adaptation pour lesquelles on s'oriente surtout vers des études de faisabilité, des opérations de coopération scientifique, des projets pilotes et de démonstration auxquels seront liées des actions de formation et d'assistance technique nécessaires dans tous les cas.

En ce qui concerne les technologies favorables à un développement immédiat, il y a lieu de citer :

- la conversion directe du rayonnement solaire par effet photovoltaïque

Cette technologie, parfaitement adaptée aux conditions de la plupart des PVD, n'est justifiable aujourd'hui sur le plan économique que pour des puissances crêtes inférieures à 2 KW. Les secteurs

préférentiels d'utilisation sont l'hydraulique villageoise et pastorale, l'électrification rurale notamment dans les dispensaires de brousse, les relais et petits émetteurs/récepteurs de télécommunications, le balisage et la signalisation dans les infrastructures de transport, la petite irrigation. Les projets ONG et FED sont de très bons supports pour cette technologie qui rencontre un immense succès dans nos réalisations précédentes (33 installations réparties en Afrique de l'Ouest, dans les pays de la Méditerranée, au Pakistan dont 15 opérationnelles depuis deux ans).

- La gazéification par carbonisation de déchets agro-industriels

Pour autant que les déchets ne puissent être mieux valorisés ailleurs (alimentation pour bétail, panneaux de particules, etc...), cette valorisation peut se faire dans des gazogènes produisant un gaz pauvre facilement utilisable dans les moteurs à combustion interne, les turbines à gaz, les brûleurs à gaz en remplacement du gasoil. La génération de puissances électriques, mécaniques ou thermiques se situe dans une fourchette 50-500 KW facilement modulable. Le problème dans ce secteur réside dans l'approvisionnement en matière premières sèches selon des quantités suffisantes et un rythme bien adapté.

Les secteurs préférentiels d'utilisation sont les agro-industries, l'électrification rurale, la moyenne irrigation, le séchage industriel, la traction en agriculture. Six projets financés sur les ressources du 4^o FED sont en cours d'exécution au titre des actions de démonstration. Un projet important (centrale électrique de 4,5 Mw en Guyana) est même lié entièrement à la valorisation des déchets de bois dans le cadre d'une exploitation forestière. Les résultats de tous ces projets s'annoncent d'ores et déjà positifs. Au titre du 5^o FED, plusieurs opérations sont en phase d'instruction marquant par là l'intérêt suscité par cette filière.

- la transformation de la biomasse en combustible solide

Une nouvelle voie valorisant les déchets végétaux consiste en leur transformation par compactage en combustibles solides pouvant remplacer le bois et le charbon de bois. Ces agro-industries sont particulièrement riches en déchets végétaux d'origine diverses qui ne sont pas valorisés (leur destruction constitue souvent une charge financière lourde). Leur utilisation en l'état est très difficile et très coûteuse compte tenu de leur densité naturelle très faible, de leur mauvais pouvoir calorifique et de leur manipulation malaisée. Le compactage dans des équipements spécialement conçus à cet effet résout ces problèmes offrant ainsi un débouché intéressant pour ces déchets (énergie dans les agro-industries, combustible de cuisson). Trois projets 4^o FED prévoient cette diversification en association avec des gazogènes. Plusieurs actions similaires sont prévues dans la programmation Lomé II.

- la distillation des déchets agro-industriels

Cette technologie est très prometteuse car elle permet de remplacer les combustibles issus du pétrole par un combustible équivalent (éthanol) pouvant utiliser les filières de commercialisation et d'utilisation déjà en place. Bien que ne devant pas poser de problèmes sur le plan technologique, elle nécessite toutefois une approche prudente à situer dans un contexte national et international notamment en ce qui concerne les aspects commerciaux et économiques. Trois études 4^o FED ont abordé cet aspect, l'une au Soudan s'est révélée négative, l'autre en Haute-Volta a eu des résultats positifs dans la perspective d'une application à la cuisson (réduction de la consommation de bois de chauffe et de la désertification), la troisième en Côte d'Ivoire est en cours d'exécution. La programmation de Lomé II ne fait pas apparaître un développement important dans ce secteur.

- La microhydraulique

Elle sera adaptée aux chutes à faible potentiel hydraulique pour des puissances pouvant se situer dans une fourchette 10-100 Kw. Cette technologie n'est intéressante que dans la mesure où les aménagements civils peuvent être réalisés localement en faisant usage de matériaux traditionnels (bois, pierres, terre, etc...). De plus, il importe que l'utilisation de la production électrique soit située à proximité de la microcentrale. Les secteurs préférentiels d'utilisation sont l'irrigation par pompage électrique, l'électrification rurale, les petites industries notamment dans les projets de microréalisations et d'ONG. Des financements sur les ressources du FED pourraient être envisagés pour autant que l'on puisse grouper au moins une dizaine de ces installations. Aucune réalisation pratique n'a été faite au titre du 4^o FED, si ce n'est une étude d'intégration portant sur 4 pays d'Afrique de l'Ouest et menée jusqu'à la phase d'avant-projet détaillé. Par contre, Lomé II comporte plusieurs demandes dans ce secteur (études et réalisations).

- L'énergie éolienne

Ce secteur comprend deux types d'équipements, l'un purement mécanique est surtout destiné aux besoins de pompage d'eau et peut se révéler satisfaisant à condition d'assurer un entretien permanent, l'autre concerne les aérogénérateurs d'électricité pouvant servir à divers besoins (électrification rurale, irrigation, force motrice, etc...) mais encore sujets à des problèmes d'adaptation qui tendent à les écarter pour des applications immédiates. Deux opérations mettant en oeuvre des éoliennes mécaniques et leur fabrication locale ont été financées au titre de l'aide ONG, les résultats n'en sont pas encore connus. Par contre le 5^o FED connaîtra un certain développement de cette technologie en milieu rural sous forme d'intégration aux projets et d'actions de démonstration.

- la géothermie des hautes enthalpies : elle concerne l'exploitation des gisements géothermiques à haute et moyenne température ($t > 150^{\circ}\text{C}$) permettant la génération de puissances électriques supérieures au MW. Compte tenu de la difficulté d'associer des besoins importants en énergie électrique avec la présence de gisements géothermiques exploitables (aspects économiques et techniques), cette technologie restera l'apanage de cas isolés nécessitant d'ailleurs des actions de prospection importantes et coûteuses (cas de l'Ethiopie où un projet de reconnaissance figure au titre du 4^o FED).

Seul le 5^o FED pourrait faire l'objet d'actions similaires éventuellement poussées jusqu'à la réalisation de centrales électriques.

- la rationalisation de l'énergie

Ce problème très important est la condition première à tout développement énergétique. Elle peut se faire sous de multiples formes à tous les niveaux de la vie économique. Compte tenu de l'importance de la consommation de bois de chauffe dans les PVD (plus de 50 % de la consommation d'énergie), un effort sérieux doit être entrepris pour réduire cette contrainte notamment en matière de cuisson. Un projet ONG de cuisinières améliorées en Haute-Volta aborde ce problème avec succès. L'opération devrait être répétée dans d'autres pays si possible par le même canal de financement.

Parmi les technologies encore en phase de recherche et de développement mais qui pourraient se révéler intéressantes d'ici quelques années, il y a lieu de citer :

- au titre du rayonnement solaire direct : l'effet photovoltaïque pour des puissances supérieures à 2 KW crête, la conversion thermique pour la génération de force motrice et d'électricité ;

- en ce qui concerne l'énergie solaire indirecte : la valorisation du gradient thermique des mers et de l'énergie des vagues, la transformation de la biomasse par fermentation anaérobie éventuellement étendue à l'utilisation des matières fécales et aux effluents urbains, les aérogénérateurs;
- pour l'énergie géothermique : la valorisation des basses enthalpies pour la génération de puissances inférieures au MW (applications possibles dans le Nord de l'Afrique) et le séchage industriel (Afrique centrale);
- pour l'énergie lunaire : la valorisation de l'énergie des marées où seules quelques potentialités isolées peuvent être envisagées.

Plusieurs projets (études et réalisations) mettant en oeuvre ces technologies ont été financées sur le 4^o FED (fermentation de la biomasse, énergie des mers et des vagues). Seuls les premiers résultats d'un projet au Niger (générateurs thermodynamiques), ayant fait l'objet de nombreux aléas en cours d'exécution, sont aujourd'hui exploitables.

Tous les instruments financiers de la coopération CEE-PVD, à l'exception de l'aide aux ONG, peuvent être le support de ces actions. En particulier, la programmation 5^o FED y accorde une part importante notamment au niveau régional.

S'agissant dans ce secteur essentiellement de coopération scientifique pouvant aborder des actions de démonstration et des projets pilotes, l'intérêt de la création de centres d'application sur les énergies alternatives à vocation nationale ou régionale, est évident. Deux de ces centres sont inscrits dans nos actions : l'un en Egypte (projet EREDO), l'autre en Afrique de l'Ouest (projet CRES).

V. Orientations futures

Quelles sont les orientations futures de la Communauté envers les PVD en matière énergétique ?

Aujourd'hui les perspectives de la nouvelle Convention de Lomé en matière de coopération énergétique ouvrent un champ très large. L'importance du sujet a été pleinement reconnue au cours des négociations de Lomé II aussi bien par les ACP que par les Européens, et un accord est intervenu sur l'inclusion dans la nouvelle convention de dispositions très complexes ayant trait à l'énergie (article 76). Le but de la coopération énergétique, tel qu'il est défini dans ces dispositions, est de permettre aux Etats ACP d'atteindre leur "auto-suffisance" énergétique par le développement de leurs "potentialités énergétiques traditionnelles et non-traditionnelles". La nouvelle Convention permet donc d'attaquer le problème de l'énergie sur tous les fronts, qu'il s'agisse de poursuivre l'équipement hydro-électrique, de mettre en oeuvre des ressources classiques non exploitées ou de promouvoir les énergies nouvelles.

L'accent est plus spécialement mis dans la nouvelle Convention sur ces énergies nouvelles, désignées dans le texte comme "énergies de remplacement". Ainsi se trouve explicitement reconnu l'intérêt particulier des énergies alternatives pour les pays en développement, du fait notamment de leur meilleure adaptation aux problèmes spécifiques de ces pays que les énergies traditionnelles qui exigent pour leur rentabilité une concentration des puissances produites. L'isolement de la plupart des pays ACP et la faible densité des populations à desservir conduisent au contraire à rechercher des formes d'énergie qui autorisent, dans des bonnes conditions de fiabilité et de maintenance, une production dispersée de faibles puissances. D'autre part, les conditions physiques propres au ACP

sont souvent propices au développement des énergies nouvelles : conditions d'ensoleillement (zones saharienne et sahélienne), puissance des vents (Cap Vert, Comores, etc...), réserves géothermiques (Ethiopie, Somalie, etc...), couverture végétale et production agricole (forêt équatoriale et plantation de canne à sucre favorable au développement de la biomasse), possibilités offertes par la micro-hydraulique ou par l'exploitation de l'énergie thermique des mers (baie d'Abidjan), etc...

Pour la promotion de ces ressources énergétiques des ACP, tout l'éventail des moyens financiers prévus dans Lomé II est disponible. Cela va des subventions et des prêts à conditions spéciales (0.75 ou 1 %, 40 ans dont 10 ans de grâce) du FED jusqu'aux capitaux à risques et aux prêts bonifiés gérés par la BEI. L'article 59 prévoit même la possibilité pour la BEI de procéder à des prêts non bonifiés lorsqu'il s'agit d'investissements énergétiques (ou miniers) considérés par les Etats ACP et par la Communauté comme étant "d'intérêt mutuel".

D'une manière générale, le volume financier qui sera consacré à la coopération énergétique dans Lomé II sera sensiblement le même que celui enregistré dans la mise en oeuvre de Lomé I. C'est ainsi qu'on peut estimer à 7 % des fonds affectés aux projets la partie consacrée à la coopération énergétique. D'ores et déjà on constate dans la programmation de Lomé II une importance accrue des opérations de coopération régionale ainsi qu'un développement assez important des projets valorisant les énergies alternatives. L'importance de celles-ci est aujourd'hui reconnue compte tenu que la plupart des Etats ne disposent pas de ressources fossiles exploitables.

Malgré cela, il y a lieu de noter un certain manque d'intérêt de la part de nombreux Etats ACP pour le développement des énergies nouvelles et renouvelables, puisque seulement 30 pays sur 61 ont inscrit dans leur programme indicatif ce type d'action. La Commission se doit donc d'exercer un certain interventionisme en vue de promouvoir les nouvelles énergies dans les ACP.

D'une manière concrète, les orientations futures devraient permettre à la Communauté de :

- apporter sa connaissance des problèmes énergétiques et des cofinancements en vue d'aider les PVD dans la prospection, l'exploitation et la commercialisation des combustibles classiques non encore utilisés;
- soutenir les projets de grands barrages et de réseaux de transport en tenant compte des effets induits sur l'environnement notamment en matière de santé, de déplacement de populations, etc...;
- concentrer les efforts communs en matière d'application des énergies nouvelles et renouvelables dans trois secteurs d'ores et déjà identifiables, à savoir : la micro-hydraulique, l'effet solaire photovoltaïque, la valorisation des déchets agro-industriels;
- appliquer systématiquement le réflexe énergie dans les projets classiques financés sur les ressources du FED tels que les projets agricoles, d'électrification rurale, d'hydraulique villageoise et pastorale, de transports et de télécommunications, de la lutte contre la désertification. Cette action doit se situer sur trois niveaux : meilleure définition des besoins énergétiques, introduction de nouvelles formes d'énergie dans les projets, amélioration des rendements au niveau de l'utilisation d'énergie;
- favoriser la mise en place de structures d'accueil nationales et régionales à vocation énergétique où l'accent sera mis sur les aspects sociaux, de recherche et de développement, d'information et de formation, de standardisation, mais surtout sur le développement de fabrications locales par le biais de petites et moyennes entreprises locales. A cet effet le Centre de Développement Industriel (CDI) peut jouer un rôle déterminant dans les ACP.

- promouvoir la mise en place de projets de démonstration dans les pays non encore sensibilisés;
- développer les actions de formation et d'assistance technique notamment en matière de planification énergétique pour autant que ces actions soient liées à des cas concrets;
- favoriser la diffusion des connaissances acquises notamment par l'évaluation des résultats;
- favoriser le rapprochement industrie, recherche, coopération en utilisant notamment le support des autres activités de la Commission qui pourraient être ainsi adaptées en partie aux besoins des PVD.

VI. Conclusion.

La conclusion de ce premier bilan et des orientations qui en découlent apparaîtra dans une étude d'évaluation des équipements et systèmes déjà opérationnels dans les ACP qui fera l'objet de la part de la Commission des Communautés européennes d'une diffusion très large dans les prochains mois. Cette étude fait apparaître que, si les résultats attendus ne sont pas totalement positifs, ils sont du moins très encourageants pour poursuivre l'effort entrepris avec à la fois plus d'ambition dans les objectifs et simultanément plus de rigueur dans la gestion des projets.

COOPERATION ENERGETIQUE CEE-PVD

Fig. 1

1958 - 1980

INSTRUMENTS FINANCIERS	BENEFICIAIRES	PERIODES D'EXECUTION	AIDE AUX PROJETS		PROJETS COOP. ENERG.	
			Don M ECU	Prêts M ECU	Totaux M ECU	Part E.A. M ECU
Conv. Appl. T. R.	E I - OM	1958 - 1962	581	-	0,7	0,36
Yaoundé I	EAMA - OM	1965 - 1968	680	50	24	0,04
Yaoundé II	EAMA - OM	1966 - 1974	810	90	15	-
Lomé I	ACP - OM	1975 - 1980	2220	495	146	26
Méditerranée	MMI	1976 - 1980	164	143	12	12
Budget	PVD n.a.	1976 ~ 1980	333	-	2,4	2,4
Budget	ONG	1976 ~ 1980	43	-	1,7	1,7
Urgence	PVD non ACP	1975 ~ 1980	70	-	-	-
TOTALUX			5729		201,8	42,5

P. m. : Lomé II - Aide aux projets 3712

L'ENERGIE SOLAIRE ET SES APPLICATIONS DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

OPHEYLISSEM
7 - 11 SEPTEMBRE 1981.

ORGANISÉ PAR LE COTA
(COLLECTIF D'ÉCHANGES POUR LA TECHNOLOGIE APPROPRIÉE)

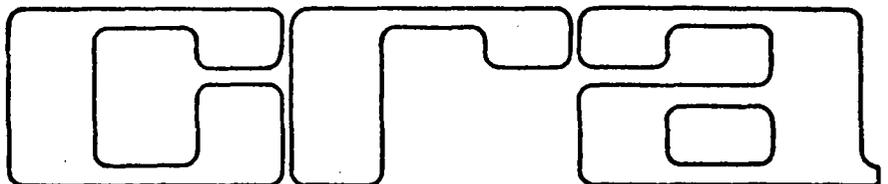
PROJET D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE D'EAU SANITAIRE PAR CAPTEURS SOLAIRES
DANS LE VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND, EN GRANDE KABYLIE
(REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE)

A. DE HERDE,
CHARGÉ DE COURS



université catholique de louvain
faculté des sciences appliquées

unité architecture
centre de recherches en architecture



place du levant, 1 B-1348 louvain-la-neuve

tél: 010/418181

TABLE DES MATIERES

1. PRESENTATION DU VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND	page 2
2. LA PHILOSOPHIE DU PROJET	page 4
3. LA DEMARCHE PROPOSEE	page 5
3.1. Les données climatiques	page 5
3.2. Le programme	page 9
3.3. Le type de circulation choisie	page 10
3.4. Le type de capteur proposé	page 11
3.5. Les données de calcul	page 16
4. LE PROJET PARTICULIER AU VILLAGE	page 19
BIBLIOGRAPHIE	page 25

1. PRESENTATION DU VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND

Ait Ali ou Mhend, village de Grande Kabylie, est perché sur le versant Sud d'une des crêtes du Massif du Djurdjura, dans l'Atlas Tellien Oriental, en République Algérienne Démocratique et Populaire. Il se situe à une latitude de 36° 40' Nord, une longitude de 4° 30' Est, et une altitude de 967m. (Bruxelles a une latitude de 50° 47' Nord, et une longitude de 4° 21' Est). La perspective ci-dessous, donne l'aspect général du village.

Le relevé systématique du village a été effectué en 1978, par Mr. Ph. Theunissen, en collaboration avec MM. Mahmoud Bouadi et Richard Rome. Le village comporte 59 cours, occupées par une population totale de 454 habitants.

Le réseau hydrographique est composé uniquement de résurgences issues de la montagne, formant dans la vallée l'Oued Sebaou, et permettant une alimentation stable du village ; la région présente une végétation constituée de frênes, de chênes-liège, d'oliviers, de figuiers et de vignes.

Les murs extérieurs se présentent sous la forme d'une maçonnerie en moëllons bruts d'une épaisseur de 45 à 55cm. Les toitures sont à deux versants, et la structure portante est constituée de trois pannes : une panne faitière et deux pannes intermédiaires, en rondins de 15 à 20cm de Ø. La toiture est composée d'un lattis (enchevêtrement de branches), couvert d'un mélange d'argile et de paille ; enfin les tuiles de forme demi-tronconique sont posées en deux couches superposées. Les baies de petites dimensions (20 X 40cm) sont situées dans la partie supérieure du mur pignon, et possèdent souvent un volet en bois en guise de fermeture.



Fig.1 - Perspective du village

2. LA PHILOSOPHIE DU PROJET

Après s'être rassemblée, la DJEMAA (assemblée représentant la communauté toute entière par l'intermédiaire de personnes élues par leurs familles) donna à l'équipe du C.R.A. l'autorisation d'effectuer le survey du village ; elle désigna un de leurs membres qui fut chargé de l'accueil, et de faire auprès de l'assemblée, le compte-rendu des "activités" du groupe.

Cette décision de la Djémaa était essentielle et obligatoire pour le bon déroulement de l'étude : sans elle, il n'était pas question de franchir le "seuil" du village.

D'autre part, la philosophie d'intervention du C.R.A. repose sur la trilogie : INFORMATION - ECHANGE - ACTION.

L'information sera la plus complète possible et concernera le maximum de membres de la communauté villageoise : pour cela, elle sera simple, compréhensible et veillera à démystifier la survalorisation du savoir, surtout "technique". L'échange permettra de déterminer les actions à mener et les moyens nécessaires pour les réaliser : dans le cas présent, l'interlocuteur privilégié est la Djémaa. L'action sera l'aboutissement du dialogue, permettant une participation mutuelle, réelle, à toutes les phases d'un projet : par exemple, en remettant en pratique l'autoconstruction villageoise.

Le projet doit donc avoir comme objectif premier, l'autodétermination du groupe concerné, et non le profit financier des promoteurs du projet.

Les informations rassemblées lors du survey ont été analysées et ont permis d'élaborer, avec l'assemblée du village, les propositions d'actions suivantes :

- rendre les sentiers plus propres et plus praticables ;
- mettre en place un système d'évacuation des eaux usées, et améliorer les latrines ;

- rénover les toitures
- * aménager des bains-douches avec eau chaude ;
- aménager l'espace de la Djemaa ;
- aménager un centre d'apprentissage et de production de tissage pour les femmes.

3. LA DEMARCHE PROPOSEE

L'option de départ pour l'étude du projet des bains-douches, est l'utilisation de l'énergie solaire comme source de chauffage de l'eau sanitaire. Et cela, en souhaitant une réalisation de l'ensemble basée sur des matériaux à trouver sur place et des techniques suffisamment simples pour être assimilées et utilisées par les artisans du village. Ainsi, l'équipement sera facile à contrôler et à entretenir, tout en sachant que la "technologie solaire" n'aura d'utilité que si elle est socialement acceptée.

3.1. LES DONNEES CLIMATIQUES

L'été se caractérise par des temps très chauds et très secs, tempérés seulement en bordure de la mer ; tandis que l'hiver est généralement plus frais et plus humide. L'altitude va encore légèrement faire diminuer les températures observées au niveau de la mer et augmenter les précipitations hivernales ; elle va aussi permettre l'apparition de gelées au sol et de précipitations sous forme de neige ou plus rarement de grêle.

De plus, le vent règne pendant presque toute l'année, à cause de l'altitude.

Les données climatiques sont nécessaires pour la conception, la construction et les calculs du système : elles sont généralement disponibles à la station météorologique la plus proche et suffisamment représentative de l'endroit choisi. Dans le cas du village concerné, les données météorologiques locales ont été extrapolées des résultats de quatre stations voisines : Aghrib, Fort National, Michelet et Yakouren. Il s'agit des données sur l'ensoleillement, les températures et le vent : celles-ci sont rassemblées dans les tableaux qui suivent pour les mois de juin, août et décembre, avec en comparaison, les données d'Uccle.

TEMPERATURE	AIT ALI OU MHEND			UCCLE		
	6	8	12	6	8	12
Températures moyennes journalières	15,2 à 24,9	19,3 à 30,9	5 à 11			
Températures moyennes journalières :						
- nocturne				12,8	14,3	3
- diurne				17,2	18	3,7

TABLEAU N°1

Remarque : Dans la région étudiée des températures extrêmes inférieures à 0°C ont déjà été enregistrées dans les mois de novembre à avril.

TABLEAU N°2

ENSOLEILLEMENT	AIT ALI OU MHEND			UCCLE		
	15 Juin	15 Août	15 Déc.	15 Juin	15 Août	15 Déc.
Hauteur du soleil à 12 h	76,5°	67,5°	30°	62°	53°	16°
Eclairement énergétique global par ciel serein en W/m ² à 12 h pour						
- une pente de 0°	943	884	409	799	755	205
- une pente de 45° Sud	825	886	789	853	911	525
Exposition énergétique globale journalière par ciel serein en Wh/m ² pour						
- une pente de 0°	8735	7758	2700	7600	6300	1000
- une pente de 45° Sud	6855	7225	5355	7000	7000	2800
Insolation directe relative	74%	80%	52%	40%	45%	17%
Exposition énergétique globale journalière pondérée en Wh/m ² pour						
- une pente de 0°	7217	6775	1783	4712	4032	460
- une pente de 45° Sud	5678	6311	3536	4060	4340	1120

Les deux figures suivantes donnent l'évolution des températures ambiantes, pour les différentes heures de la journée, pour le mois de décembre et pour le mois d'août.

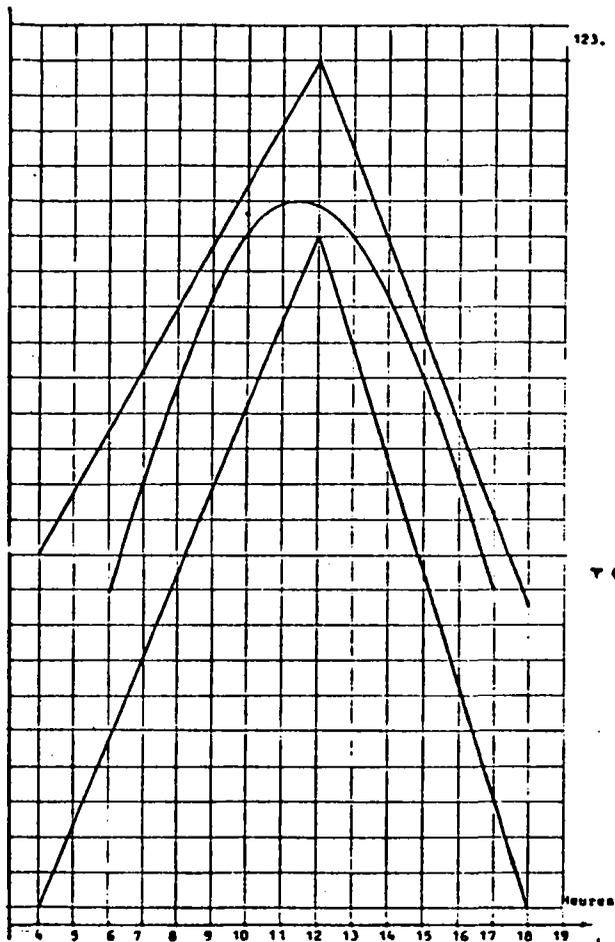


Fig. 3 - Courbes de température estivale

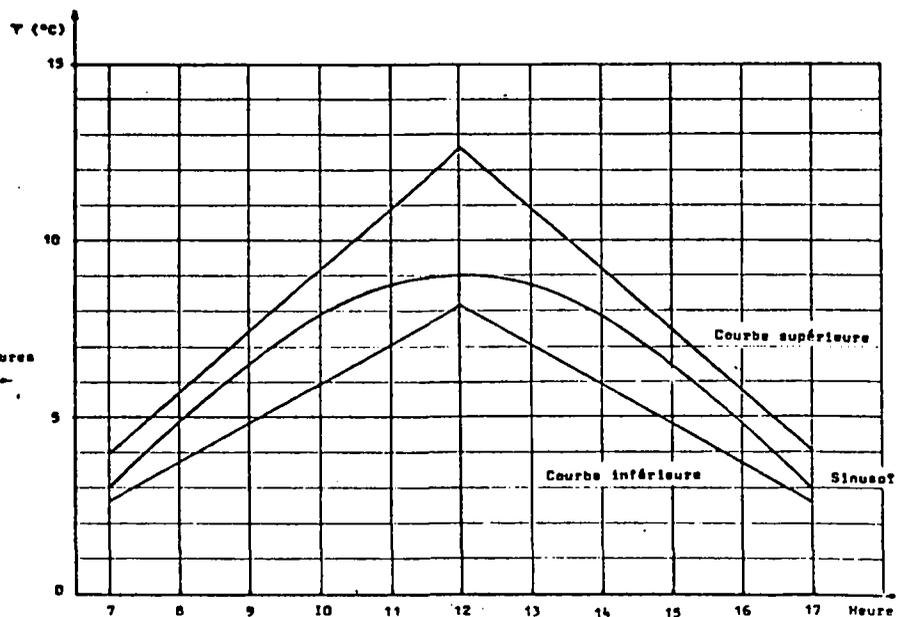


Fig. 2 - Courbes de température hivernale

Quant au vent, celui-ci souffle durant toute l'année à une vitesse de 25 à 35KM/h, soit ± 10 m/sec.

Enfin l'utilisation d'eau de distribution pour alimenter le circuit primaire de l'installation, ne peut se faire que si celle-ci ne présente aucun risque de corrosion ou de dépôt. Provenant de sources montagneuses, cette eau paraît peu encline à contenir des agents corrosifs, mais risque de posséder une teneur en calcium ou magnésium trop élevée, et ainsi favoriser les dépôts de tartre. De l'analyse effectuée sur un échantillon prélevé sur place, il ressort que l'eau utilisée est de la catégorie "eau douce", présentant peu de risques de dépôt.

3.2. LE PROGRAMME

L'utilisation actuelle d'eau chaude par les villageois des Aït Ali ou Mhend se limite aux consommations suivantes :

- eau ménagère et culinaire chauffée anciennement sur feu de bois et actuellement grâce à l'utilisation de gaz.
- eau chaude sanitaire, principalement en hiver. De plus, les hommes se rendent habituellement à la ville voisine pour prendre un bain ou une douche chaque semaine.
- eau chaude à température élevée destinée au lavage et à la coloration de la laine.

Le choix d'un premier projet s'est porté sur un établissement sanitaire pour la communauté masculine. Au niveau des besoins en quantité d'eau chaude, la détermination ne peut se faire en tenant compte uniquement des utilisations actuelles : en effet, un besoin satisfait en engendre souvent un autre plus élevé.

La communauté masculine âgée de plus de 8 ans, s'élève à \pm 150 personnes. Avec un minimum de 4 minutes par douche, soit 60 litres d'eau chaude, et une seule utilisation par semaine par personne, on peut tabler sur 25 douches par jour, et donc une cuve de stockage, de maximum 1.500 litres, afin d'assurer l'eau chaude à chacun.

3.3. LE TYPE DE CIRCULATION CHOISIE

Deux choix sont possibles : la circulation forcée avec une pompe électrique, ou la circulation naturelle fonctionnant sur le principe de la thermocirculation de l'eau. Si la seconde est autorégulatrice et dépendante uniquement de la conception de l'installation, la première fait intervenir un engin de pompage simple, peut-être, mais aussi des systèmes de régulation sophistiqués, à montage, réglage et réparation demandant l'intervention de "techniciens compétents". De plus, le fonctionnement est alors dépendant de l'apport constant d'électricité, même si dans ce cas il est possible d'imaginer un système de captation de l'énergie solaire par cellules photovoltaïques. Malgré un faible rendement, elles pourraient être utilisées vu la simultanéité des périodes d'utilisation et d'ensoleillement.

Mais, en cas de panne de l'installation, il est à craindre l'impossibilité pour le circuit de fonctionner par thermo-siphon, et en période d'ensoleillement élevé, une surchauffe des capteurs peut entraîner la rupture de tuyauteries.

L'autorégulation du système, la simplicité de fonctionnement, l'absence d'une autre source d'énergie, ont fait que le choix s'est porté sur la circulation naturelle de l'eau chaude du système.

La circulation naturelle, telle qu'elle est représentée à la fig.4, se déroulera lorsque le collecteur sera assez chaud pour établir une différence de densité entre l'eau froide qui entre dans le collecteur et l'eau chaude qui en sort et qui alimente le réservoir.

fig.4 page suivante

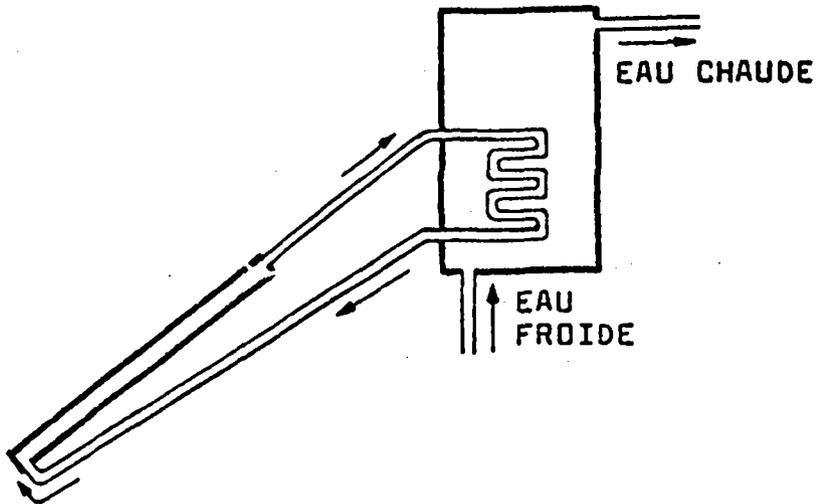


Fig. 4

3.4. LE TYPE DE CAPTEUR PROPOSE

Lorsque l'on expose directement de l'eau au soleil, dans un bassin par exemple, on constate une augmentation de sa température de quelques degrés, puis une stabilisation de celle-ci. Dans cette position d'équilibre, l'eau perd autant d'énergie calorifique qu'elle n'en reçoit et cela par :

- rayonnement vers l'environnement
- convection avec l'air ambiant
- conduction dans les matériaux qui composent le récipient contenant l'eau

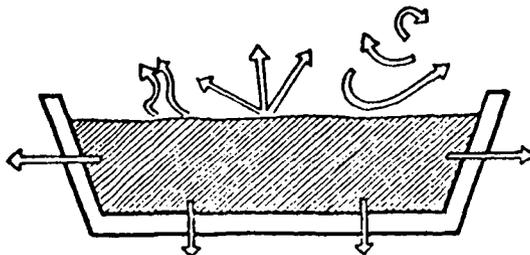


Fig. 5

Pour augmenter la température d'équilibre atteinte par l'eau, il faut diminuer les pertes : on y arrive en plaçant une vitre au-dessus de l'eau, ce qui permet l'effet de serre, et en calorifugeant

le récipient. C'est ainsi qu'apparaît le capteur plan à eau.

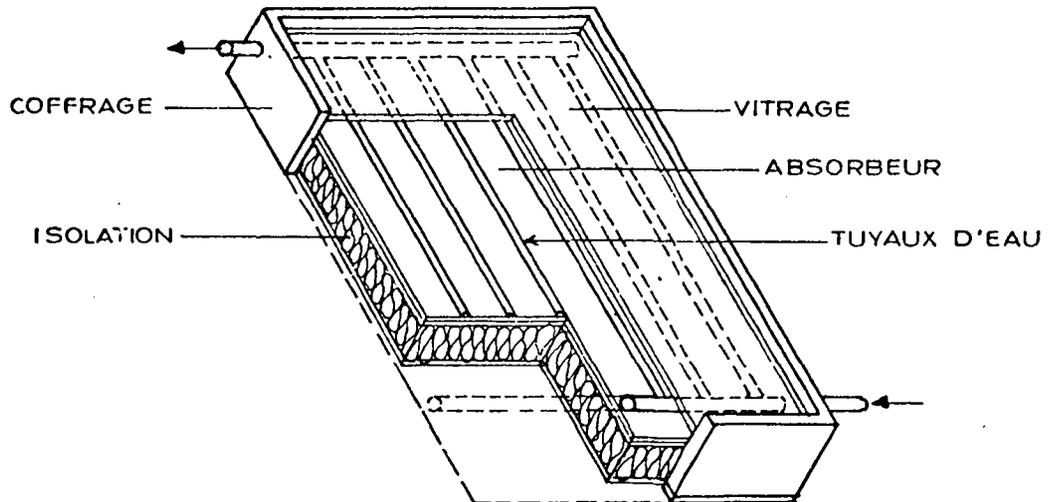


Fig. 6

Celui-ci consiste en une boîte (coffrage) avec de l'isolation au fond, sur laquelle est placée une tôle métallique (l'absorbeur), comportant les tubes des circulations d'eau à chauffer, le tout peint en une couleur absorbante, et la boîte est couverte d'un vitrage.

(remarque : l'aspect de la surface de l'absorbeur demande d'y attacher une grande importance. En effet, on va tenter au maximum de se rapprocher du "corps noir" c'est-à-dire d'un élément ou l'ensemble du rayonnement est absorbé par cet élément. La peinture sera mate pour éviter les réflexions et foncée pour avoir un bon coefficient d'absorption. De plus elle devra supporter des températures avoisinant des 100° C. Enfin cette couche sera la plus mince possible car les peintures sont en général des matières isolantes)

Si l'eau reste le fluide caloporteur le plus facilement utilisable, il faut prendre garde au gel possible à certaines périodes de l'hiver. Il existe quatre moyens de protection contre le gel :

- isoler les capteurs par l'avant lors des périodes froides. Cela demande une manutention importante, et malgré tout, l'isolation ne fait que retarder l'effet du gel.
- en plus de cette isolation et même sans, une faible circulation d'eau va diminuer la possibilité de gel tant en refroidissant malheureusement l'eau stockée. Mais ceci n'est possible qu'avec une circulation forcée, ce qui n'est pas le cas proposé ici.
- purger le circuit demande de prévoir les périodes de gel.
- utiliser un liquide caloporteur antigel, en ajoutant par exemple à l'eau de l'éthylène glycol. La figure 7 ci-dessous donne le % en volume de glycol à ajouter pour les températures minimales extérieures.

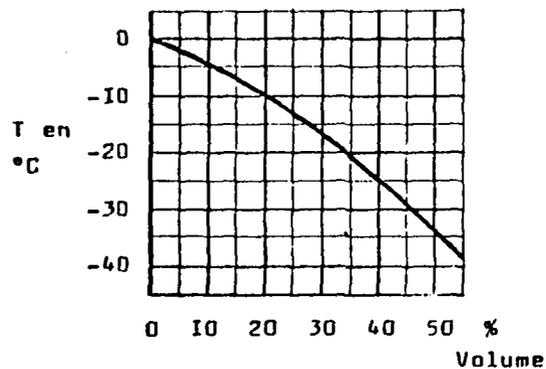


Fig. 7

De plus, il a été envisagé de proposer un collecteur sans vitrages : les fig.8 ci-dessous donnent la différence de comportement des 2 collecteurs quant aux pertes calorifiques, dans le premier cas l'entièreté du rayonnement solaire frappe l'absorbeur et dans l'autre cas, il y aura présence de l'effet de serre.

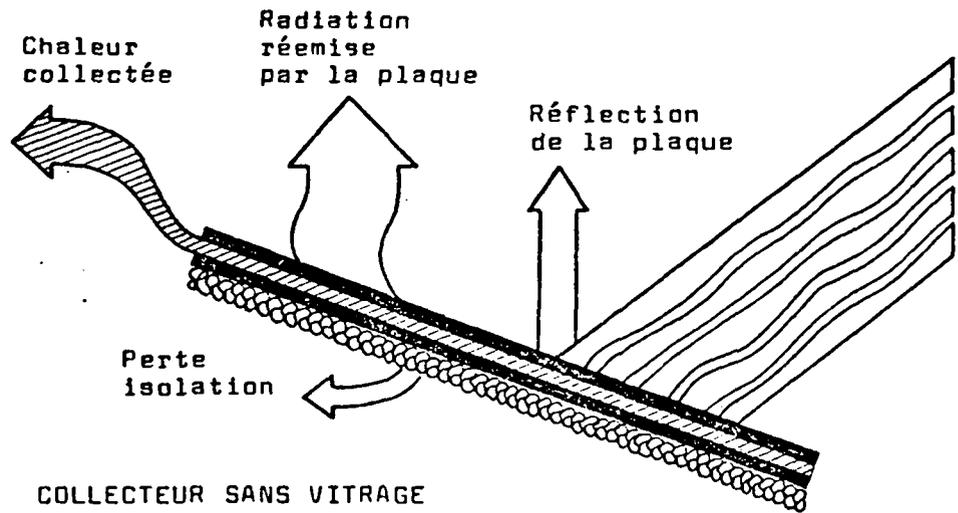


Fig. 8.1

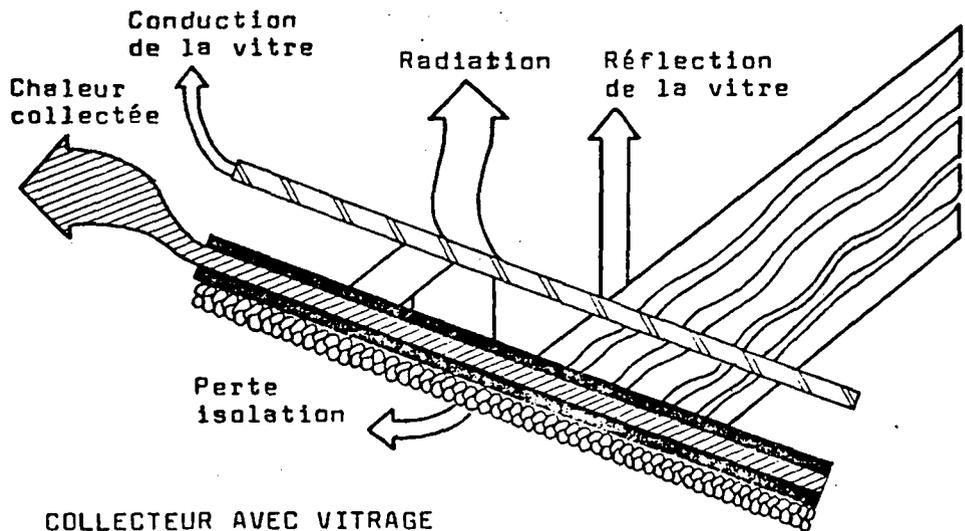


Fig. 8.2

Quant à l'absorbeur, comme la circulation se fera par thermosyphon, il y a intérêt à ce que le capteur réponde rapidement au rayonnement solaire; Ce qui demande une faible quantité d'eau présente dans l'absorbeur. En effet, en cas d'ensoleillement intermittent, l'eau d'un capteur à forte capacité n'a souvent pas le temps de s'échauffer

suffisamment pour transmettre des calories au stockage.

Avant d'aborder les données des calculs, il reste à énumérer les autres composants de l'installation et à savoir quels sont les matériaux locaux disponibles.

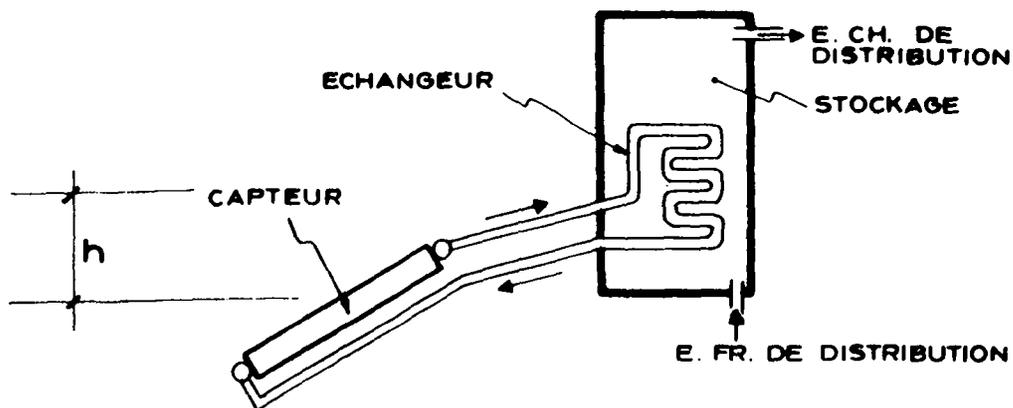


Fig. 9

- robinet permettant d'isoler certaines parties de l'installation les unes des autres
- robinet de vidange des capteurs et de la cuve de stockage
- robinet de remplissage des capteurs
- clapet anti-retour sur le circuit capteurs évitant tout refroidissement nocturne de l'eau de stockage, et sur l'arrivée d'eau froide au stockage, pour éviter un refoulement d'eau chaude en cas de baisse de pression
- purgeur d'air au point haut de l'installation
- vase d'expansion pour compenser les variations de volume, dues aux variations de température. Le vase d'expansion peut être de deux types : ouvert ou fermé. Malgré son coût moindre, le vase d'expansion ouvert n'est pas avantageux pour ce type d'application. En effet, il présente le désavantage de permettre l'évaporation et ainsi de demander une surveillance régulière. De plus, il entraînera une perte thermique plus élevée. Un vase

d'expansion fermé à membrane est donc préférable et, afin d'éviter le contact de la membrane avec de l'eau très chaude, il sera placé sur les tuyauteries de retour afin d'être en contact avec l'eau la plus froide.

- soupape de sécurité qui laisse échapper la vapeur en excès, si la pression devient trop forte en cas de surchauffe.
- élément "chapeau" situé au dessus de l'arrivée d'eau froide de manière à éviter que, sous l'action de la pression (lorsqu'on tire de l'eau chaude par exemple), l'eau froide ne se diffuse trop brusquement dans tout le réservoir.

Quant aux matériaux,

- le bois est disponible dans la région, mais en quantité limitée et il est probable que son exploitation et utilisation future en soient restreints, dans le cadre de la conservation du patrimoine forestier de la région.
- le liège disponible dans la région pourra être utilisé comme élément isolant.
- les éléments métalliques et le verre sont disponibles sur le marché local.

3.5. LES DONNEES DE CALCUL

Pour d'amples renseignements scientifiques, le lecteur se référera à la bibliographie : ce paragraphe-ci a pour but d'aider le concepteur à établir rapidement ses données de calcul.

3.5.1. Choix de la pente des capteurs

On préconise

- + d'incliner le capteur d'un angle égal à la latitude du lieu pour une optimisation annuelle
- + d'incliner le capteur d'un angle de 10° en moins que la latitude du lieu pour optimiser la période estivale
- + d'incliner le capteur d'un angle de 10° en plus que la latitude du lieu pour optimiser la période hivernale.

Ces inclinaisons différentes résultent simplement du fait qu'une surface collectrice reçoit le maximum lorsque les rayons solaires lui sont perpendiculaires.

Concernant le village, le choix de l'angle s'est fait de façon à optimiser surtout la captation au moment où elle est la plus faible, d'où une inclinaison choisie à 45°, en orientation sud.

3.5.2. Energie effectivement transmise au fluide caloporteur.

connaissant l'exposition énergétique pondérée pour la pente définie du capteur et pour l'orientation choisie, et connaissant le rendement des capteurs, on trouve l'énergie effectivement transmise au fluide caloporteur.

Le rendement du capteur est le rapport de l'énergie effectivement transmise au fluide à l'énergie incidente sur la surface du collecteur.

On considère en général un rendement de 35% en période hivernale

3.5.3. Pertes calorifiques d'un capteur

Les pertes calorifiques d'un capteur sont définies par son coefficient de pertes K_t en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$. Ce coefficient comporte les pertes latérales et les pertes par l'avant du capteur.

Pour une épaisseur de

5 cm d'isolant, les pertes arrières et latérales = $1,3W/m^2 \text{ } ^\circ C$

10 cm d'isolant, les pertes arrières et latérales = $0,65W/m^2 \text{ } ^\circ C$

15 cm d'isolant, les pertes arrières et latérales = $0,4W/m^2 \text{ } ^\circ C$

Pour ce qui est des pertes par l'avant, le tableau 3 ci-dessous, donne ces différentes valeurs en fonction de la vitesse du vent et de l'absence ou de la présence d'un vitrage.

	10m/sec	5m/sec	0m/sec
avec vitrage	7W/m ² °C	6,5	4,5
sans vitrage	50	31	12

TABLEAU N°3

3.5.4. Calcul du diamètre de la tuyauterie de circulation

Il faut, au départ, connaître le circuit dans son développement complet. La figure 9 en donne le schéma simplifié. Le circuit étant symétrique, on peut considérer que le fluide est chauffé au point milieu du compteur et refroidi au point milieu de l'échangeur. La différence de pression ΔP due à la colonne d'eau froide plus lourde que la colonne d'eau chaude sera donnée par la relation suivante :

$$\Delta P = h (\rho_{fr} - \rho_{ch})$$

avec h = hauteur utile en m

ρ = masse volumique de l'eau

La figure 10, ci-dessous donne la masse volumique de l'eau, en fonction de sa température.

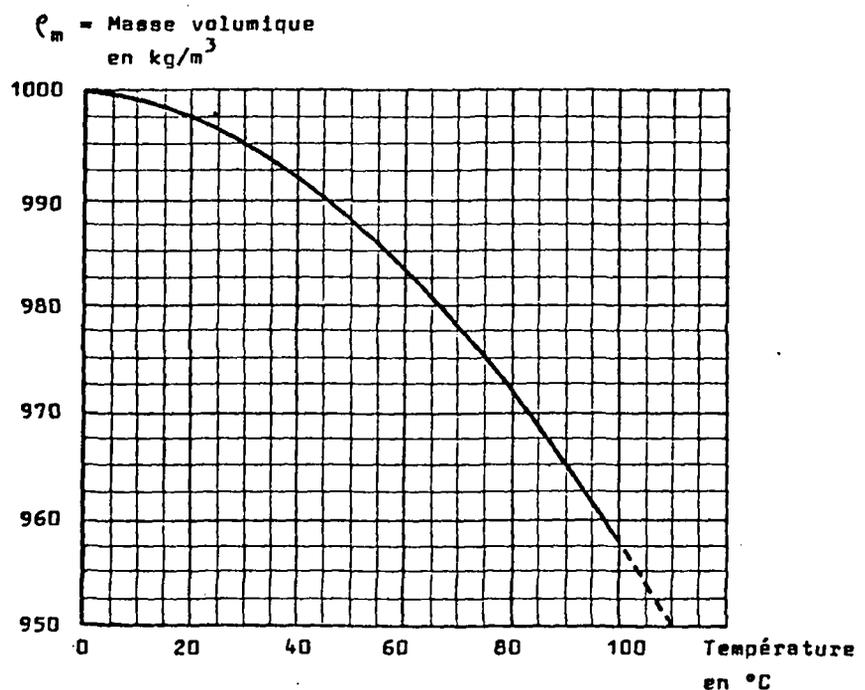


Fig. 10

La différence de pression ΔP crée une force ascensionnelle compensant les diverses pertes de charges du circuit dues au frottement dans les conduits rectilignes et aux incidents de parcours.

3.5.5. Volume de stockage

En exprimant la surface de captage S en m^2 et le volume de stockage V en centaine de litres, on préconise un rapport S/V de 1 à 1,5. Donc pour un stockage de 1.000l, une surface captante de 10 à 15 m^2 .

Remarque : le fait de doubler ce rapport permet d'ajouter à chaque fois une dizaine de degrés à la température moyenne de l'eau de stockage.

On peut donc imaginer de diviser le volume de l'eau en deux réservoirs équivalents, chacun étant raccordé en temps normal à la demi-surface totale des capteurs. Il sera ainsi possible, en période hivernale de raccorder la surface totale de captage à un seul réservoir.

3.5.6. Dimension de l'échangeur

Une règle généralement admise est de formuler la surface de l'échangeur en fonction de celle des capteurs. On recommande de prendre 0,1 à 0,3 m^2 de surface d'échange pour 1 m^2 d'insolateur.

4. LE PROJET PARTICULIER AU VILLAGE

La récupération de l'énergie solaire doit être envisagée en combinant les phases "captage", "stockage", et "distribution", pour une implantation particulière pour chaque famille, soit par quartier du village, soit d'une manière collective en un seul endroit.

Comme indiqué plus haut, la pente optimale des capteurs est de 45° pour une orientation Sud, tandis que la pente moyenne des toits existants est de 26°. De ce fait, un captage individuel par maison reste utopique du fait de la pente et de l'orientation, mais aussi des riques d'ombres portées par les autres habitations. Le choix s'est porté sur un captage

pour l'ensemble du village, intégré à une toiture spécialement étudiée pour un nouveau bâtiment dont l'usage est exclusivement réservé aux activités sanitaires.

Le village étant orienté à peu près Nord-Sud, les deux versants latéraux ne pourront recevoir de capteur.

De plus, les capteurs demandent d'avoir un espace suffisamment dégagé à l'avant pour éviter d'être situé dans une zone d'ombre pendant certains moments de la journée : seules les 2 extrémités du village sont propres à une telle installation.

De plus, la vie du village est marquée par la dualité privé-public : l'intérieur proprement dit, étant considéré comme privé, tandis que les autres espaces sont à caractère plus public. Le complexe sanitaire sera localisé de manière à ce que sa fonction reste compatible avec la zone publique du village : cette localisation sera donc proche de la zone des commerces et de la Djemaa.

La figure 11 donne le plan de l'endroit.

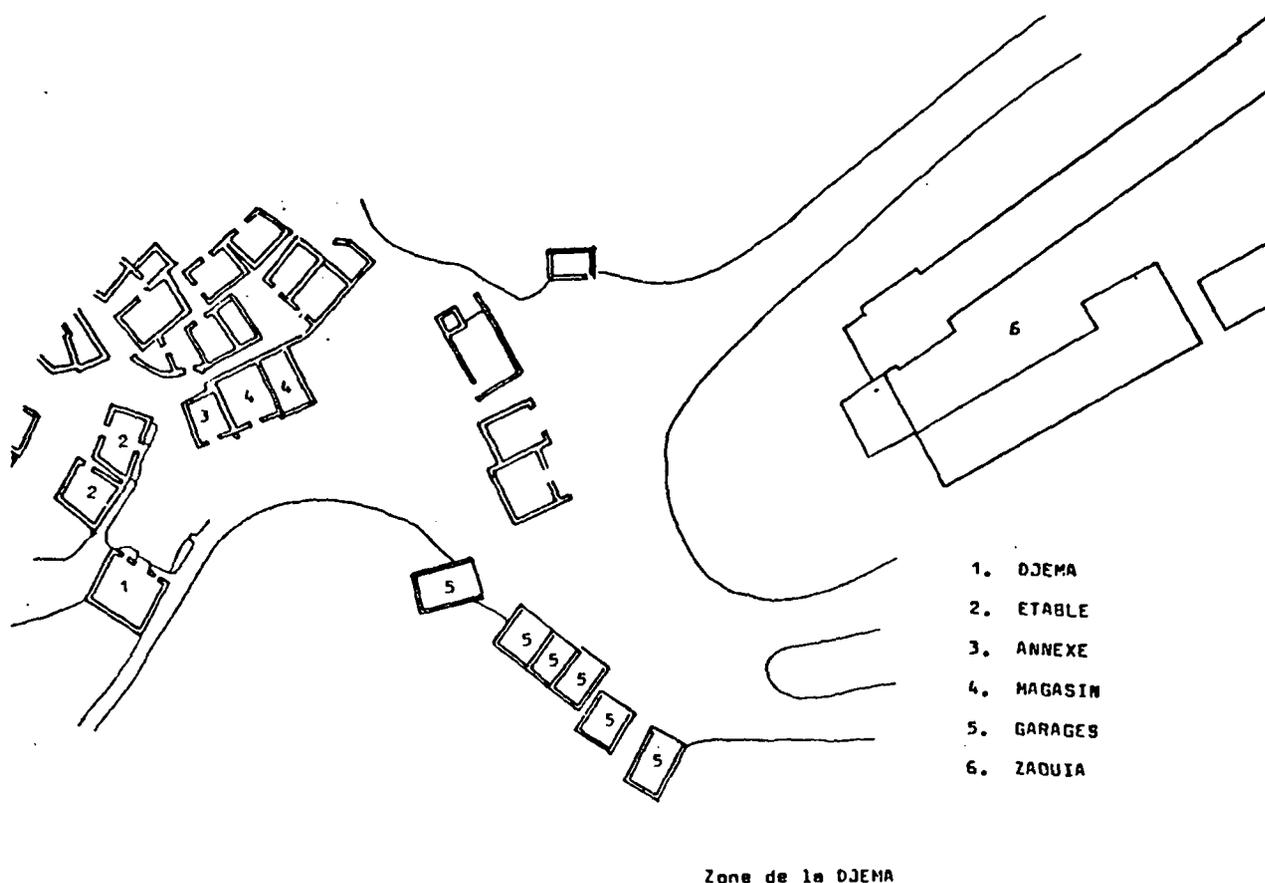
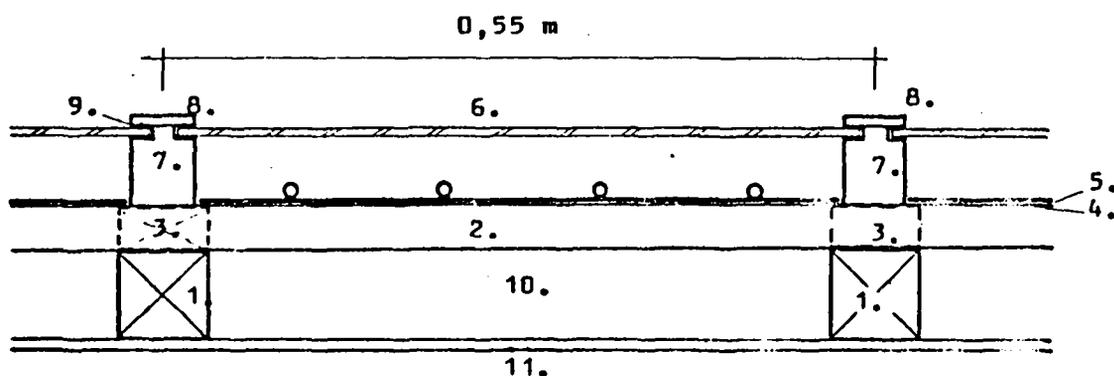


Fig.11

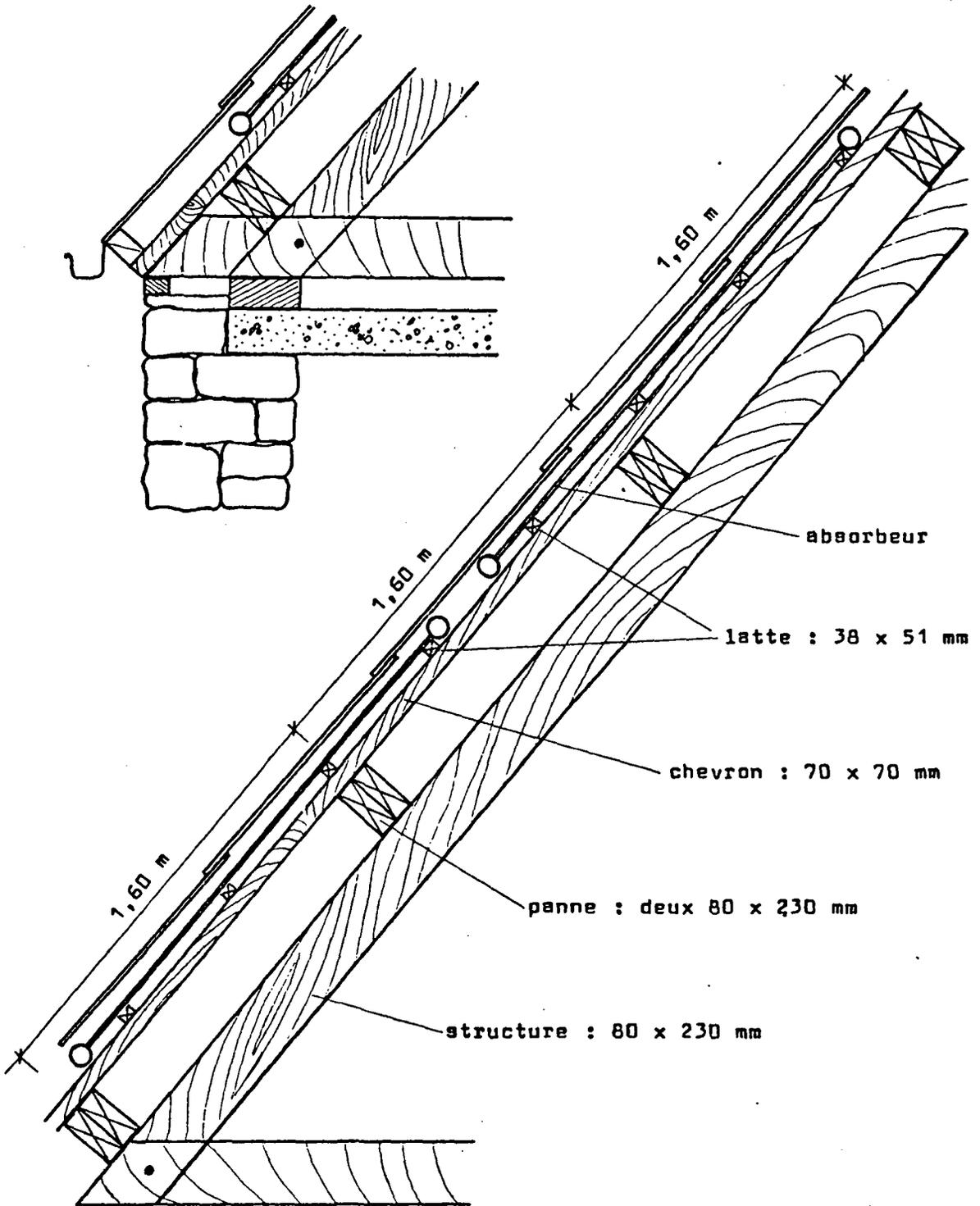
Le bâtiment servant d'étable et assurant la séparation entre l'espace public et les habitations privées, semble correspondre au mieux à tous les critères émis. Ceci d'autant plus que la tendance actuelle est de garder les animaux en dehors du village.

Les figures 12 et 13 ci-dessous proposent le schéma de réalisation de la toiture étudiée.



1. chevron: 70 x 70 mm
2. latte : 38 x 51 mm
3. planche entre les lattes, clouées au chevron
38 x 70 mm
4. élément d'étanchéité (papier Kraft ou équivalent)
5. feuille d'aluminium réfléchissante (non indispensable)
6. vitrage normal, épaisseur = 6 mm ; 1,20 x 0,55 m
7. profilé bois : 50 x 65 mm
8. planche de serrage : 20 x 50 mm (couvre-vitrage)
9. mastic d'étanchéité
10. isolation : liège 100 mm
11. plaque en bois pour soutenir le liège

Fig. 12



coupe dans la toiture

Fig. 13

Par rapport au projet proposé, les quelques conclusions suivantes sont à tirer des calculs effectués.

- Pour le mois de décembre, dans cas d'un capteur sans vitrage et avec une vitesse du vent de 10m/sec, la température moyenne de l'eau du réservoir se stabilise à 18°C par temps couvert et 23°C par ciel serein : c'est cela qui impose d'avoir la couverture vitrée du capteur.
- Pour un capteur avec vitrage, une vitesse de vent de 10m/sec et un ensoleillement par ciel couvert, le tableau 4, donne la température moyenne que peut atteindre l'eau de stockage.

Janvier	.....	33,5°C
Février	.....	39
Mars	.....	42
Avril	.....	48
Mai	.....	46
Juin	.....	61
Juillet	.....	64
Août	.....	66
Septembre	.....	63
Octobre	.....	49
Novembre	.....	42,5
Décembre	.....	31

TABLEAU N°4

- Pour un débit de 25l/h et par m² de capteur, pour une longueur totale de la tuyauterie principale de 40m et pour 15m² de capteurs, le Ø de la tuyauterie principale est de 7,5cm avec h = 1 m et 6,5cm pour h = 2 m.

En conclusion et au nom du Centre de Recherche en Architecture, si nous souhaitons dégager au travers d'une philosophie, des moyens pratiques d'action,

nous souhaitons aussi que vous nous aidiez en formulant vos difficultés
et vos demandes , et

nous souhaitons que de cette information, naisse une collaboration

§
§ §
§

BIBLIOGRAPHIE

1. VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND
Monographie du village : données socio-démographiques, architecturales et urbanistiques.
Ph. THEUNISSEN en collaboration avec M. BOUADI et R. ROME - (C.R.A.)
2. VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND 2.
Matériaux et pratiques constructives.
Ph. THEUNISSEN - (C.R.A.)
3. VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND 3.
Note méthodologique et conditions du relevé.
Ph. THEUNISSEN - (C.R.A.)
4. VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND 4.
Restructuration d'un village traditionnel en Grande Kabylie. Proposition d'aménagement.
M. BOUADI - (C.R.A.)
5. VILLAGE DES AIT ALI OU MHEND 6.
Démarche conceptuelle adoptée dans l'élaboration du projet de restructuration.
Ph. THEUNISSEN - (C.R.A.)
6. ETUDE SUR LA CLIMATISATION NATURELLE EN ALGERIE 1.
Village des Ait Ali ou Mhend.
R. ROME - (Travail de fin d'études, U.C.L.)
7. ETUDE SUR LA CLIMATISATION NATURELLE EN ALGERIE 2.
Village des Ait Ali ou Mhend.
Ph. CRABBE - J.L. DECOCK - (Travail de fin d'études, ECAM)

8. CHAUFFAGE D'EAU CHAUDE SANITAIRE PAR L'ENERGIE SOLAIRE
Application pour le village des Ait Ali ou Mhend.
Fr. DE BOSSCHER et M. NYSSSEN - (Travail de fin d'études, U.C.L.)

9. ASSAINISSEMENT ET URBANISATION D'UN VILLAGE EN ALGERIE -
Village des Ait Ali ou Mhend.
B. DEREINE - (Travail de fin d'études, ECAM)

10. LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE.
T. CABIROL - (Technologie Douces)

11. VARIATIONS GEOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES DES EXPOSITIONS ENERGETIQUES
SOLAIRES SUR DES SURFACES RECEPTRICES HORIZONTALES ET VERTICALES.
R. DOGNIAUX - (I.R.M.)

12. SOLAR ENERGY THERMAL PROCESSES.
J.A. DUFFIE et W.A. BECKMAN (Ed, WILEY)

13. ENERGIE SOLAIRE ET HABITAT.
B. LE CHAPELIER - (Alternative et technologie)

SECHAGE AGRICOLE "SOLARISE"

Quelques réflexions sur le séchage agricole solaire
incorporant des capteurs à air.

Professeur L. Delvaux
Université de Liège.

Génie Chimique - O.P.U.
Institut de Mécanique
Bâtiment C3
Rue Ernest Solvay, 21

B- 4000 Liège.

- extrait de l'exposé donné au stage du COTA
Opheylissem
jeudi 10 septembre 1981.

N.B. : Les notes sont fournies à l'intention des participants.
Des précisions sur les particularités du capteur
solaire utilisant l'air comme fluide caloporteur
peuvent être fournies par l'orateur sur demande.

REFLEXIONS SUR LE SECHAGE AGRICOLE "SOLARISE"

1. Position du problème

Le séchage des produits agricoles peut être effectué par convection, c'est-à-dire par circulation d'air chaud.

On combine ainsi l'effet thermique nécessaire à la vaporisation de l'eau retenue par le produit et l'entraînement de vapeur d'eau libérée dans un courant d'air humide.

De nombreuses réalisations existent; elles fonctionnent en continu ou discontinu, suivant l'importance ou la nature du procédé. L'air chaud est obtenu à partir d'énergie primaire (combustibles fossiles) ou de récupération thermique (condensats, etc..).

L'énergie solaire peut être également employée pour le chauffage de l'air; le processus de séchage restant inchangé.

Particularités de la technique

- 1) La simultanéité de la disponibilité d'énergie solaire et des besoins en séchage pouvant être réalisée, le problème de stockage est moins aigu que dans d'autres cas.
- 2) La ventilation exigeant de l'énergie, la réalisation technique doit être envisagée différemment suivant que l'on dispose ou non d'énergie électrique.

2. Mode général de réalisation

Une technique appropriée paraît s'imposer :

- capteur solaire à air;
- dispositif éventuel d'accumulation procédant par chaleur sensible de particules solides;
- liaison avec la chambre de séchage;
- moyens de tirage forcé ou naturel;
- contrôle du procédé, c'est-à-dire des températures.

3. Applications possibles

Des exemples assez nombreux d'essais de séchage solaire ont été présentés par divers chercheurs.

On pourra commenter les exemples suivants :

- 1) Déshydratation solaire de récoltes tropicales,
A.H. AWAD - University of Nigeria;
- 2) Séchage de céréales,
Prof. CLAUS et Dipl. Ing. HARTMANN-GÖTTINGEN;

- 3) Séchage solaire de tabac,
L.ANDREOTTI et al. - Roma;
- 4) Déshydratation de drêches de brasserie
J.M. WAUTHOER - Bujumbura - Burundi.

4. Conclusions à tirer

Il est encore difficile de dégager des conclusions sur l'intérêt économique du séchage solaire.

Il faut certes distinguer à ce sujet les pays E.V.D. et nos pays d'Europe occidentale.

De toute manière, il s'avère indispensable de favoriser des opérations de démonstration bien conçues et dotées d'un minimum de métrologie permettant de dégager le rendement de l'opération.

(Exposé fait à Montpellier les 21 et 22 juin 1979 et repris à Opheylissem le 10 septembre 1981.

COMPLEMENT

Le récent congrès mondial de l'I.S.E.S. (du 23 au 28 août à Brighton) a fait apparaître (TOPIC D) un assez grand nombre de réalisations de séchoirs en développement dans divers pays tropicaux.

Nous reprenons les titres :

- SMALL SCALE SOLAR GROP DRIERS FOR TROPICAL VILLAGE USE - THEORY AND PRACTICAL EXPERIENCE.
W. Grainger, H.Othieno et J.M. Twidell,
Dept of Applied Physics, University of Strathclyde, Glasgow, UK
- CROP DRYING WITH SOLAR AIR HEATERS IN TROPICAL NIGERIA.
C.I. EZEKWE,
Dept of Mechanical Engineering, University of Nigeria,
Nsukka, Nigeria.
- A "SOLAR BARN" FOR GRAIN AND HAY DRYING EXPERIMENTS IN SCOTLAND.
Ferguson, W.E.; Bailey, P.H.,
(Scottish Institute of Agricultural Engineering)
S.I.A.E. Bush Estate, Penicuik, Midlothian, EH26 OPH, U.K.
- PERFORMANCE OF A SOLAR HEATED DRYING PLANT.
J.Sohns, N.Fisch, A.Haug, Y.Tanes,
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik Universität
Stuttgart, Pfaffenwaldring, 6, D-7000 Stuttgart, 80, W.G.
- SELECTIVE SURFACES FOR AGRICULTURAL CROP DRYING SYSTEMS
A.S.C. Bose, T.P.Cjha, V.V.Ratnam, B.K.Dhindaw
Post Harvest Technology Centre Dept.of Physics, Dept.of
Metallurgy, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India.

- DESIGNING A SUITABLE SOLAR AIR HEATER FOR THE DEVELOPMENT OF SOLAR AGRICULTURAL DRYER.
P.C. Pande and K.P. Thanvi,
Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur (India).
- THE PERFORMANCE OF A LOW-COST SOLAR RICE DRYER SUITABLE IN WET SEASON IN ASIAN COUNTRIES.
J.P.Kesari, Biotechnologies Solaires, ENSAT, 145, av. de Muret, 31076, Toulouse, France.
- TOBACCO CURING BY UTILIZATION OF SOLAR ENERGY.
M.Ramakrishna Rao, A.Thomas, M.Mangapathi Rao, K.Balagopal et C.R.K. Murthy,
Central Instruments et Services Laboratory, Indian Institute of Science, Bangalore, 560012, India.

Certaines expériences font l'objet de commentaires présentés dans les compte-rendu de ce congrès. (D 2-3 à D 2-10).

LA PRATIQUE DU SECHAGE SOLAIRE A KOUMBIDIA

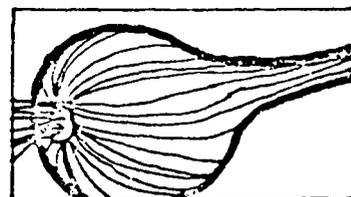
transmis par Patrice Brunet, GRET

extrait de
DEVELOPPEMENT D'UNE ACTIVITE
MARAICHERE VILLAGEOISE

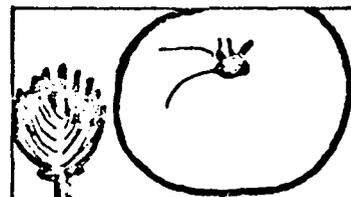
Introduction des techniques de
SECHAGE SOLAIRE
STERILISATION DES LEGUMES
CONSTRUCTION DE CUISINIÈRES

Koumbidia-Siné-Saloum-Sénégal

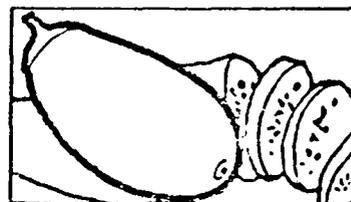
les oignons



le bissap
les tomates



les aubergines



les gombos



Initiées par le GRET, ces différentes expériences ont associé sur le terrain :

- l'ISRA, Institut Sénégalais de la Recherche Agronomique
station de Kaolack

Madické NIANG
Ahmadou NDIAYE
Abdou FAYE

- Le GRET, Groupe de Recherche et d'Echange Technologique

Patrice BRUNET

- Le CERER, Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies
Renouvelables, Dakar

Ibrahima LO
Lamine DIOP
Ibrahima DIONGUE

- l'ITA Institut de Technologie Alimentaire, Dakar

Youssouf SY

DU SECHAGE AU SOLEIL AU SECHAGE SOLAIRE

Le séchage à Koumbidia n'est pas une nouveauté. Bien avant l'introduction du maraichage, l'on séchait au soleil une partie des produits de cueillette. A ces herbes, feuilles et baies ont été substitués les légumes. C'est d'abord pour satisfaire des goûts alimentaires que l'on sèche. En effet, les femmes utilisent les produits obtenus comme condiments pour agrémenter les sauces surtout en période d'hivernage.

Les produits qui sont séchés :

4 sortes de produits sont ainsi desséchés .

- Les oignons, mis en entier dans le pilon sont broyés. Durant l'opération les femmes jettent quelques pincées de gros sel. De cette mixture verte, on en fait ensuite des boulettes qui sont laissées au soleil.

Les oignons peuvent être aussi séchés sur pied en terre. Cette méthode est pratiquée à la fin du maraichage car l'air est très sec. Avant de les déterrer, on laisse les oignons en terre durant une semaine sans les arroser. Ensuite on les expose au soleil le plus souvent sur les toits en tôle. Cette méthode occasionne des pertes. Les oignons blancs peuvent pourrir. Les oignons galmi ou oignons rouges ne posent pas de problème.

- Un autre condiment très apprécié est obtenu à partir des tomates et du bissap. Même préparation. on broie les tomates avec du bissap, le tout soupoudré de gros sel. La pâte est très liquide et rouge. On en fait aussi des boulettes.

- Les dia Katous (ou sorte d'aubergines amères) sont également séchés mais dans des proportions moins importantes. Ils sont aussi préalablement pilés.

- Le gombo, pilé ou coupé en tranches et ensuite réduit en poudre après séchage est le seul produit qui soit proposé à la vente au marché de Koungheul.

Il est vendu à la petite cuillère (10F CFA) ou à la grande cuillère (15 F CFA - prix 1981)

Les femmes préfèrent les vendre à la fin du maraichage sec plutôt que frais car elles ont constaté qu'elles gagnaient ainsi plus d'argent.

Le séchage, une pratique peu développée

Les quantités séchées sont minimales. Limité aussi est le nombre de produits séchés par rapport à la diversité des variétés cultivées.

C'est une opération pratiquée surtout en fin de maraichage. A cela il y a deux raisons :

- d'abord faire des réserves de condiments pour l'hivernage
- ensuite valoriser les produits qu'on ne va plus porter au marché à cause des faibles quantités récoltées.

Durant la saison, le séchage est aussi pratiqué pour ne pas perdre les invendus qui sont ramenés du marché.

Les motivations qui conduisent les femmes à sécher sont avant tout d'ordre culinaire. Bien que connu comme principe de conservation, le séchage est plutôt pratiqué sous son aspect transformation des produits. Les légumes sont réduits en poudre et servent à la fabrication des condiments qui agrémentent les sauces même durant la période de maraichage.

Cette limitation du procédé à la seule fabrication de condiments et ce pour une utilisation domestique (1) caractérise l'activité du séchage à Koumbidia.

Développer cette pratique, pour quoi faire ?

Plusieurs considérations ont permis de retenir "ce créneau technique"

- Tout d'abord, les femmes souhaitent pouvoir différer la consommation des légumes (autrement que sous forme de condiments) grâce à des méthodes de conservation. Notamment elles voudraient pouvoir conserver les choux, les aubergines douces et les oignons blancs ainsi que les tomates (2)
- Par une limitation des pertes (qui seraient à estimer) grâce à la conservation, on concourt à augmenter la productivité.
- La motivation première des femmes à pratiquer le maraichage est le revenu monétaire qu'elles en dégagent. Les produits secs se vendent proportionnellement plus cher que les produits frais. De plus, il existe à Koungheul un marché potentiel pour la vente des produits secs. (poudre de gombo, poudre de tomate) (3)

(1) Des tentatives ont été faites pour vendre ces poudres ensachées mais le produit séché pâtit en ville d'une dénégation d'ordre social, car ce sont les produits de cueillette (donc paysans) qui traditionnellement, s'achètent sous cette forme. Seule la poudre de gombo que l'on trouve sur tous les marchés au SENEGAL arrive à se vendre à Koungheul.

(2) Actuellement selon la qualité du séchage, les produits peuvent se conserver entre 4 et 6 mois tout au plus.

(3) Par exemple, dans le village de Fan Katy, éloigné de Koungheul et de Koumbidia, on ne pratique pas le maraichage. Les villageois consomment du concentré de tomate, des tomates en poudre, du gombo en poudre.

- Le thème maraîcher se développe dans la région et il convient de l'encourager. Mais cela risque de provoquer à plus ou moins long terme des difficultés d'écoulement des produits sur le marché local. Cependant par une valorisation des produits grâce à des techniques de conservation et de transformation (produits secs-condiments-bocaux-produits transformés par exemple le concentré de tomates), d'autres débouchés commerciaux peuvent être trouvés sur le plan local et régional.
- C'est aussi les habituer à manipuler des techniques de conservation; cela peut encourager les femmes à améliorer les techniques culturelles. Cet ensemble de facteurs peut permettre de stimuler la production.
- Enfin le maraîchage est récent. En introduisant des techniques de conservation on donne aux villageois la possibilité d'intervenir aux différentes phases de la chaîne du génie alimentaire (1)

Ce que permet le séchage solaire

Le séchage solaire se situe entre la pratique du séchage naturel et le séchage artificiel utilisant des combustibles.

Tout en reprenant nombre de gestes et d'habitudes nés de la pratique du séchage naturel, il offre la garantie d'atteindre le degré d'humidité nécessaire à une bonne conservation des produits. Cette caractéristique répond donc aux désirs des femmes et permet de satisfaire aux exigences des normes alimentaires des produits secs (et transformés) dans l'éventualité d'une commercialisation.

Il concoure aussi à l'intensification de cette méthode de conservation car les opérations de manutentions sont allégées, les pertes inhérentes au séchage naturel résorbées, les temps de séchage ramenés à des durées qui permettent un meilleur suivi des conduites de séchage (2).
Mentionnons aussi l'amélioration des conditions d'hygiène accompagnant ce mode de séchage. (absence de poussière sur les produits- risques de pontes d'insectes écartés). La qualité du produit s'en trouve donc accrue.

Car la finalité du projet demeure avant tout l'amélioration des régimes alimentaires et ce par le développement et la naissance d'activités locales maîtrisées et pouvant être initiées par les intéressés eux-mêmes.

A Koumbidia le séchage des produits au soleil dure en moyenne une semaine. Dans le séchoir solaire expérimenté, le temps du séchage sera ramené à une journée.

LES TENTES SOLAIRES

Séchoirs solaires en "Kit" pour commencer

Il était convenu que pour cette première mission à caractère technique, nous apporterions avec nous trois séchoirs solaires qui deviendraient la propriété de chaque groupement des femmes. (1)

En effet, il était légitime de ne pas venir à Koumbidia les "mains vides" car après une année d'enquêtes et d'observation correspondant à la première partie du projet global(2), les villageois se trouvaient dans une position d'attente. Par ailleurs le temps prévu pour cette mission était court si l'on tient compte du tempo de la vie villageoise en brousse durant la saison sèche. Aussi fallait-il tout en respectant ce tempo et sans brusquer, provoquer une situation "spectacle" pour attirer l'attention des villageois et démarrer immédiatement l'expérimentation avec leur concours. Il faut souligner que cette hypothèse qui s'est pleinement vérifiée tenait compte du degré de préparation et d'attente des villageois. Le déballage des tentes et leur assemblage n'a pas déçu. Ce moment a été le théâtre d'une animation villageoise très intense.

Cependant, nous courrions le risque de reproduire un des schémas d'aide au développement qui consiste à offrir en cadeau du matériel sans tenir compte des mentalités des populations bénéficiaires (3)

Aussi, devant cette incertitude et passée la première phase d'implantation des tentes, "restait-il à ce que notre bien devienne le leur".

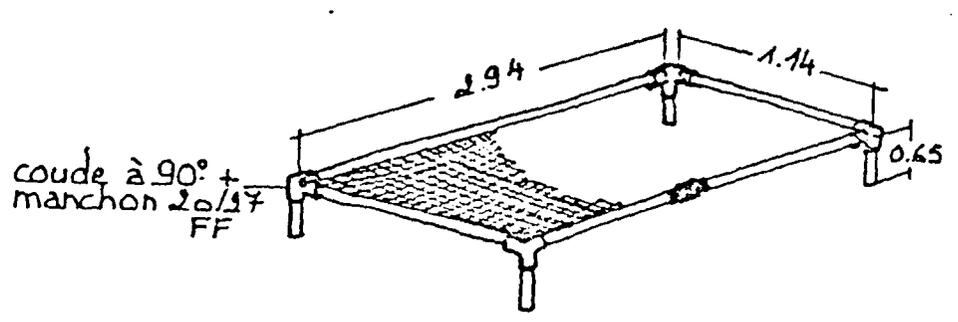
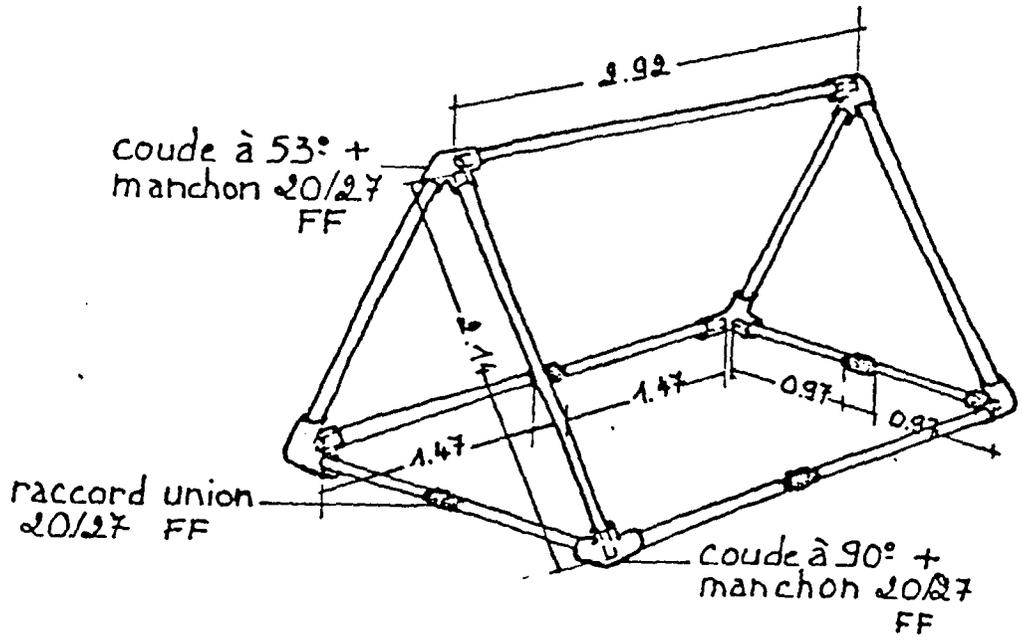
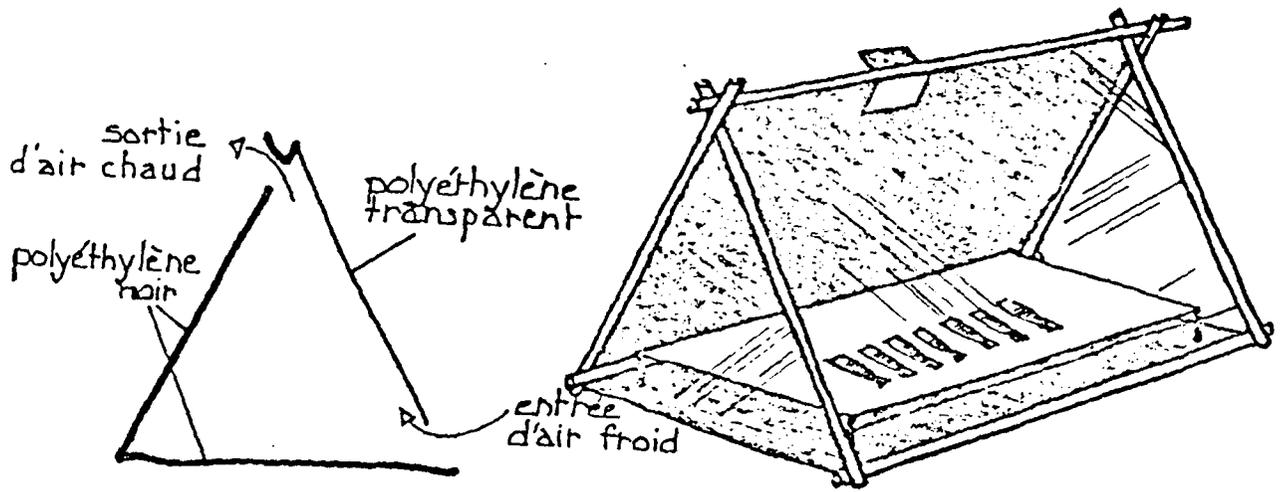
La tente de séchage

Notre choix d'un séchoir solaire s'est porté sur le modèle dit "tente solaire" car il fait actuellement l'objet de recherches au SENEGAL, commencées à l'ITA et poursuivies dans le cadre des activités du CERER.

Ce modèle a été mis au point au BANGLADESH puis utilisé pour étude aux PHILIPPINES et au SENEGAL principalement pour le séchage du poisson. On cherche maintenant à étendre l'utilisation de la tente solaire au séchage d'autres produits notamment les céréales, les fruits et légumes. Dans cet esprit, la tente solaire a été expérimentée pour le séchage d'oignons à la station du CNRA de BAMBEY.

Il était donc intéressant de prolonger ces recherches en la testant avec d'autres légumes.

- 1) Depuis quelques années, les femmes se sont regroupées en association par quartier. Cela a entraîné l'apparition d'un nouveau rôle social : présidente de l'association féminine. Elles ont mis en place une caisse commune dans le but de financer l'achat d'un moulin à mil ou autre investissement commun.
- 2) CF : Rapport de synthèse : Développement d'une activité maraichère villageoise dans le Sine Saloun - SENEGAL - ISRA-CPET-CIEPAC-INSERM
- 2) Un hangar de stockage du mil et de l'arachide financé par un organisme international de développement a été construit dans le quartier de Keurlamine avec la participation des habitants mais n'a jamais été utilisé depuis son achèvement.



Principe de fonctionnement

Le choix de la forme du séchoir a été fait en partie en raison de sa facilité de construction, en partie pour présenter 3 faces transparentes au rayonnement solaire.

Le cadre du séchoir est en bois et est recouvert sur les faces est, sud et ouest par du polyéthylène transparent réalisant l'effet de serre. La face nord et le plancher sont recouverts de feuilles de plastique noir qui servent à convertir l'énergie rayonnante du soleil en énergie thermique.

Un filet de pêche ou un cadre support de claies est fixé à la charpente au dessus du sol.

Les dimensions de la tente peuvent être variables. Cependant les expériences montrent que les tentes de dimensions réduites (surface du collecteur d'environ quelques m²) donnent de meilleurs résultats que des tentes de grande échelle. La tente solaire convient bien pour de petites productions.

Description des tentes expérimentées à Koumbidia

Les trois tentes ont été préfabriquées au CERER à DAKAR.

Elles ont été réalisées de telle manière qu'elles puissent être aisément transportables, rapidement assemblées et suffisamment solides pour résister au transport et aux conditions de l'expérimentation en milieu réel.

Pour ces raisons la charpente a été réalisée en tubes de métal reliés par des coudes et manchons qui se vissent.

On prévoit d'exposer les produits sur un filet de pêche tendu sur un support métallique également.

Le polyéthylène recouvrant les 4 faces de la tente a été assemblé et collé à chaud afin d'éliminer toute fuite d'air et faciliter la mise en place de la couverture sur la charpente. Seul le polyéthylène noir du sol est laissé libre. Il est étendu et maintenu en place par le poids de la tente.

Conditions d'implantation des tentes :

Dès notre arrivée à Koumbidia, nous discutons des modalités d'implantation et d'expérimentation des tentes avec les représentants de l'ISRA. Nous leur présentons également les objectifs et le programme d'activités de la mission, les caractéristiques des technologies à mettre en oeuvre. Nous convenons alors que :

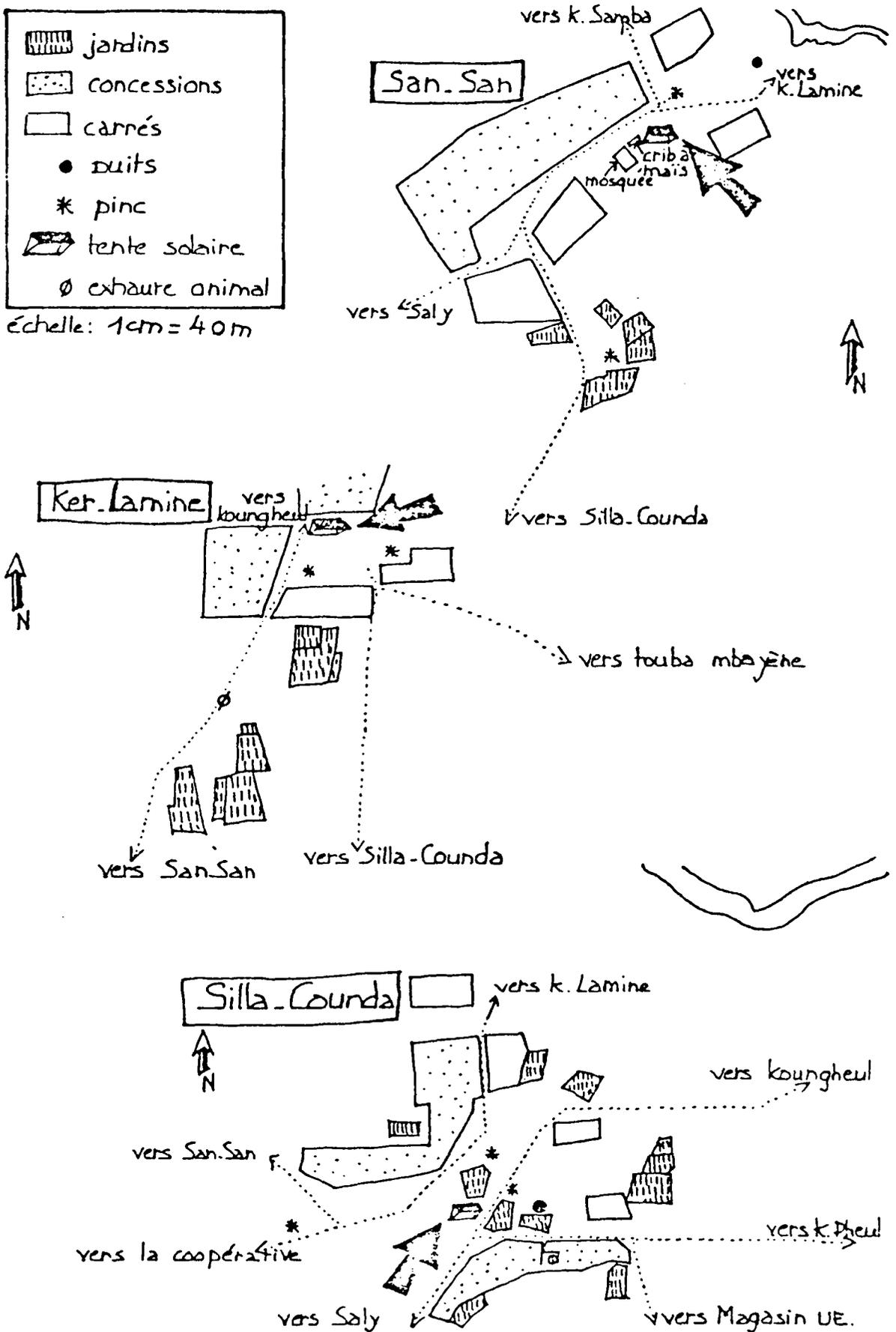
- les femmes décideront du choix d'implantation des tentes,
- les tentes feront partie de l'infrastructure de chaque groupement de producteurs,
- en contribution, les femmes prépareront et prêteront leurs produits qu'elles pourront récupérer une fois secs,
- les produits détériorés ou prélevés pour effectuer des analyses leur seront achetés.
- il leur sera demandé une participation effective aux expérimentations.

Emplacement des tentes solaires

(d'après le relevé de L. Bocoum - saison maraichère de 79-80)

	jardins
	concessions
	carrés
	puits
	pinc
	tente solaire
	exhaure animal

Échelle: 1cm = 40m



Sitôt faite cette mise au point, se tiennent successivement dans chaque quartier une réunion d'information et de délibération. Bien que les hommes ne soient pas directement concernés, ils tiennent cependant à y participer.

. *Quartier de Silla Counda* : assemblée importante (22 femmes, autant d'hommes). Les femmes ressentent une certaine gêne d'être mêlées aux hommes qui participent aux échanges. Elles sont assises en leur tournant le dos. L'échange a lieu indirectement entre les hommes et la présidente du groupement Aissa Camara par l'intermédiaire du chef de l'unité et du représentant de l'ISRA chargé de nous assister. Le lieu d'implantation retenu est un espace indifférent situé non loin d'un abri à "palabres" et du dispensaire .

. *Quartier de San San* : les hommes sont plus nombreux que les femmes qui restent à l'écart . Il faut les appeler plusieurs fois. La présidente Fatou Cissé est la seule à faire face et à s'adresser directement aux hommes.

La place de la tente est choisie à proximité du crib pour le séchage du maïs.

. *Quartier de Keur-Lamine* : il n'y a pas de séparation aussi franche entre les hommes et les femmes. Beaucoup de "choses" sur la tenue des deux assemblées précédentes ont du déjà circuler à Keur Lamine. La présidente Diou Kou Camara se manifeste moins. Le débat est souvent dirigé par Ousmane Drame, homme d'autorité, d'argent et de savoir . On choisit comme lieu d'implantation la petite place autour de laquelle se développent les carrés.

Dans les trois quartiers, c'est donc un lieu public qui est retenu pour l'implantation du séchoir. Le principe de l'utilisation collective de l'appareil est accepté pour l'expérimentation. En opposition au mode d'activité du maraichage qui est individualiste à Koumbidia , l'utilisation collective de la tente peut cependant être perçue comme une contrainte et risque d'en gêner l'appropriation.

Les 3 tentes sont montées en une journée. Les hommes participent à la mise en place . Ils sont intéressés et curieux. Cela fait aussi de l'animation et alimente les conversations. Les femmes regardent de loin quand elles se libèrent de leurs tâches domestiques ou des travaux maraichers. Elles préparent les produits à sécher.

Expérimentations :

Dans les trois quartiers, lors du remplissage des tentes, chacune des femmes apporte beaucoup de produits à sécher. Devant l'abondance et pour permettre à chacune de contribuer à l'expérimentation,

diagramme des températures de l'air

— température sous la tente
 - - - - - température ambiante

le 6 Mars 1981

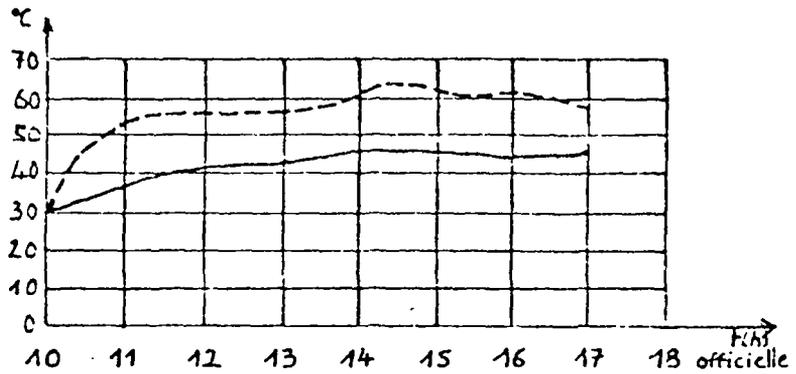
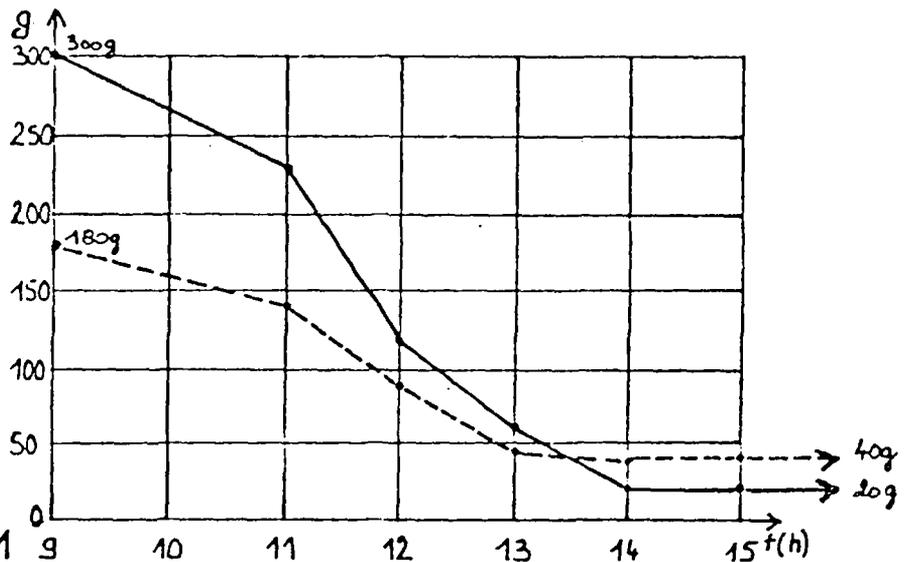


diagramme de perte de masse des produits

— feuilles de chou
 - - - - - feuilles d'oignon

le 6 Mars 1981



PRODUITS	RESULTATS
oignons entiers broyés avec sel en boulettes	croûtage
tomates broyées en boulette	croûtage
oignons coupés en rondelles et morceaux	séchage: 2 jours
gombos coupés en morceaux	séchage: 2 jours
feuilles d'oignon feuilles de chou	séchage: 1 jour
feuilles de bissap	séchage: 1 jour

Des mesures d'humidité ont été enregistrées avec un hygromètre. Nous les rapportons pas à cause de leur trop grande imprécision. Entre 10h et 17h l'hygrométrie relative de l'air ambiant varie en moyenne de 25% à 10%.

On décide de ne prendre qu'un kilo de produits par femme.

A San San, la présidente enlèvera ses produits pour permettre à une femme en colère de mettre les siens.

Les tentes apparaissent comme un objet magique qui va tout sécher dans n'importe quelles conditions. Les produits proposés sont présentés tels quels. Ils sont variés : choux, salade, aubergines, tomates, oignons, bissap.

A l'initiative de la monitrice rurale, ils sont placés sur le filet et étiquetés afin que chaque femme reprenne les siens une fois séchés.

- . Tente de Silla Cowida : tomates et oignons préparés selon la méthode traditionnelle - feuille de choux -
- . Tente de San San : boulettes de tomates et d'oignons écrasées en forme de galettes - oignons entiers, suspendus - tomates "cerises" entières - bissap effeuillé - gombos coupés en morceaux.
- . Tente de Keur Lamine : oignons coupés en tranches - Fanes entières ou coupées - feuilles de choux - tomates et aubergines coupées en deux.

Résultats des expérimentations :

- . Les produits en boulette ou en galette ne sèchent pas. Un phénomène de croutage se produit à la périphérie qui empêche l'eau du centre de s'évaporer.
- . Les tomates "cerises" ne sèchent pas. L'épiderme est trop épais pour laisser un transfert d'eau vers l'extérieur. Au bout de quelques jours, gorgées d'eau à la périphérie, elles pourrissent.
- . Les oignons entiers sèchent très lentement et inégalement, les fanes séchant plus vite que le bulbe.
- . Tous les produits coupés sont séchés en deux jours
- . Les feuilles de chou, de bissap et d'oignon sont séchées en une journée.

Réactions des femmes :

Les femmes saisissent immédiatement l'importance de la préparation du produit avant séchage. Tout ce qui est coupé sèche sans problème et très rapidement. Elles sont très satisfaites de sécher les tomates et les feuilles de chou. Elles n'ont jamais séché les produits pour les conserver tels quels.

La tente agit comme un catalyseur qui donne des résultats immédiats. En elle-même la technologie n'a plus guère d'importance. Elle devient un outil de démonstration. Toute l'attention est portée sur les résultats et non sur les moyens.

A l'initiative de Madické Niang, directeur de la station de l'ISRA de Kaolack, une démonstration est faite sur les possibilités de réhydratation des produits. A Keur Lamine, une feuille de chou séchée en quelques heures est plongée dans l'eau bouillante. De sèche, flétrie cassante et sans couleur, elle redevient comme fraîche retrouvant sa texture, sa couleur et dégageant une bonne odeur.

Ce test est déterminant. Si anecdotique soit-elle, cette démonstration "magique" étonne et emporte l'adhésion des femmes. De septique et amusé avant l'opération, Ousmane DRAME n'en "revient" pas. La feuille de chou circule sous tous les nez!...

Utilisation des tentes :

En trois jours, de nombreuses informations sont transmises. Les expériences et résultats confirment l'intérêt d'une méthode de conservation élaborée : de nouveaux produits ont été séchés, de nouvelles façons de les préparer apprises, de nouvelles manières de valoriser les produits séchés, montrées.

Mais passée cette phase de sensibilisation et de démonstration, qu'advient-il des tentes ?

- . *Tente de Silla Counda* : les femmes ne prennent pas l'initiative d'enlever les produits séchés. Il faut que la monitrice rurale, secondée par la présidente, dise aux femmes de les retirer. Par ailleurs, elles ne rechargent pas la tente sauf la présidente qui remet à sécher une poignée d'oignons. Elle stocke les produits séchés à l'inverse des autres femmes qui les utilisent immédiatement pour préparer des plats. La tente semble délaissée et quelque peu perdue dans l'espace très lâche du quartier de Silla Counda.
- . *Tente de San San* : c'est la tente qui a donné le moins de résultats à cause de la préparation des produits. Les femmes ont constaté le dépérissement de leurs produits et les laissent dans la tente. Elles ne prennent pas l'initiative de la réutiliser d'elles-mêmes en préparant les produits comme à Keur Lamine. Signalons toutefois que toute l'attention est portée sur la construction d'un nouveau séchoir qui a lieu à San San.
- . *Tente de Keur Lamine* : ce quartier est très actif comparé aux deux autres. L'activité de maraichage y est la plus développée. Les femmes et les hommes semblent très organisés autour des personnalités de la présidente Diou Kou Camara et de Ousmane Drame. Sur un autre plan, le tissu villageois est dense. Les carrés, importants se développent autour d'une petite place, lieu d'échanges. (palabres et circulation).

La tente est bien intégrée dans l'espace social (adossée contre une palissade sur la place).

Travaillant essentiellement à San San à la réalisation du nouveau séchoir solaire, nous avons délaissé le suivi de la tente. Pourtant, sous la conduite de la présidente, les femmes retirent les produits séchés et en remettent d'autres. La tente est continuellement chargée. La façon dont elles l'utilisent confirme les inconvénients qui nous étaiant apparus lors des premières expérimentations, montre le niveau de compréhension des femmes à cette nouvelle méthode pour sécher et révèle indirectement ce qu'elles attendraient d'un séchoir adapté (1)

Critères pour l'implantation de séchoirs à Koumbidia :

A la suite de cette première phase de démonstration et d'utilisation et à partir des souhaits des femmes et des réactions diverses, un certain nombre de critères pour l'implantation de séchoirs solaires à Koumbidia peuvent être posés :

- les femmes séchent en même temps plusieurs variétés de produits. Les quantités sont inégales, la préparation, l'exposition dans la tente, le temps de séchage différents selon la nature du produit. L'utilisation de la tente est donc anarchique, préjudiciable à une bonne conduite de séchage et génératrice de conflits entre les femmes. Il est inconcevable de réglementer une utilisation de la tente par femme, car la fréquence et l'importance de l'utilisation dépendent de données qui varient sans cesse : rendement du jardin, quantité d'invendus si c'est jour de marché, maturité des légumes si ce n'est pas jour de marché (2) etc...

Pour ces raisons on préférera un séchoir individuel à un séchoir collectif

- chaque femme sèche en même temps et pour elle-même plusieurs variétés de légumes. Cela suppose un suivi vigilant des conduites de séchage : il faut sans cesse soulever et rabaisser la couverture de la tente pour mettre, retourner ou retirer les produits; ce qui a pour effet de faire chuter la température à l'intérieur du séchoir.

Pour éviter ce problème, il sera préférable de mettre au point un séchoir indirect ou semi-indirect.

- durant cette manipulation, des courants d'air amènent de la poussière dans la tente et font envoler les produits secs et légers.

La chambre de séchage devra être hermétique à la poussière et protégée des courants d'air.

- les femmes mettent les produits dans des récipients (boîte à sucre en carton, bassines) qu'elles placent ensuite dans la tente. A cela trois raisons : ne pas mélanger leurs produits entre elles, mettre les produits par variétés, pouvoir préparer et disposer les produits chez elles.

(1) Il est intéressant de signaler que seule Diou Kou Camara stocke les produits séchés. Les autres femmes consomment leurs produits dans la journée.

(2) Chaque femme peut disposer de deux jours par semaine pour vendre au marché de Koungheul :

- quartier de Silla Counda : lundi - mardi
- " Keur Lamine : mercredi - jeudi
- " San San : vendredi - samedi

W /m ²	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
E _a max	1100	1200	1100	1100	1050	1200	1050
Δ° E _t	500	550	550	500	500	500	400
Δ° E _a	600	650	650	600	600	600	500

Ensoleillement reçu le 6 Mars 1981 en Watt/m²

(mesures avec un solarimètre instantané)

- Si nous faisons la moyenne des coefficients de transmission du rayonnement (calculés à chaque heure) nous avons un coefficient de transmission (λ) du polyéthylène transparent (180 μ d'épaisseur) de: 0,83.
(les normes commerciales indiquent un coefficient de 0,85).

- la lecture des intensités nous confirme la très mauvaise inclinaison de la pente.

COMPOSANTS	SURFACE	COÛT A DAKAR
polyéthylène transparent 180 μ	11 m ²	5640 CFA
polyéthylène noir 350 μ	13 m ²	11440 CFA
ossature bois	22 m ²	3000 CFA
claire en filet	4 m	1000 CFA
confection de la couverture - collage à chaud		
main-d'œuvre		p.m.
TOTAL		21050 CFA
revenu brut moyen annuel d'une maraichère		13800 CFA
revenu net moyen		11300 CFA

On adoptera alors le principe de la claie de séchage, indépendante du séchoir, qui devra comprendre des cloisonnements (suggestion des femmes) pour ne pas mélanger les produits.

L'utilisation des récipients étanches à l'air et blancs indique que les femmes n'ont pas intégré les explications données sur les principes de fonctionnement des séchoirs solaires (circulation de l'air autour des produits, effets de serre et corps noir) Les composants du séchoir solaire doivent être les plus significatifs possibles de leur fonction.

- A Keur Lamine on entoure la tente à la nuit tombante de panneaux de bambou tressé car on craint sa détérioration par les petits animaux (poules, chèvres) Le séchoir (chambre de séchage + collecteur) devra être surélevé du sol en étant placé sur un bâti.

- Pour prévenir les risques de détérioration par les gros animaux (boeufs, anes) et pour adapter le séchoir au caractère saisonnier du maraîchage à Koumbidia, le séchoir individuel devra être transportable.

Evaluation technique et économique des tentes solaires à Koumbidia :

La tente solaire ne nous semble pas adaptée au séchage de légumes en milieu villageois :

- Le séchage simultané de différentes variétés de légume entraîne des manipulations trop fréquentes de la couverture transparente.

- La température de fonctionnement de la tente est faible (1) si l'on considère que les légumes peuvent supporter sans dommage une température de l'air d'environ 70-75°C

- De par sa forme, la tente solaire offre une prise au vent qui diminue son rendement. L'ouverture de la tente n'est pas aisée. Il faut reconsidérer la mise en oeuvre de la couverture transparente.

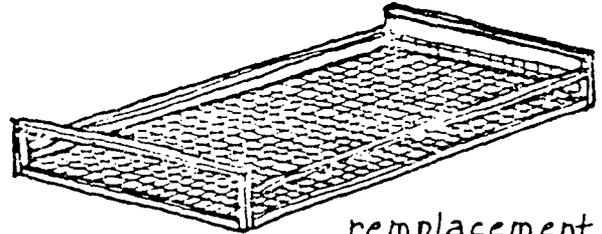
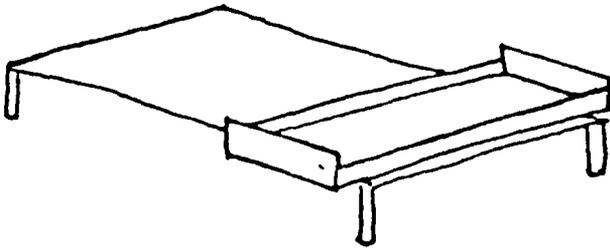
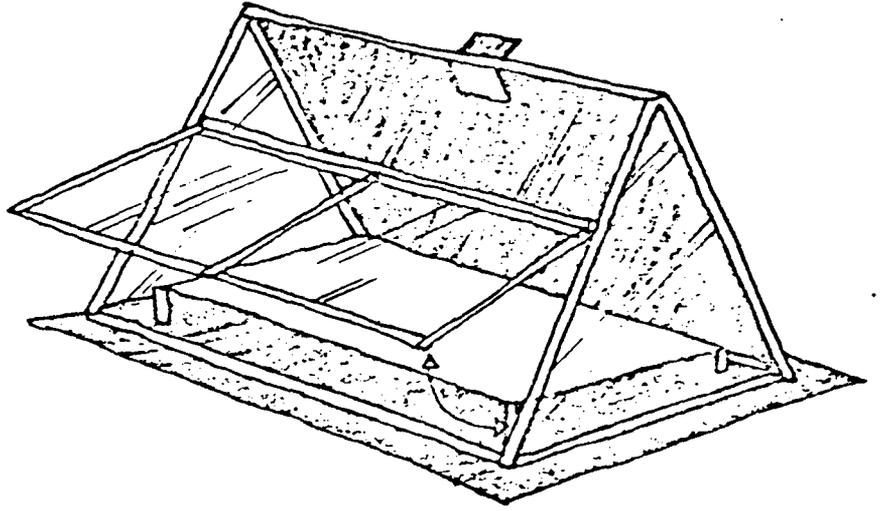
- L'inclinaison de la face sud n'est pas adaptée à la latitude du lieu (2)

-- La tente peut facilement être endommagée par les animaux domestiques.

(1) température maximum atteinte au cours des essais : 62° C avec une température ambiante de l'air de 46°C. L'élévation de température n'a pas dépassé 18°C.

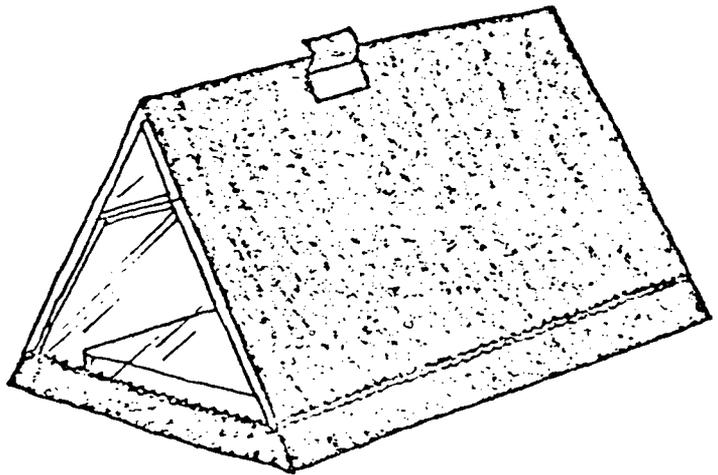
(2) latitude de Koumbidia : 11°
 inclinaison face sud : 63°
 inclinaison faces est et ouest : 90°

réalisation du
chassis ouvrant



remplacement
du filet d'exposition
des produits
par un système de claies

fermeture des côtés
de la tente par coutures
pour la rendre
plus étanche



Sur la plan économique son prix de revient est démesuré par rapport au revenu des maraichères(1)

Le seul prix du polyéthylène transparent et noir (2) nécessaire à la fabrication de la tente implantée à Koumbidia est de 18 000 Frs CFA(3)

Pour une capacité de séchage égale à celle du séchoir solaire individuel que nous avons réalisé avec les villageois, le coût du polyéthylène nécessaire s'élèverait alors à 12 000 Ffs CFA. La durée de vie du polyéthylène transparent de 180 ~~h~~ est évaluée à une année.

Transformation des tentes :

Ses constatations nous amènent à décider la réalisation d'un nouveau séchoir correspondant aux principes que nous avons retenus. Il y a cependant le risque que les femmes se désintéressent des tentes en tournant toute leur attention à la fabrication du séchoir.

Aussi pour inciter les femmes à s'approprier les tentes (4) nous proposons aux garçons qui construisent le séchoir individuel de "bricoler" les tentes pour les rendre plus faciles d'utilisation.

Une discussion s'engage sur la meilleure façon de le transformer suite aux critiques faites par Fatou Cissé, présidente à San San, les garçons eux-mêmes et nous-mêmes.

- (1) 61% des maraichères ont un revenu brut moyen allant de 6000 F / CFA à 14000 F/CFA
17% des maraichères ont un revenu brut faible inférieur à 6000F/CFA
17% des maraichères ont un revenu brut fort compris entre 14000F/CFA et 22000 F/CFA
3 maraichères ont un revenu brut supérieur à 22000F/CFA
- (2) Le polyéthylène transparent est de plus un matériau rare au SENEGAL. Nous n'en avons trouvé ni à Koungheul ni à Kaolack.
- (3) prix du polyéthylène noir 350 ~~h~~ : 880 F/CFA le M2
prix du polyéthylène transparent 180 ~~h~~ : 510 F/CFA le M2 (prix mars 1981 à DAKAR)
- (4) A Keur Lamine, l'attitude des femmes qui utilisent le séchoir nous donne l'impression qu'elles profitent au maximum du séchoir, "tant qu'il est là" sans chercher à le considérer comme un outil à améliorer et pouvant être reproduit.

nombre de fiches	34 période du 23 au 12 Avril (fin de maraichage)			
nombre de femmes concernées	29 soit 40% du nombre total de maraichères exploitantes (72) à Koumbidia. 50% des femmes à Keur-Lamine ^① , 38% à San-San et 22% à Silla-Counda.			
produits séchés	feuilles oignon ^②	tomates	bulbes oignon	bissap et tomates
quantité	45 kg ^③	65 kg	3 kg	28 kg
durée d'exposition	1 à 2 jours	2 à 3 jours	2 jours	1 jour 1/2
nombre de chargements	27	8	8	1
produits coupés ^④	40%	100%	100%	
produits broyés	60%			100%
produits en tas	30%	13%	25%	
produits dans récipient	15%			
produits étalés ^④	55%	87%	75%	100%
stockage dans récipient	22%			
stockage dans sac plastique ^⑤	78%	100%	100%	100%
stockage pour besoins immédiats	46%	75%	25%	
stockage pour consommation différée	46%	25%	75%	100%
stockage pour vente	8% ^⑥			

① C'est à Keur-Lamine que l'utilisation de la tente est la plus importante bien que l'animation y ait été la plus réduite.

② Les produits les plus séchés par les femmes est la feuille d'oignon. Auparavant elles séchaient l'oignon en entier en le broyant. La feuille les intéresse plus que le bulbe.

③ A Silla-Counda une femme en a séché une grande quantité (32 kg) pour ensuite les vendre à la cuillère (10 CFA) après les avoir réduites en poudre.

④ D'une manière générale les femmes ont adopté les différentes façons de préparer les produits et de les exposer (produits coupés et étalés).

⑤ Il serait préférable de stocker les produits dans des sacs en papier où il n'y a pas de reprise d'humidité comme dans les sacs en plastique. (en moyenne 20% du poids initial après 11 jours de stockage. aucune reprise d'humidité des échantillons stockés dans des sacs en papier.)

Nous décidons :

- de coudre les 3 côtés de la tente avec le polyéthylène du sol pour éliminer les courants d'air et l'introduction de poussière, et pour améliorer les performances.

- de découper la face sud pour en faire un châssis ouvrant.

- de fabriquer plusieurs claies pour remplacer le filet servant de surface d'exposition des produits.

La responsabilité des travaux revient à Sire Camara, fils du chef du village, animé de bonnes intentions. Lui-même ira chercher un des tailleurs du village pour lui faire coudre la tente. Le tailleur y trouve son intérêt car il demande à être payé (1) ce qui nous semble tout à fait légitime.

La fermeture de la tente sur les côtés et la fabrication du châssis ouvrant donnent les résultats recherchés : température de l'air de séchage plus élevée, chargement et déchargement des produits plus aisés.

La transformation de la tente solaire de San San a valeur d'exemple . Un processus est engagé.

Il reste cependant aux villageois de Keur Lamine et Silla Counda de prendre l'initiative de transformer eux-même leurs tentes respectives (2)

Suivi des tentes (3)

Avant notre départ nous élaborons avec l'ISRA des fiches de suivi pour pouvoir évaluer le degré d'utilisation des tentes.

34 fiches de suivi ont été remplies. Elles couvrent la période du 23 mars au 12 avril. (4)

Les résultats sont prometteurs (voir ci-contre) Ils permettent d'envisager raisonnablement un développement de la pratique du séchage à Koumbidia par l'utilisation de séchoirs solaires.

1) Il demande 500 F/CFA

2) La transformation des deux autres tentes se fera au cours de la première mission d'appui technique à l'initiative de l'ingénieur au CERER.

3) Fiche de suivi en annexe.

4) Fin de l'activité de maraichage à Koumbidia.

LE SECHOIR SOLAIRE

Quelques conditions pour la réalisation d'une boîte de séchage au moindre coût

Le processus de réalisation du nouveau séchoir solaire n'est pas le résultat du programme d'activités élaboré initialement.

Notre intention d'un tel projet, se forme à partir des données acquises durant les expérimentations et sur la base de relations privilégiées avec quelques villageois.

L'objectif est donc de fabriquer un séchoir individuel utilisant les matériaux disponibles localement et s'appuyant sur les techniques qui sont habituelles aux villageois.

A la différence des actions menées jusqu'alors, et qui concernaient le village dans son ensemble, nous soumettons le projet à quelques personnes afin d'en évaluer la "faisabilité". Les réactions sont plutôt favorables puisqu'une famille de Silla Counda nous propose son aide pour la construction et 1 000 Frs CFA pour participer à l'achat de matériel (1)

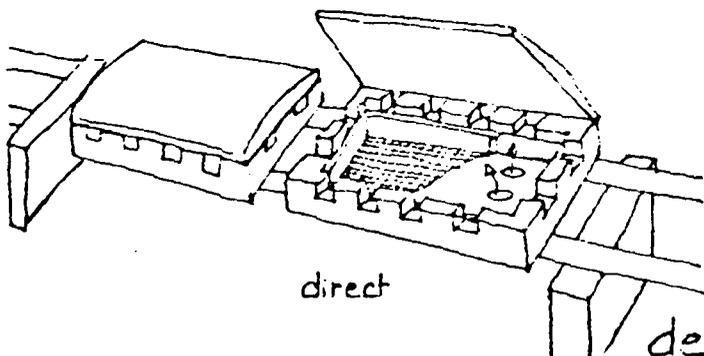
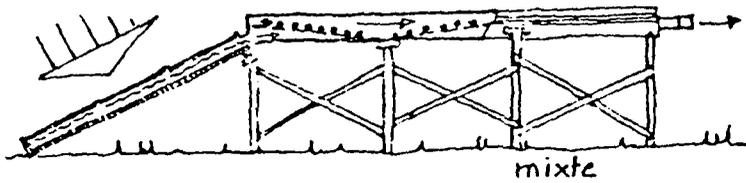
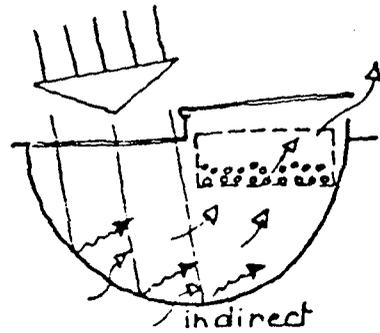
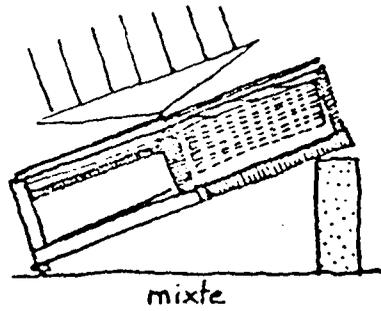
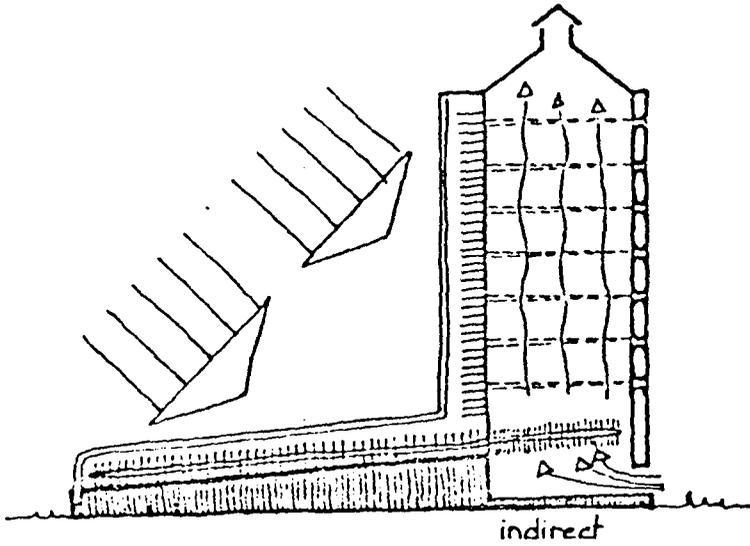
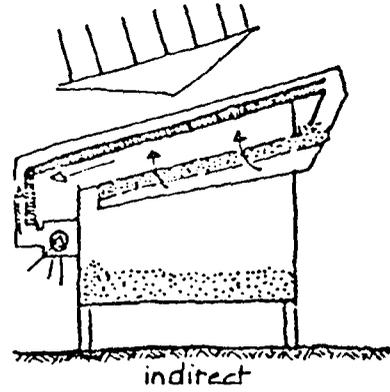
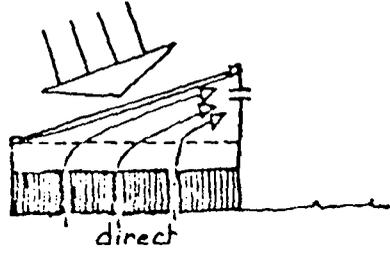
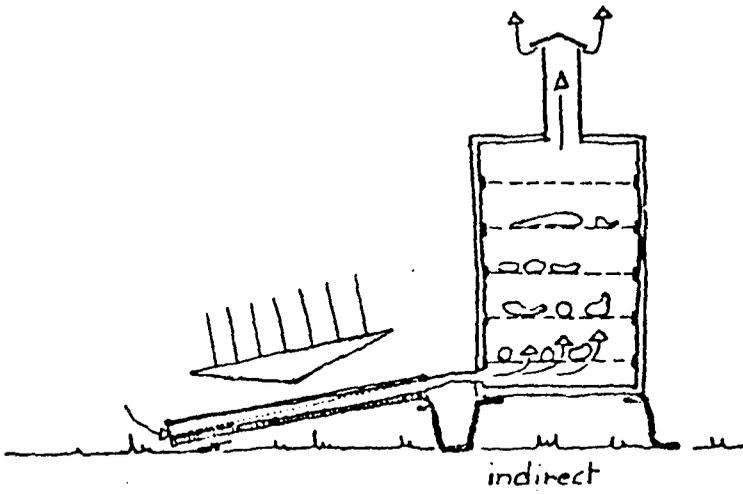
Nous proposons alors à Fatou Cissé (2), présidente du groupement des femmes à San-San, de suivre le projet et d'accepter la responsabilité de mettre le séchoir au service des femmes qui voudraient l'utiliser.

Par ailleurs, la réalisation du séchoir est le résultat d'une sorte de "contrat moral" que nous avons passé avec un jeune agriculteur de San-San .

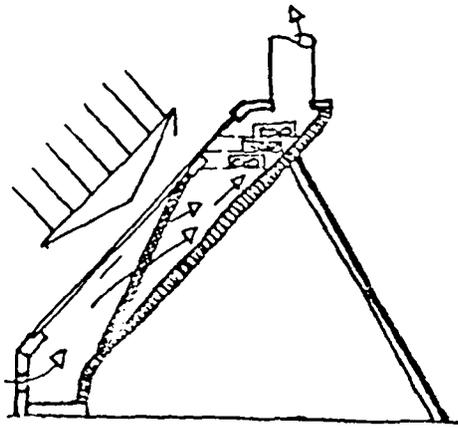
Lamine BA fait partie des quelques jeunes qui systématiquement suivent par curiosité ou désœuvrement les différentes activités. La sympathie qui nous lie nous incite à lui proposer la construction du séchoir solaire pour le compte de la présidente. Il est bien évident qu'il n'en tirera directement aucun profit matériel ni pour lui-même ni pour sa propre famille.

Bien que cette proposition témoigne de la motivation d'une famille à disposer d'un séchoir solaire pour elle-même, nous n'en tenons pas compte car c'était compromettre le développement du projet dans son ensemble. En effet c'était donner l'impression de privilégier une famille, et c'était s'interdire toute possibilité de démonstration et d'utilisation du séchoir par d'autres femmes.

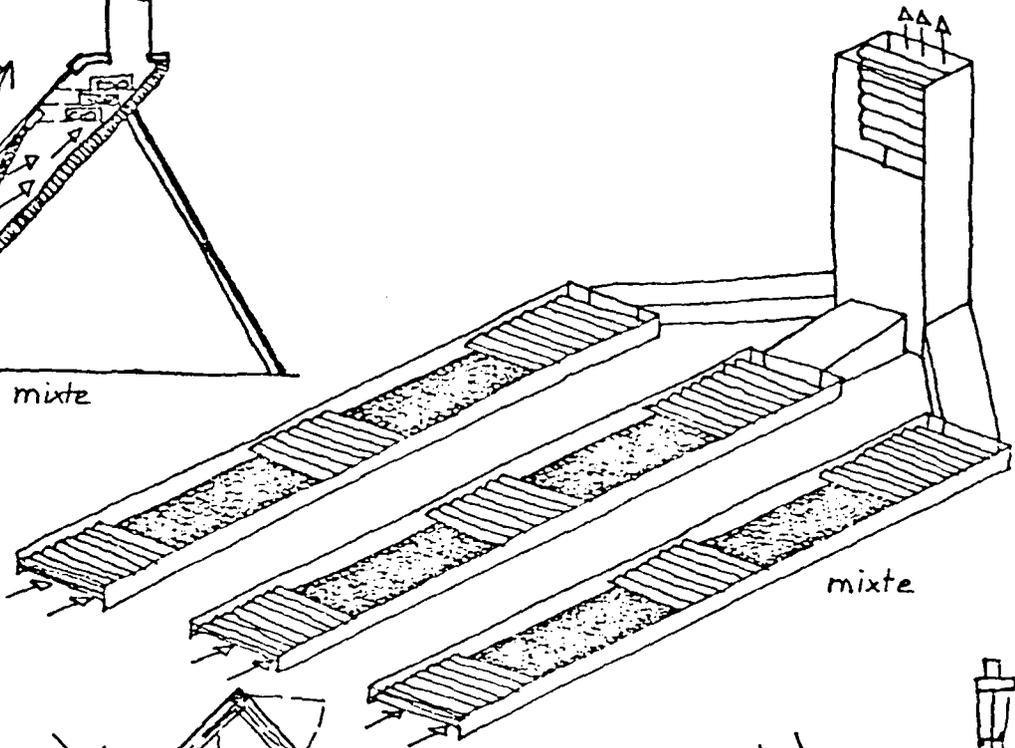
Son attitude et sa compréhension lors de l'expérimentation des tentes nous a incité à lui proposer le projet. En outre sa fonction et le respect que lui portent les autres femmes écartent tous risques de jalousie.



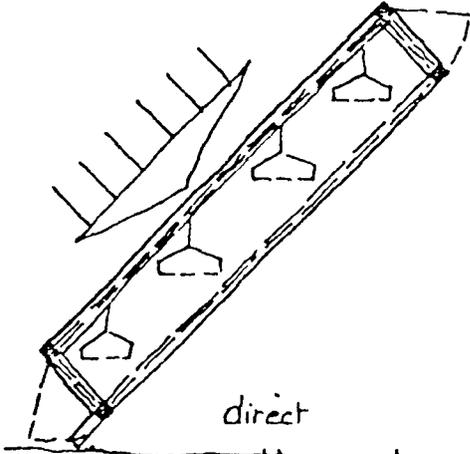
quelques exemples de séchoirs solaires



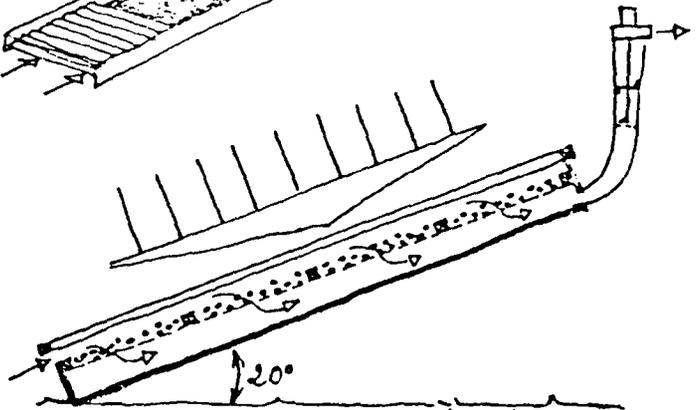
mixte



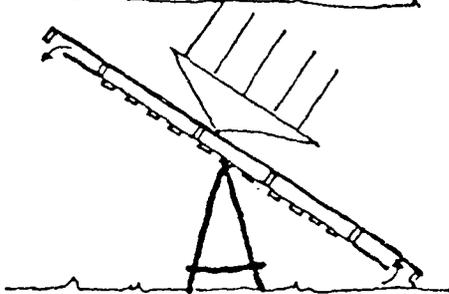
mixte



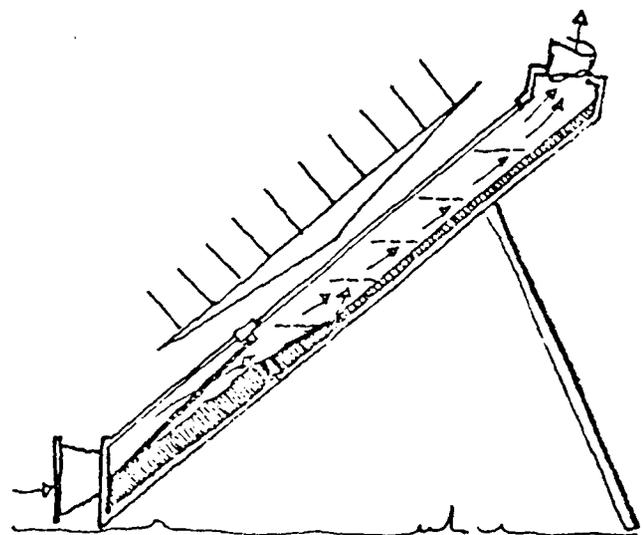
direct



direct

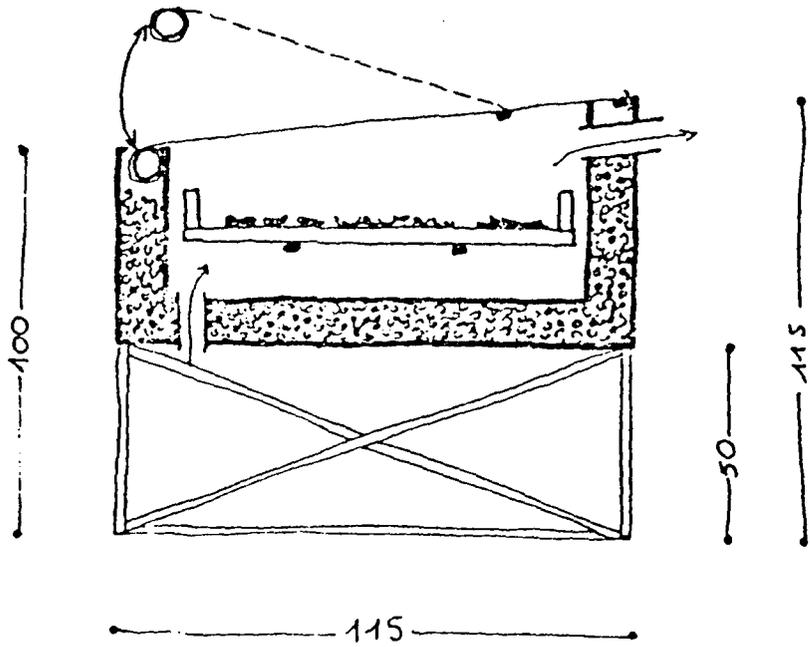


direct

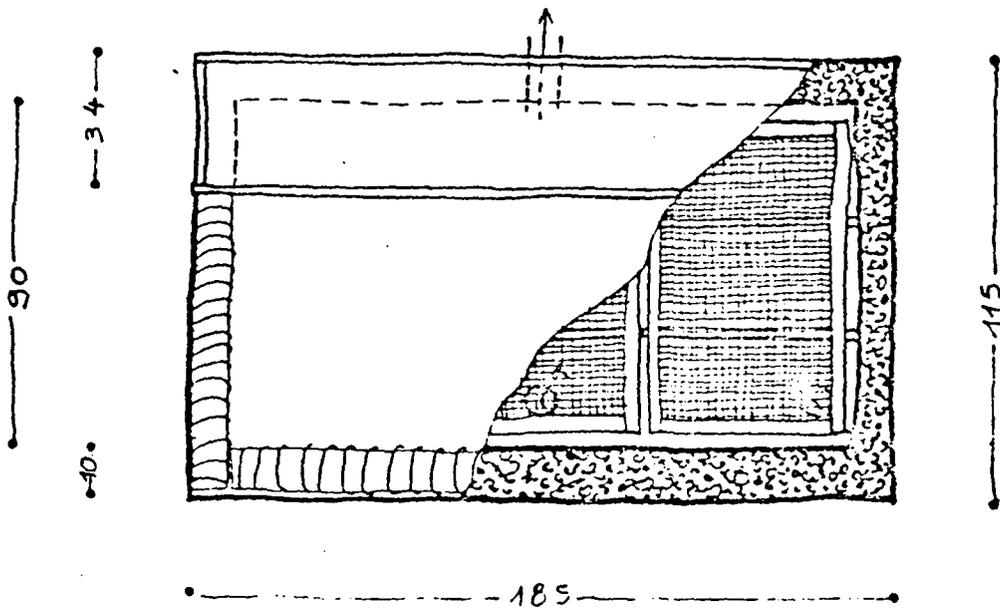


mixte

D28



COUPE



VUE DE DESSUS

Nous pensons que la principale motivation qui le conduit à accepter est sa "fierté de relever le défi".

Etude du séchoir

Quelques ébauches de plan donnant les principes de fonctionnement sont dessinées devant Lamine BA et Fatou CISSE. Nous leur présentons aussi une typologie de séchoirs solaires dans le monde. (1)

Nous choisissons comme type de séchoir solaire le séchoir à exposition directe à cause de sa simplicité de construction. Son principe de fonctionnement est aussi le plus "évident" à comprendre (2). Le gabarit du séchoir est déterminé à partir du gabarit des paillasses qui servent de lit de repos.

Réalisation du séchoir

Le séchoir est entièrement réalisé par un petit groupe de jeunes. Nous intervenons seulement pour donner les explications utiles et essayer de résoudre avec eux les problèmes techniques qui se présentent.

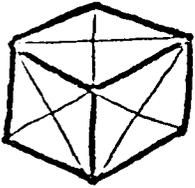
L'impulsion de départ est donnée par Lamine BA (3). Il est entouré bientôt par un petit groupe de jeunes qui lui donnent de temps en temps "un coup de main".

Les rythmes de travail, les solutions techniques choisies, la manière d'aborder les problèmes sont entièrement différents des nôtres. L'attitude que nous adoptons est d'essayer d'intégrer leurs techniques en les expérimentant puis de proposer sur la base de cette compréhension d'autres techniques.

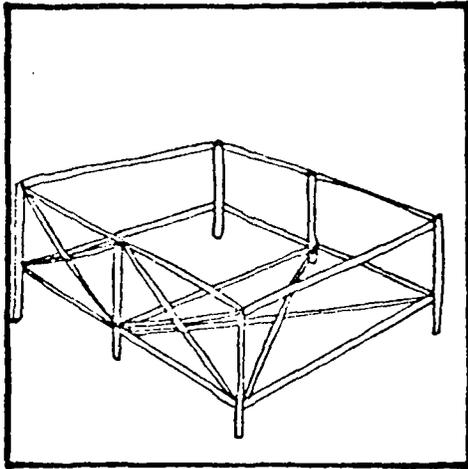
"Tout le monde se marre" !

- 1) les pages du dossier sont tournées comme un beau livre d'images. Chaque planche fait l'objet d'un commentaire détaillé sur la technique utilisée, les produits à sécher, les gens qui l'utilisent.
- 2) nous donnons la préférence pour le séchage des légumes aux séchoirs indirects à cause de la photooxydation des légumes et la destruction partielle des vitamines par le soleil sur les séchoirs directs. Mais étant dans l'incertitude quant aux dispositions réelles de Lamine BA pour la réalisation du séchoir, il nous semble plus prudent de faire fabriquer en premier un séchoir relativement simple et qui de plus fonctionne de la même manière que les tentes solaires.
- 3) Lamine BA se lève très tôt le 1er jour pour aller couper du bois en brousse. Il commence de lui-même la construction du bâti.

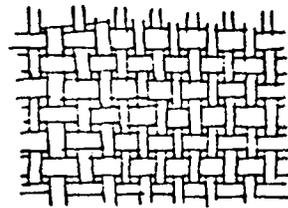
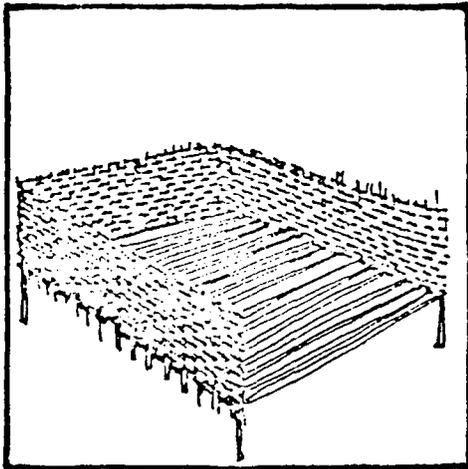
bati



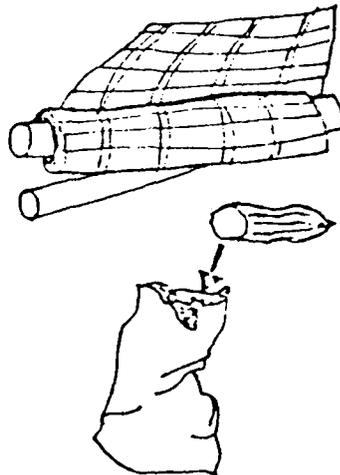
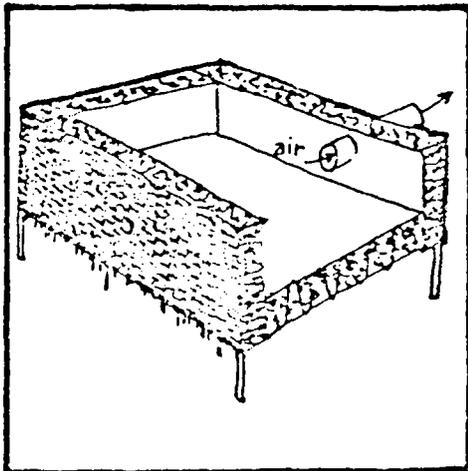
triangulation pour rigidité



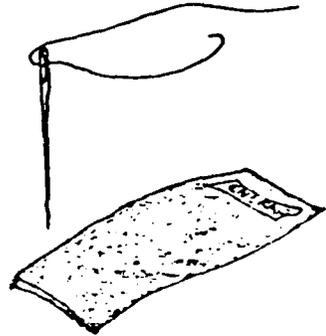
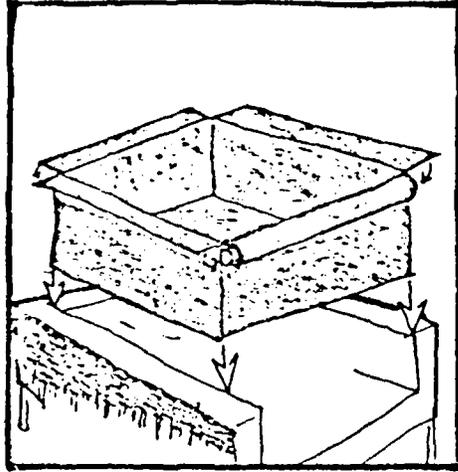
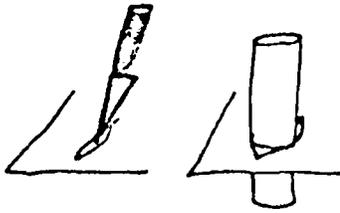
enveloppe



isolation



absorbeur



couverture transparente

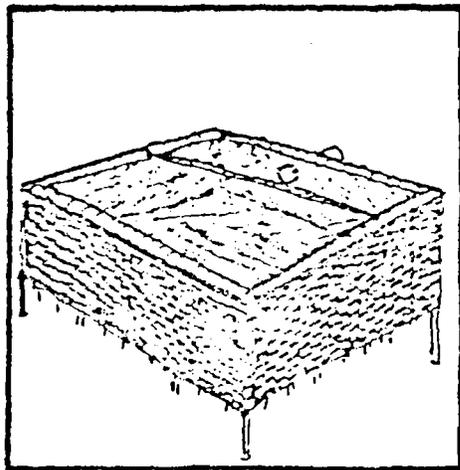
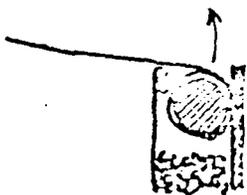
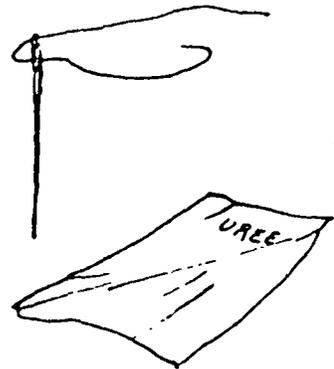
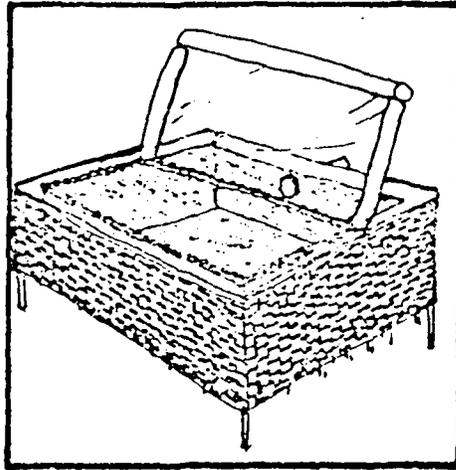
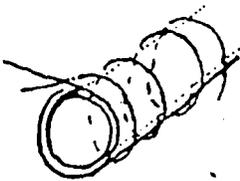


diagramme des températures de l'air

— température sous la tente
 - - - température ambiante

le 27 Mars 1981

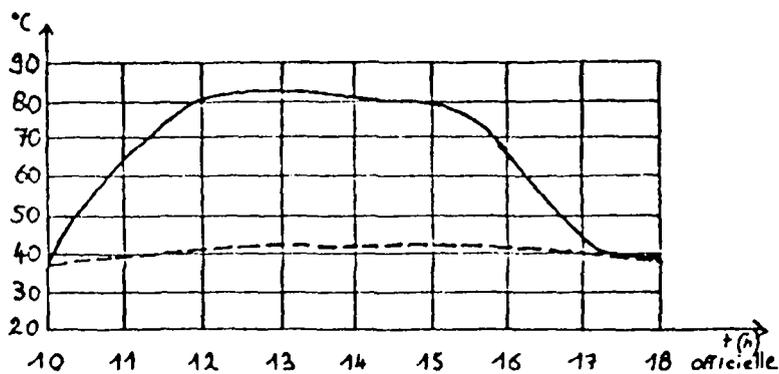
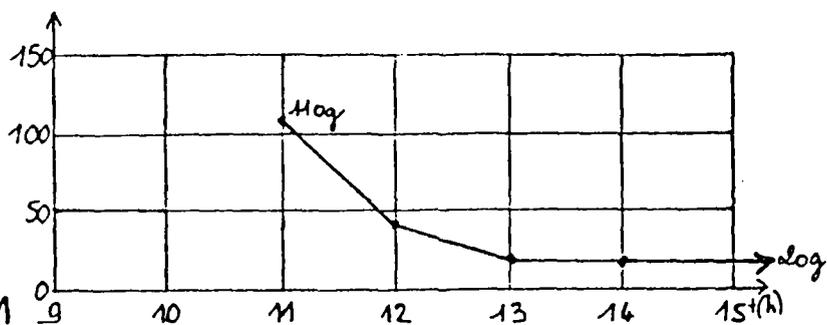


diagramme de perte de masse des produits

oignons coupés

le 27 Mars 1981



PRODUITS PREPARES	CAPACITE SECHOIR produits étalés	Journée du 15 Mars	
		PERTE DE POIDS	DUREE DE SECHAGE
oignons	4 kg	88 %	1 journée (1/2)
fanes oignon	2 kg	86 %	1/2 journée
tomates	6 kg	77 %	1 journée 1/2
gombos	5 kg	81 %	1 journée
feuilles de chou	1,5 kg	82 %	1/2 journée
feuilles de bissap	4 kg	85 %	1/2 journée

Le séchoir prend forme. Les femmes se déplacent de temps à autre pour assister à la construction.

Un autre sujet de conversation et de "rigolades" durant le rite du thé est la bagarre entre Lamine BA et le fils du chef du village à cause de sentiments de jalousie. Il est convenu que pour atténuer le différent, Lamine BA achèvera le séchoir tandis qu'un des fils du chef du village Siré CAMARA construira dans son propre carré les claies de séchage.

Emplacement du séchoir

Le choix de l'emplacement est laissé à Fatou CISSE. Nous pensions qu'il serait placé dans son jardin. Mais elle décide de le placer dans la cour du carré.

Le séchoir n'est plus perçu comme un objet étranger.

Expérimentations

Les performances sont inattendues.

Il y a une élévation de température de l'air de plus de 30°C. Les températures atteintes sont presque trop élevées et peuvent être préjudiciables aux légumes mis à sécher.

Toutefois, en obturant plus ou moins les orifices d'entrée de l'air sous les claies de séchage nous faisons varier la température entre 65°C et 75°C.

Tous les produits sèchent très rapidement. Le système des claies est très pratique.

Réaction des présidentes

Le comportement de Fatou CISSE vis-à-vis du séchoir est remarquable. Elle explique aux femmes de son village et aux hommes du carré l'intérêt du séchoir.

Elle invite les présidentes de Silla Counda et Keur Lamine à voir le séchoir solaire.

La présidente de Keur Lamine est très intéressée. Elle exprime le désir d'en avoir un bien à elle.

Elle souligne que le système des claies lui permettra d'étaler les produits à l'ombre ou dans sa chambre.

La présidente de Silla Counda regrette de ne pouvoir avoir un séchoir du même type qu'à San San. Mais elle comprend que c'est un prototype. Elle estime que le petit séchoir est très bien tel qu'il est. Elle nous dit que la tente qui se trouve sur la place publique à Silla Counda est trop loin de son carré. Cela lui pose un problème de surveillance des produits qu'elle met et "la tente n'est pas cachée".

W /m ²	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
E _a max	900	950	975	950	900	700	350
 E _s	600	750	750	700	600	350	100
 E _a	700	900	950	950	800	450	150

Ensoleillement reçu le 27 Mars 1981 en W/m²

(mesures avec un solatimètre instantané)

- Si nous faisons la moyenne des coefficients de transmission du rayonnement (calculés à chaque heure) nous avons un coefficient de transmission (λ) du polyéthylène blanc de récupération (sac d'urée) de : 0,77.

- bien que le coefficient de transmission soit inférieur à celui du polyéthylène transparent de la tente le séchoir capte une plus grande proportion de rayonnement maximum grâce à une meilleure inclinaison.

COMPOSANTS	ORIGINE	QUANTITE	COUT
ossature en bois	brousse		
parois en fibres tressées	fabrication locale	≈ 6m ²	fabrication villageoise
caisson absorbant	polyéthylène noir (sacs d'entraîs)	5 sacs	récupération au village
isolation	coques d'arachides	2 sacs de 50kg	vabrisation des résidus
couverture transparente	polyéthylène blanc (sacs d'urée)	3 sacs	récupération au village
raines de circulation d'air	axes de rouleaux de tissu	2 m. de tube	récupération marché Koungheul
peinture, clous ficelle etc...	quincaillerie de Koungheul		1200 CFA
grillage des claies	marché de Koungheul	≈ 1,5m ²	2000 CFA
main d'œuvre	tailleur couture du polyéth.		
TOTAL			≈ 3200 CFA

Utilisation et suivi du séchoir

Au cours des trois derniers jours de la première mission, l'utilisation du séchoir est laissée sous la responsabilité de Fatou CISSE. Siré CAMARA assure lui-même les relevés de température à heures fixes.

L'utilisation du séchoir ne pose pas de problème. A notre départ nous laissons quelques recommandations pour une bonne utilisation.

- Ne pas laisser les produits une fois séchés dans la chambre de séchage.
- Bien fermer la couverture transparente
- Essuyer la couverture transparente à cause de la poussière
- Ne pas ouvrir continuellement le séchoir

A partir des expérimentations, nous suggérons que les produits soient placés avant dix heures du matin dans le séchoir. Vers 13 heures les produits séchés (bissap-fanes) peuvent être retirés. Après 18 heures, les claies peuvent être enlevées et mises à l'abri dans la maison pour éviter une reprise d'humidité des produits durant la nuit.

Une fiche de suivi spécifique au séchoir est laissée à remplir (2)

Évaluation technique et économique du séchoir

Le séchoir réalisé est un prototype.

Réalisé d'une façon spontanée en quelques jours, il témoigne d'une certaine relation vécue entre des individus. Il démontre aussi que la réalisation de séchoirs solaires au moindre coût en milieu villageois est possible.

Les divers composants du séchoir peuvent être fabriqués à partir des matériaux locaux et de récupération et à partir des sous produits. Par ailleurs, il n'y a pas de difficulté technique pour reproduire ce prototype.

Au contraire il peut être amélioré sur le plan technique dans le sens d'une simplification par les villageois eux-mêmes car ce sont eux qui ont trouvé les astuces technologiques du séchoir (fermeture et tension de la couverture transparente par emboîtement.

Liaison des panneaux de polyane par coutures, circulation de l'air dans des tubes de cartons,)

Sur le plan économique, il peut ne rien coûter car sa réalisation s'inscrira dans le mode d'échange et d'aide propre à tout milieu villageois en dehors des circuits d'argent. Il faut noter qu'étant le "toutab" (3) il n'était pas possible de rentrer dans ce mode de relation et que par conséquent le séchoir "nous est revenu" à 6500 F CFA (2)

A ce jour, nous n'avons pas reçu les résultats de ces fiches de suivi, mais il semble que le séchoir ait été utilisé d'une façon continue jusqu'à la fin du maraichage.

Le blanc

Nous avons rémunéré le tailleur en échange de ses services (coutures des polyanes et des panneaux) car pour nous c'était un des moyens d'intéresser le milieu artisan de Koumbidia (4 tailleurs - 2 menuisiers - 1 forgeron) et de le faire participer à la réalisation de technologies nouvelles. Sur un autre plan, la cote de valeur des coques d'arachide d'habitude laissées à se dégrader sur le sol a subi une forte hausse au cours de l'expérimentation puisque elle nous a été proposée à 1000 Frs CFA les 2 sacs de 50 Kg de capacité.

Nombre de fiches remplies pour l'acquisition d'un séchoir solaire individuel: 38

Plus de la moitié des femmes exploitantes de Koumbidia (dont les 3 présidentes) ont répondu au questionnaire et sont prêtes à participer financièrement pour l'acquisition d'un séchoir solaire.

quartier	keur - lamine	San - San	Silla - Counda
nombre de femmes ayant répondu	4 (15%)	10 (55%)	24 (88%)
somme disponible	1000 CFA	1000 CFA 1250 CFA (présidente) 1500 CFA (1 femme)	1000 CFA 1500 CFA (3 femmes) 5000 CFA (1 femme)
femmes désirant un séchoir	100%	75%	37%
femmes désirant une tente		25%	63%

les produits que les femmes veulent sécher sont par ordre de préférence:

tomates	100%
oignons	100%
feuilles de chou	100%
gombo	71%
bissap	74%
aubergine	19%
cous-cous	8%
arachide	3%

Perspectives de développement

Mais il serait illusoire de ne retenir que le technologique et l'économique comme seules données pour l'implantation de séchoirs solaires à Koumbidia ou ailleurs.... Car se serait ne pas tenir compte de la dynamique villageoise sur laquelle nous nous sommes appuyés et qui nous apparaît comme étant le facteur principal et déterminant pour la poursuite du projet.

Les résultats de l'enquête pour identifier les femmes prêtes à investir dans la construction d'un séchoir solaire individuel témoignent de l'intérêt et de la crédibilité qu'elles ont apporté à cette nouvelle manière de sécher et de conserver et à ce mode de mise en oeuvre d'outils nouveaux. Il "reste" à rassembler les conditions pour répondre à cette attente et passer du stade de l'expérimentation en milieu réel au stade d'une vulgarisation de plusieurs types de séchoirs solaires.

Pour ce faire il convient de se soustraire aux contraintes du milieu réel pour établir les conduites de séchage et tester les divers séchoirs (2) en milieu expérimental. Ensuite il s'agira d'organiser et de lancer avec les villageois sur le terrain même un chantier d'auto construction d'une quarantaine de séchoirs individuels.

CONCLUSION

Séchage solaire

38 maraichères sont prêtes à financer la construction d'un séchoir solaire individuel à raison de 10 % en moyenne de leur revenu net moyen annuel. (Les sommes varient entre 1000 F CFA et 1500 F CFA).

Il s'agit maintenant d'implanter à Koumbidia, compte tenu des résultats et de l'expérience acquise, une quarantaine de séchoirs solaires au moindre coût.

L'organisation d'un chantier d'auto construction et l'achat groupé de petit matériel (clous, ficelle, peinture noire, grillage, outillages ...) devraient permettre de réduire au maximum une aide financière extérieure.

) Proposer plusieurs types de séchoirs solaires (tente ou boîte de séchage solaire de type direct, séchoirs de types indirects) c'est favoriser le développement de ce "créneau technique villageois" dans la région. Car c'est donner la possibilité aux intéressés d'assimiler les principes de fonctionnement des séchoirs solaires à cause de leur permanence dans les différents modèles (corps noirs, effet de serre, circulation de l'air autour des produits etc...) tout en les incitant par voie de conséquence à améliorer inventer bricoler de nouveaux séchoirs à partir de ces principes

2) Notamment : la mise au point d'une tente de séchage individuelle en tenant compte des instructions exposées précédemment ou d'une boîte de séchage analogue à la tente...

l'étude du séchoir réalisé à Koumbidia

l'expérimentation d'un séchoir solaire de type indirect réalisé à partir des mêmes matériaux (panneaux de fibres tressées - coques d'arachide - bois de brousse - sacs d'engrais et d'urée). Le surcoût proviendra de l'achat d'une feuille de tôle (80 X 200 cm = 1350F CFA mars 81) et qui servira à réaliser l'absorbant du capteur. (Les toles sont utilisées à Koumbidia pour les toitures et pour les portes).

ANNEXE

PREPARATION : A : produit en entier
B : produit coupé gros morceaux - préparation rapide
C : produit coupé petit morceaux - préparation soignée
D : produit lavé
E : produit broyé
F : produits broyés et mélangés

CHARGEMENT : A : produits en tas
DANS LA B : produits étalés
TENTE C : produits mis dans un récipient : boîte à sucre
bassine

STOCKAGE : A : produits mélangés
B : produits séparés
C : sac en papier
D : sac en plastique
E : bassines ou autres récipients
F : autres sacs

MOTIFS DU A : pour préparer la cuisine - besoins immédiats
SECHAGE B : pour stockage et consommation ultérieure
C : pour vente.

ISRA
S.C.S
UE - Kourbidia

Fiche de suivi - Tente de Sèchage -

Village =
Quartier = Kour - lamine

Femme Fatoumata
Camara

Semaine du 23 Mars au 29 Mars 1981

Produit	Préparation	Chargement dans la tente	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Vend.	Sam.	Dim.	Stockage	Motif du sèchage
Tomates	C	B			11H15		12H			D	A
Feuilles oignons	C	B			11H15		12H			D	A
bulbe oignons	C	B			11H15		13H			D	A
Gombos											
feuilles de chou											
feuilles de bissap											
Mélange oignons Tomates											

COMMISSARIAT GENERAL A
L' ENERGIE ATOMIQUE
C.G.E.A. / C.R.E.N.-K.
B.P. 868 KINSHASA XI
REPUBLIQUE DU ZAIRE.

DEVELOPPEMENT D'UN SECHOIR SOLAIRE POUR ALIMENTS DESTINES
AUX COMMUNAUTES RURALES ET PRODUCTEURS ARTISANAUX.

J.F.ROELS et ONYEMBE P.M.L.
juin 1981.

R E S U M E

La conservation des denrées alimentaires par des méthodes simples peut améliorer l'état nutritionnel et sanitaire des communautés rurales.

Un séchoir a été étudié et mis au point pour sécher les légumes. A côté de son utilisation dans les milieux ruraux, il peut aussi convenir à une production plus importante dans le cadre des producteurs artisanaux. Le matériel et les méthodes utilisées ont été décrits pour que les séchoirs puissent être fabriqués et utilisés dans de bonnes conditions.

Une série d'essais a été réalisée sur quelques légumes de production et de consommation locales. L'intérêt de cette technique a été clairement démontré.

A partir de ce modèle, nous avons développé un cérificateur et un modèle à grande surface.

S A M E N V A T T I N G

De bewaring van voedingsmiddelen langs eenvoudige weg kan de voedingstoestand en de gezondheidstoestand van de plattelandsbevolking verbeteren.

Een droogkast voor groenten is op punt gesteld. Naast zijn gebruik op het platteland kan ze ook dienen in het kader van de kleine producent.

Het materiaal en de werkwijzen zijn beschreven zodat de droogkast zou kunnen nagemaakt worden en gebruikt worden in goede voorwaarden.

Een aantal proeven zijn gedaan geweest op enkele lokaal gekweekte en verbruikte groenten. Het belang van de beschreven technieken is klaar naar voor gebracht.

Op basis van het beschreven model hebben we een "wassmelter" en een "groot model" ontwikkeld.

I N T R O D U C T I O N

Une part allant de 20 à 40 % des céréales et dépassant 50 % des fruits et légumes dans de nombreux pays tropicaux en développement est perdue après les récoltes, par le fait des rongeurs, des insectes, de la moisissure ou du pourrissement pendant le stockage et la manutention. La réduction de ces pertes par les techniques adéquates permettrait d'accroître fortement l'approvisionnement alimentaire des grands centres urbains.

Comme ces pertes affectent aussi les agriculteurs de subsistance, dans des régions rurales qui souffrent de pénurie alimentaire, leur prévention serait un important moyen d'améliorer l'état nutritionnel et sanitaire. Pourtant ce n'est que depuis une date très récente qu'on commence à s'intéresser non seulement à la production alimentaire mais aussi à la conservation de ces aliments, et cet intérêt nouveau est le résultat, en partie tout au moins, de l'impulsion donnée par le programme mondial contre la faim.

Le programme mondial contre la faim a pour objectif, notamment, de développer des techniques de conservation des aliments après les récoltes dans les pays en voie de développement. Ainsi, l'utilisation de l'énergie solaire pour le séchage des récoltes, à des fins de conservation, est un thème évident d'intérêt commun. Cette technique est traditionnellement utilisée dans nos communautés rurales où la plus importante source énergétique reste le soleil.

L'objectif central de ce travail est d'utiliser les aptitudes et les connaissances des sociétés traditionnelles dans la conservation solaire des produits alimentaires en les ralliant aux systèmes de recherche-développement sur l'emmagasinage et l'utilisation de l'énergie solaire, de façon à permettre au milieu rural pauvre d'en tirer le meilleur parti possible.

L'exécution d'un programme de conservation alimentaire comporte l'achat de denrées à la production, leur traitement, puis l'utilisation ou la vente des produits dûment protégés contre les risques de recontamination et de dommage au cours de la manutention et du transport. Nous suggérons dans un stade ultérieur

l'irradiation de ces produits par les rayonnements gamma. Ces rayons proviennent des sources de Cobalt 60 (γ , 1,17 et 1,33 MeV) ou du Césium 137 (γ , 0,66 MeV). L'irradiation de fruits et légumes permet de prolonger la durée de leur entreposage, à la température ordinaire et de faciliter par conséquent leur transport vers les centres de consommation. Elle offre aussi l'intérêt de détruire les insectes éventuellement présents sur ou dans ces fruits et légumes; à cette fin, elle doit être effectuée après emballage dans des sachets en plastique, étanches et impénétrables.

Il nous sera particulièrement important d'effectuer les recherches et d'assurer la formation avancée nécessaire à une optimisation de l'efficacité et de la possibilité de reproduire le procédé de conservation solaire des aliments, que nous avons mis au point, dans des conditions climatiques et géographiques variables de notre pays.

II. MATERIELS ET METHODES

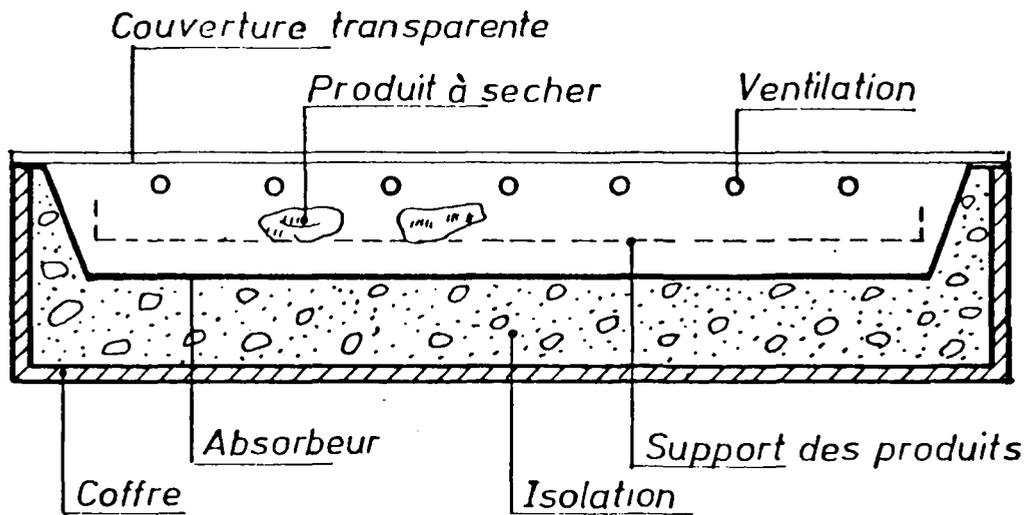
Dans la fabrication et la mise au point du séchoir, nous nous sommes efforcés de développer une technologie simple, utilisant presque exclusivement (à la vitre près) les matières locales.

Les aspects théoriques ne sont pas présentés ici, nous nous limitons uniquement à la composition, au fonctionnement et aux premiers résultats.

Composition du séchoir

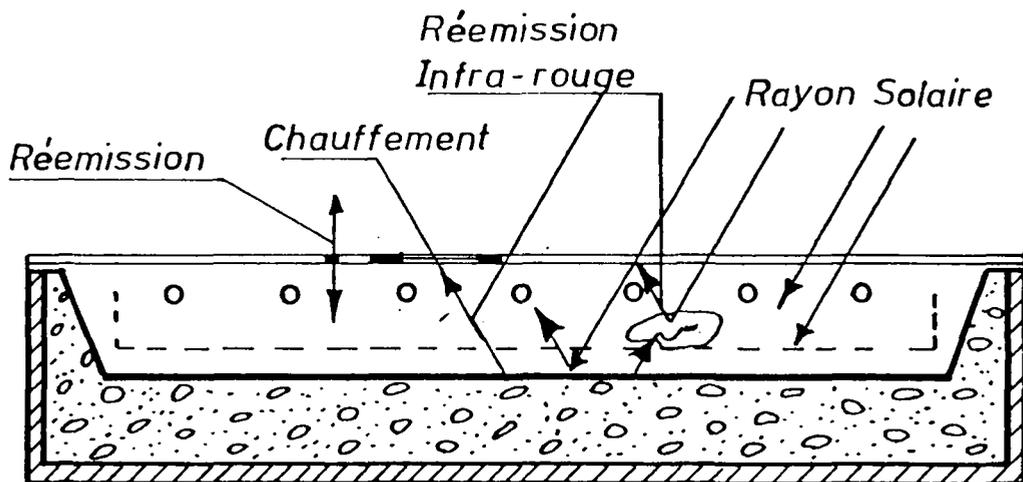
Le séchoir est composé d'une enceinte ou coffre, d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un isolateur et d'un système de ventilation (Figure 1).

Pour la construction du coffre, nous avons utilisé le multiplex et le triplex; l'ensemble est collé, cloué et peint pour être solide et résistant aux intempéries. Les dimensions ont été choisies, pour des raisons d'économie et de facilité, en fonction des vitres disponibles (75 x 44 Cm). Le coffre a une hauteur de 15 Cm. Il est possible de réaliser le coffre avec des matériaux moins onéreux.



Composition du séchoir.

FIGURE 1



Fonctionnement du séchoir.

FIGURE 2

La couverture transparente fait fonction de couvercle qui assure la fermeture. Le cadre est fait de la même matière que le coffre et la vitre est tenue en position par des lattes.

Comme absorbeur, nous utilisons une plaque de cuivre, épaisseur de 0,6 mm ou des dalles en terre cuite, épaisseur ± 2 Cm peintes en latex noir. Les plaques de récupération "offset" des imprimeries sont également utilisables.

L'isolation vers le fond est assurée par 7 Cm de copeaux de bois ou de la sciure de bois.

Fonctionnement du séchoir

Le séchoir plan capte les rayons solaires (longueur d'onde entre 0,2 et 0,6 microns) tombant sur la lame de verre, la traversent presque intégralement et chauffent l'absorbeur placé en-dessous. A son tour, l'absorbeur reémet des rayons infra-rouges (de 4 à 10 microns). La vitre, opaque pour l'infra-rouge, absorbe le rayonnement et s'échauffe, elle reémet un rayonnement dont ± 50 % vers l'intérieur et ± 50 % vers l'extérieur. C'est ce double effet de chauffage qu'on appelle "l'effet de serre" (Figure 2).

La chaleur ainsi créée déshydrate les produits exposés à l'intérieur du séchoir et la ventilation assure l'évacuation de l'air humide. Pour assurer un maximum de rendement, l'insolateur est orienté vers le sud et incliné suivant l'angle égal à la latitude du lieu augmenté de 10° (pour Kinshasa, $4,5^\circ = \pm 15^\circ$).

Matériels utilisés pour les essais

Afin de prouver le bon fonctionnement des installations et l'utilité de nos recherches, nous avons travaillé sur quelques légumes produits et consommés au Zaïre tels que le poireau, l'oignon, le pili-pili, l'aubergine et le pondou acheté sur le marché de Kinshasa.

Le poireau : coupé en morceaux; le poids est réduit à ± 14 % de son poids initial;
 la partie blanche (tige) à ± 17 %
 la partie verte (feuille) à ± 11 %.

L'oignon : découpé; le poids est réduit à 11 % de son poids initial après déshydratation.

Le pili-pili: coupé en deux morceaux, la perte d'eau se fait deux fois plus vite que pour le fruit entier; il est réduit à un poids qui varie entre 10 et 15 % suivant la variété, la forme et la texture du pili-pili.

Le pondu : les premiers essais n'ont pas donné un résultat très positif. Ce légume est photo-sensible et des recherches prolongées s'imposent.

Il est clair que cette liste n'est pas limitative et qu'un grand nombre d'autres légumes peuvent être traités de la même façon.

Méthode de travail

Puisque ces légumes sont destinés à la consommation humaine, leur préparation avant l'exposition doit être très soignée. En général, ils sont nettoyés et éventuellement coupés en morceaux.

L'exposition dans l'insolateur se fait dans des paniers pour que la manipulation soit facile, la perte minimale et les conditions hygiéniques maximales. La disposition dans les paniers ne peut en aucun moment bloquer la circulation de l'air, puisque cette circulation assure l'évacuation de l'eau évaporée. Le blocage de cette circulation diminue le rendement. Les paniers de séchage peuvent être faits en métal (grillage galvanisé de cage à poules) ou en vannerie locale.

Après séchage, le produit est retiré et emballé.

La conservation à l'état libre peut poser de problèmes de contamination et d'hygiène à longue échéance.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La température

Dans une première période, nous avons essayé de déterminer les températures maximales qu'on pouvait atteindre dans un insolateur et les différents facteurs qui pouvaient les influencer (conditions de Kinshasa).

Après quelques essais sur différents matériaux d'isolation, nous nous sommes fixés sur l'utilisation des copeaux de bois pour toutes les applications; la sciure de bois a été essayée à la fin des expériences.

Au cours de nos observations au courant du mois de novembre et décembre 1979, nous avons enregistré une température maximale de 99°C et une température moyenne de 92,3°C entre 12h et 14h 15 min. pour un insolateur à 2 vitres, plaque de cuivre naturelle et une ventilation faible (Figure 3).

La différence entre une et deux vitres peut être illustrée par le Tableau I et la Figure 4a.

Systeme	Cu naturel vent faible	Cu naturel + thermo-syphon.	Cu noirci thermo-syphon.	Dalles en terre, cuite + thermo-syphon.
2 vitres	99	89 (1)	98,5 (1)	79 .
1 vitre	-	-	87 (2)	80 (2)

Tableau I : Comparaison des températures dans différents systèmes.

(1), (2) : Observations simultanées.

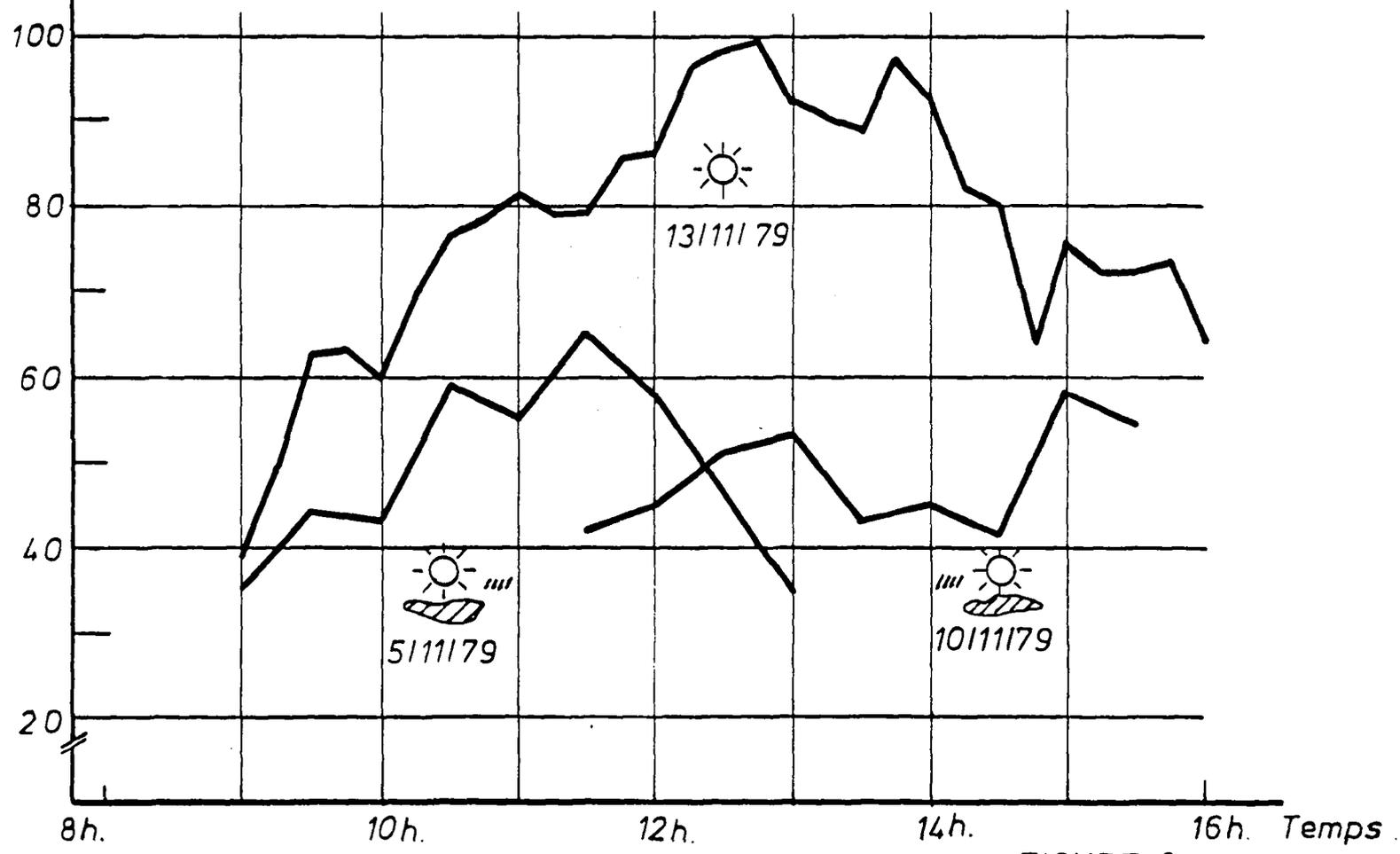
En pratique, la solution à une vitre est plus économique (de 20 à 30 % en moins), les températures sont légèrement inférieures que dans un système à 2 vitres. Sur la vitre simple, on observe plus vite des vapeurs d'eau à l'intérieur après le chargement; cette condensation empêche partiellement la pénétration des rayons solaires.

Dans la période juin-septembre (saison sèche à Kinshasa), les températures dépassent les 60°C dans les capteurs avec dalles en terre cuite.

L'introduction d'un thermo-syphon, comme système de ventilation, pour l'évacuation de l'air humide donne de très bons résultats. La température à l'intérieur est fonction de la quantité d'air frais qui entre (Figure 5).

Temperature

C°



Observation de la température pendant trois journées caractéristiques pour la région de Kinshasa.

FIGURE 3

Le Tableau II illustre cette situation. Les entrées d'air sont protégées par des toiles moustiquaires afin d'éviter l'introduction des insectes. Il est possible de régler la température intérieure en contrôlant l'air qui entre.

INSOLATEUR A 2 VITRES CUIVRE NOIRCI		
Ventilation normale	Thermo-syphon	Thermo-syphon
par 12 trous \varnothing 12 mm	de 50 Cm	de 100 Cm
$\pm 74^{\circ}$	\varnothing 4,5 Cm	\varnothing 4,5 Cm
	$\pm 70^{\circ}\text{C}$	$\pm 67^{\circ}\text{C}$

Tableau II : Comparaison des effets de la ventilation sur la température à l'intérieur de l'insolateur.

Dans le souci majeur d'utiliser des matériaux locaux, nous avons remplacé l'absorbeur en cuivre par des dalles en terre cuite (25 x 15 x 2 Cm). En comparant les températures dans les capteurs équipés de cuivre noirci et de celui équipé de dalles noircies, nous observons une baisse pour ce dernier qui peut atteindre 10°C. Les variations brusques de l'ensoleillement pendant la journée ont moins d'influence sur la température pour les "dalles"; le démarrage le matin est plus lent et la température maximale est légèrement inférieure. Par contre, la chaleur accumulée dans la terre cuite permet d'avoir une température plus régulière au cours de la journée et de la maintenir un peu plus longtemps à la fin de la journée (Figure 6).

Le Figure 7 illustre l'influence des différents paramètres sur la température à l'intérieur du séchoir.

Un exemple pratique pour la perte totale en eau de pili-pili est illustré par la Figure 8. Le temps qu'il faut pour atteindre le "poids sec" est fonction de l'ensoleillement, de la température atteinte dans le capteur et de la variété de légumes traités.

Il est à signaler qu'il existe également une température critique de séchage au-dessus de laquelle le produit ne se réhydrate plus normalement.

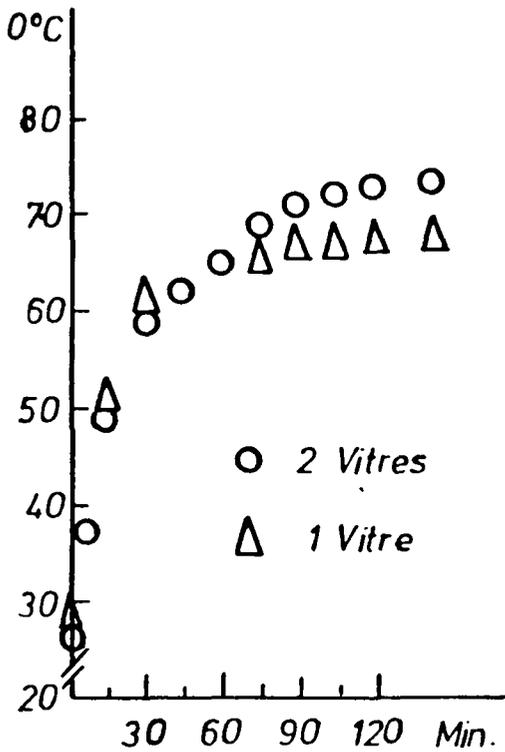


FIGURE 4a

Comparaison des températures dans un séchoir à une et deux vitres (Source artificielle).

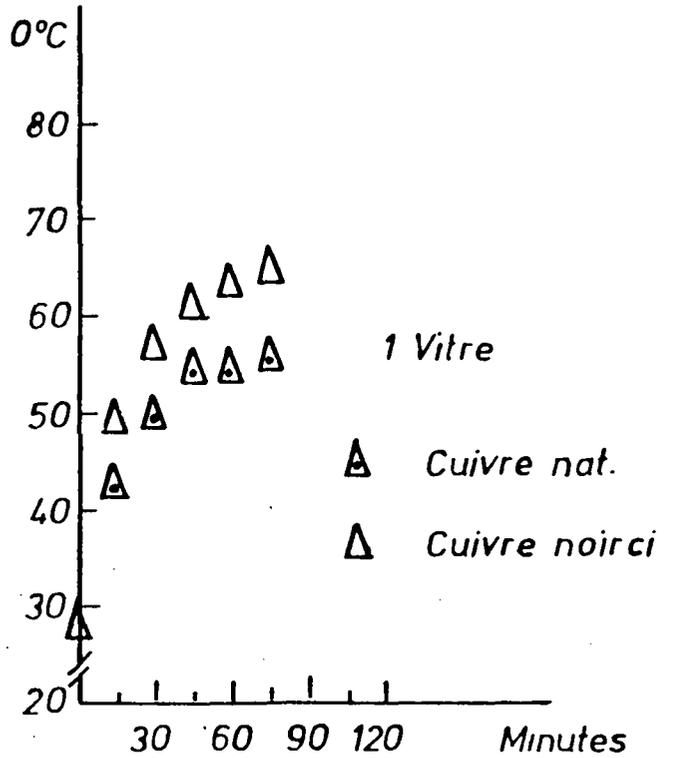
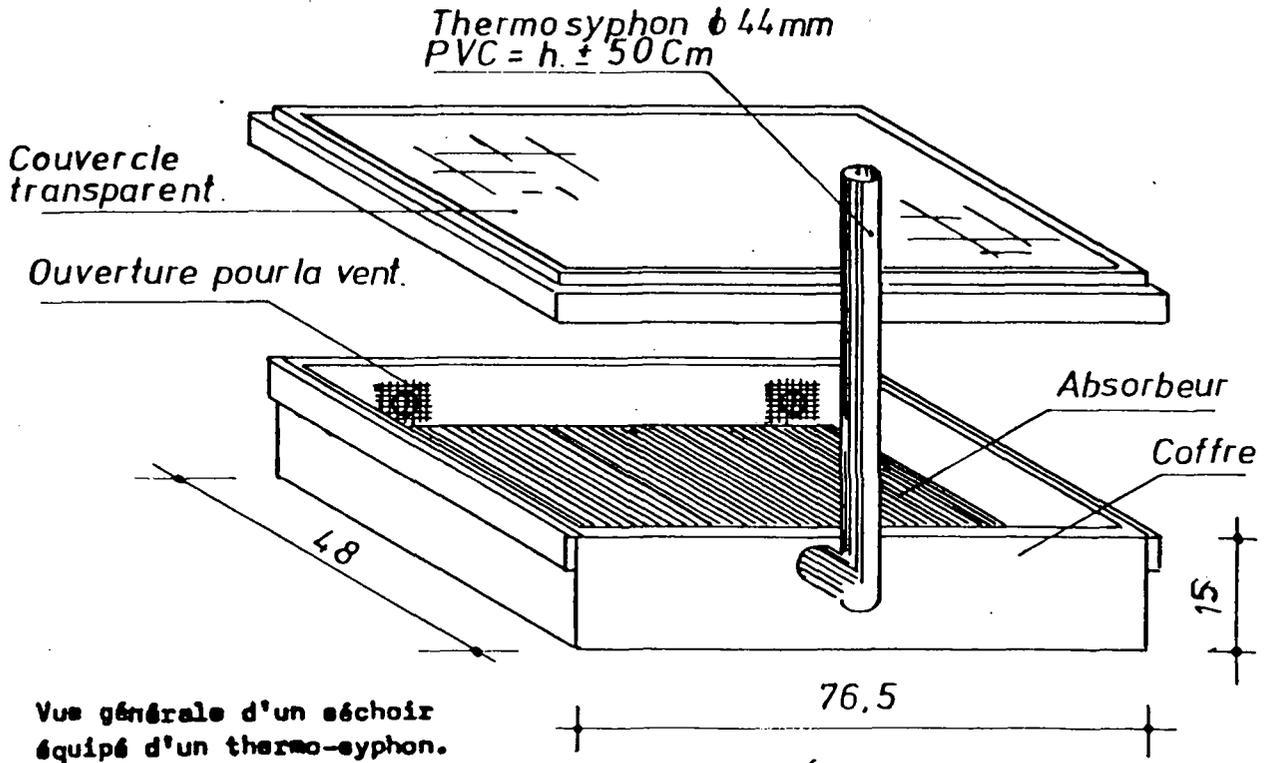


FIGURE 4b

Comparaison des températures dans un séchoir à une vitre avec deux absorbeurs différents (Source art.).



Vue générale d'un séchoir équipé d'un thermo-syphon.

FIGURE 5

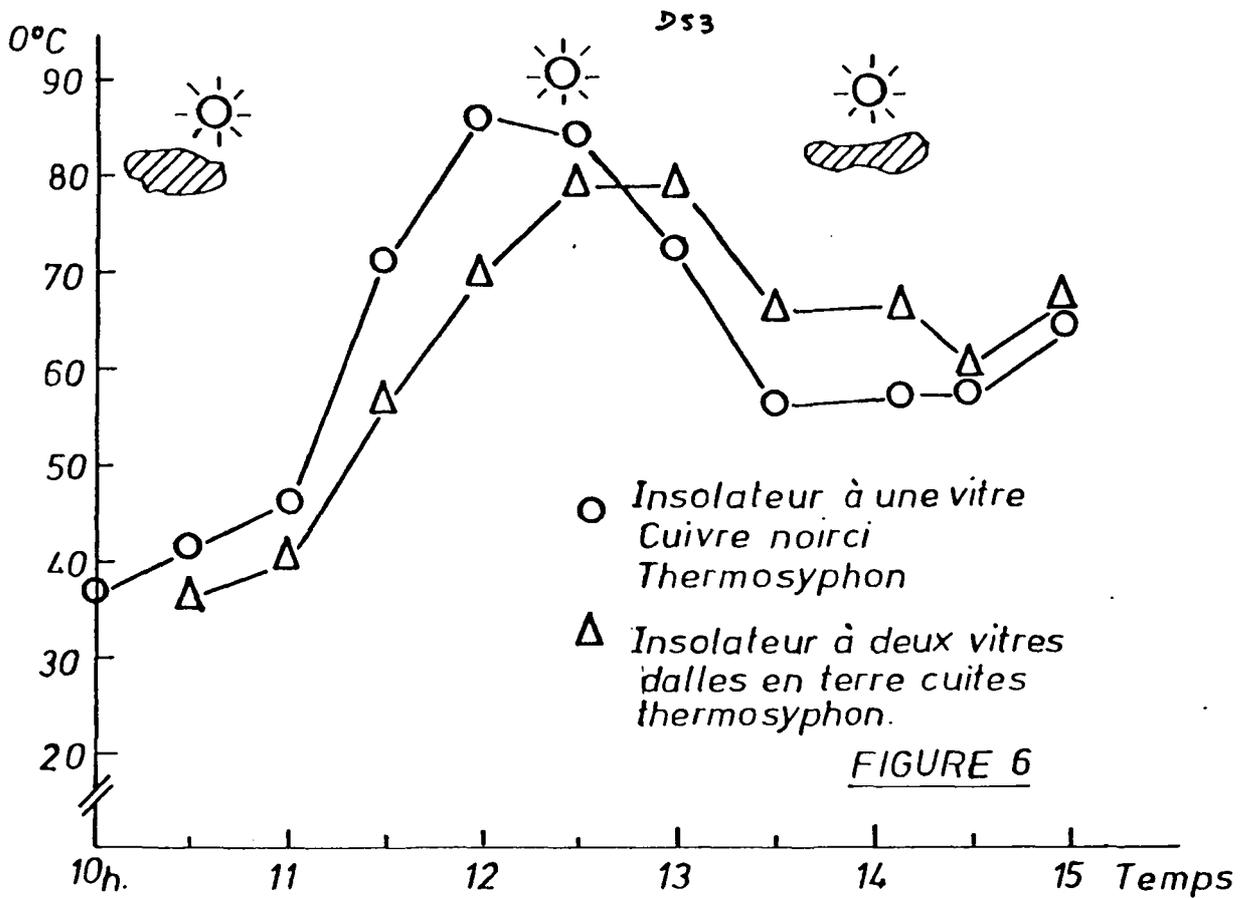
Ainsi devons-nous utiliser des températures oscillant entre 55 et 65°C pour préserver les qualités physiques et nutritionnelles de nos légumes après réhydratation.

Rentabilité économique

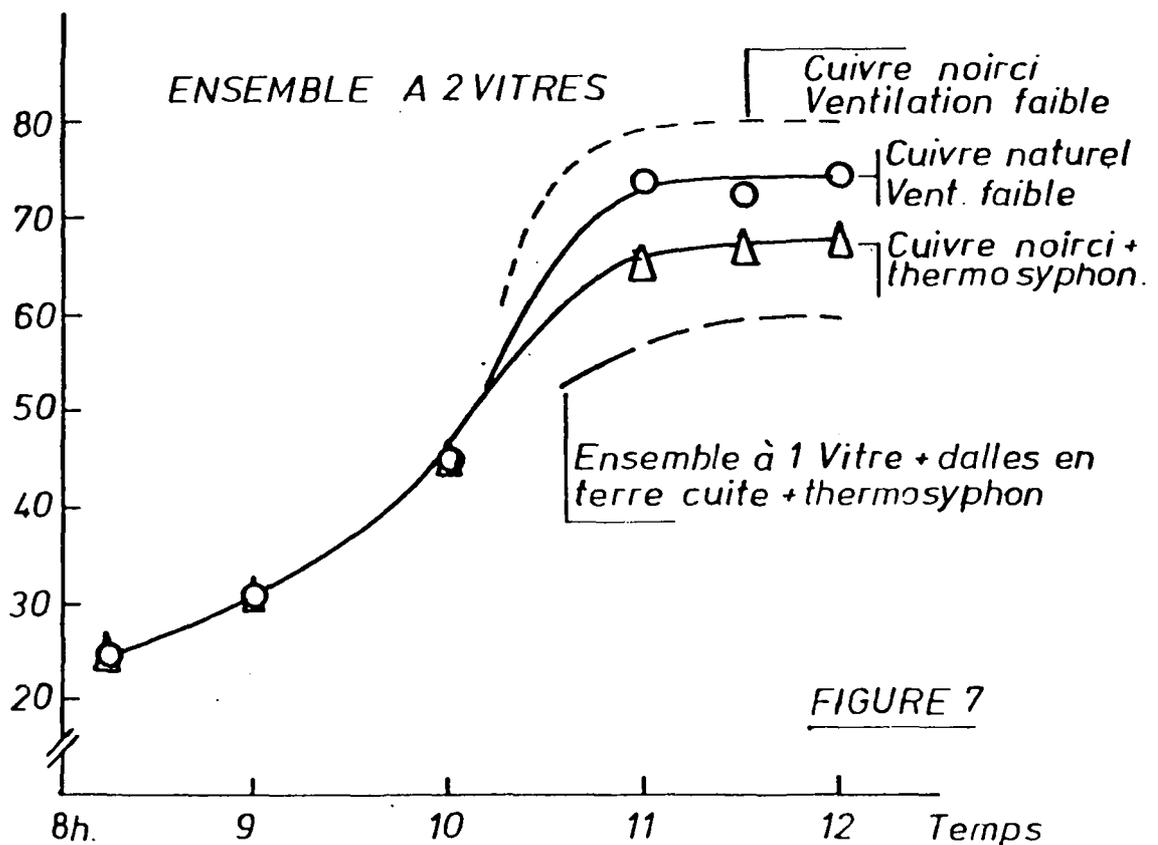
Pour pouvoir atteindre une certaine rentabilité économique, cette technique de séchage de légumes vise aussi d'autres buts que la seule préservation : la réduction de poids, parfois de volume, des aliments constitue un avantage important pour le transport et l'entreposage.

Tableau III : Comparaison du prix d'un produit frais et un produit sec (référence Kinshasa, décembre 1979).

Poireau frais	Poireau sec
Production aux environs de Kinshasa	Production au Kivu (environs de Goma)
Vente à Kinshasa	Vente du produit sec à Kinshasa
Achat en détail du poireau frais entre 18 et 24 Z/Kg (Déc. 1979) prix moyen 21 Z/Kg.	Achat poireau frais au Kivu 1 Z/Kg frais de nettoyage, de déshydratation et d'emballage ± 3 Z/Kg.
	Le produit sec est réduit à 15 % de son poids initial 1 Kg devient ± 150 gr.
	(Possibilité d'irradiation)
	Transport Avion : 3,30 Z/Kg x 0,15 ± 0,50 Z
	Coût total du produit rendu à Kinshasa (150 gr sec) 4,50 Z frais de transport et de mise en vente à Kinshasa (estimé à 50 %) 2,25 Z
	prix de 0,15 Kg de produit sec 6,75 Z
	A la réhydratation, les 150 g sont utilisés comme 1 Kg de poireau frais.
Prix à Kinshasa produit frais 21 Z/Kg.	Prix à Kinshasa produit séché 6,75.



Comparison des températures pour deux séchoirs différents; remarquez l'évolution moins brusque de la température pour la deuxième courbe.



Tendance des différents paramètres sur l'évolution de la température à l'intérieur du séchoir.

Le prix a été réduit de \pm 70 % et la période de conservation prolongée à plusieurs semaines. L'intérêt économique de cette technologie est donc établi; les prix du transport sont considérablement abaissés (vue la réduction du poids) pour une plus longue période de conservation.

IV. ADAPTATION DU SECHOIR A D'AUTRES APPLICATIONS

Il est possible de modifier et d'adapter le séchoir décrit pour quelques applications spécifiques et de ce fait augmenter le rendement et la production.

CEREFICATEUR

La récolte de la cire produite par les abeilles peut s'effectuer à l'aide d'un céréficateur solaire. Pour une utilisation occasionnelle, il n'est pas nécessaire de modifier le capteur; on peut juste déposer à l'intérieur du séchoir un récipient contenant la cire à fondre. S'il s'agit d'une production régulière, la construction d'un capteur spécifique, le céréficateur, pourra se justifier.

La cire des abeilles fond aux environs de 62°C. Les températures atteintes lors des essais avec des tubes des matériaux différents comme l'aluminium, le verre et le P.V.C. rempli d'eau, étaient de 70 à 75°C.

La Figure 9 montre le céréficateur fait à partir du séchoir, les tubes ainsi que l'emplacement. Il est à noter que ce capteur fonctionne sans thermosyphon.

SECHOIR A GRANDE SURFACE

Il sera probablement difficile et onéreux de construire un grand nombre de petits séchoirs pour atteindre une production journalière importante. Pour atteindre ce but, il est possible de construire un séchoir basé sur les mêmes principes mais construit en briques et béton avec un encadrement en bois et une couverture en plastique d'une surface utile d'environ 2 m². Les Figures 10a et 10b montrent le schéma. Comme pour le petit séchoir, l'ensemble est peint en noir-mat et l'étanchéité (bonne fermeture) est très importante. Pour ce faire il faut que la barre de fer n° 13 soit lourde.

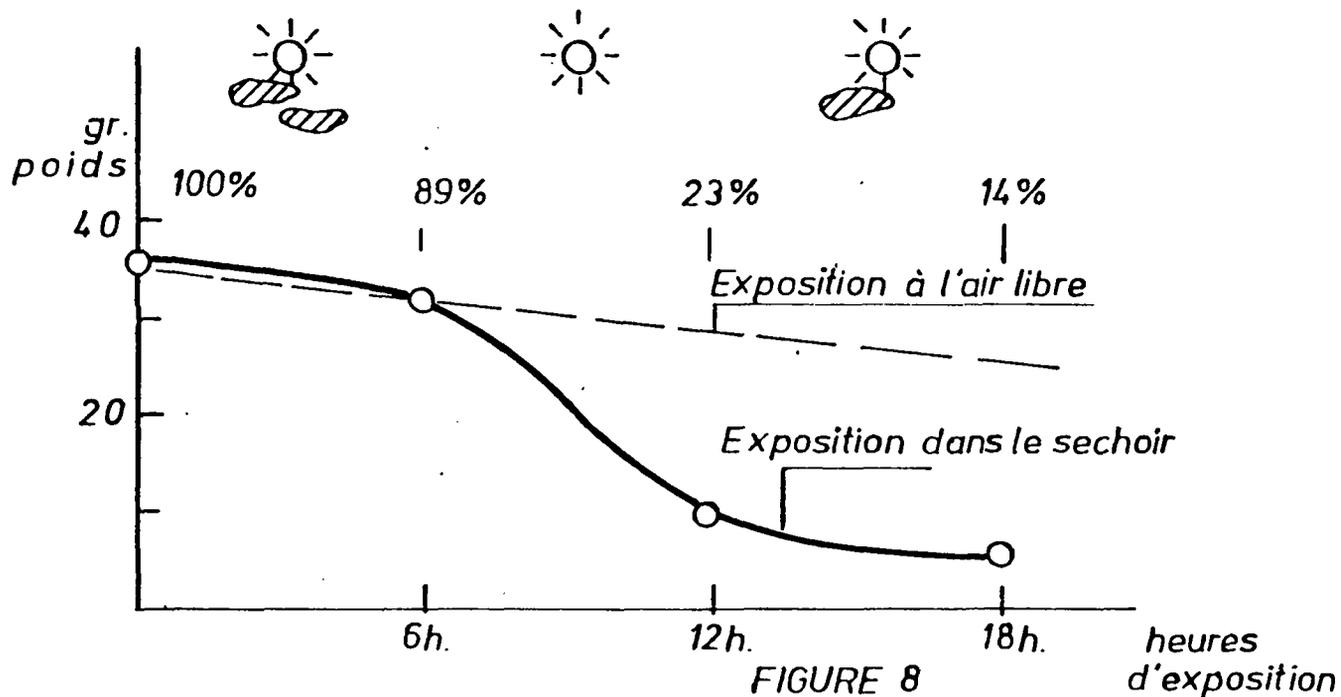
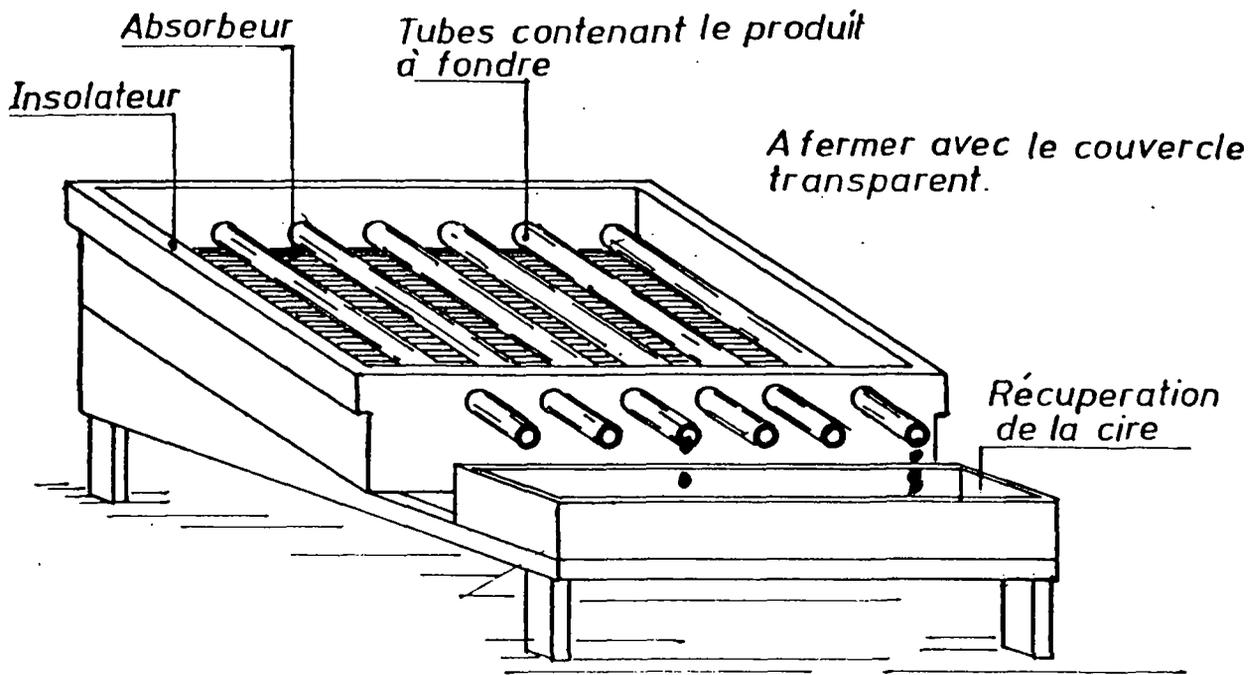


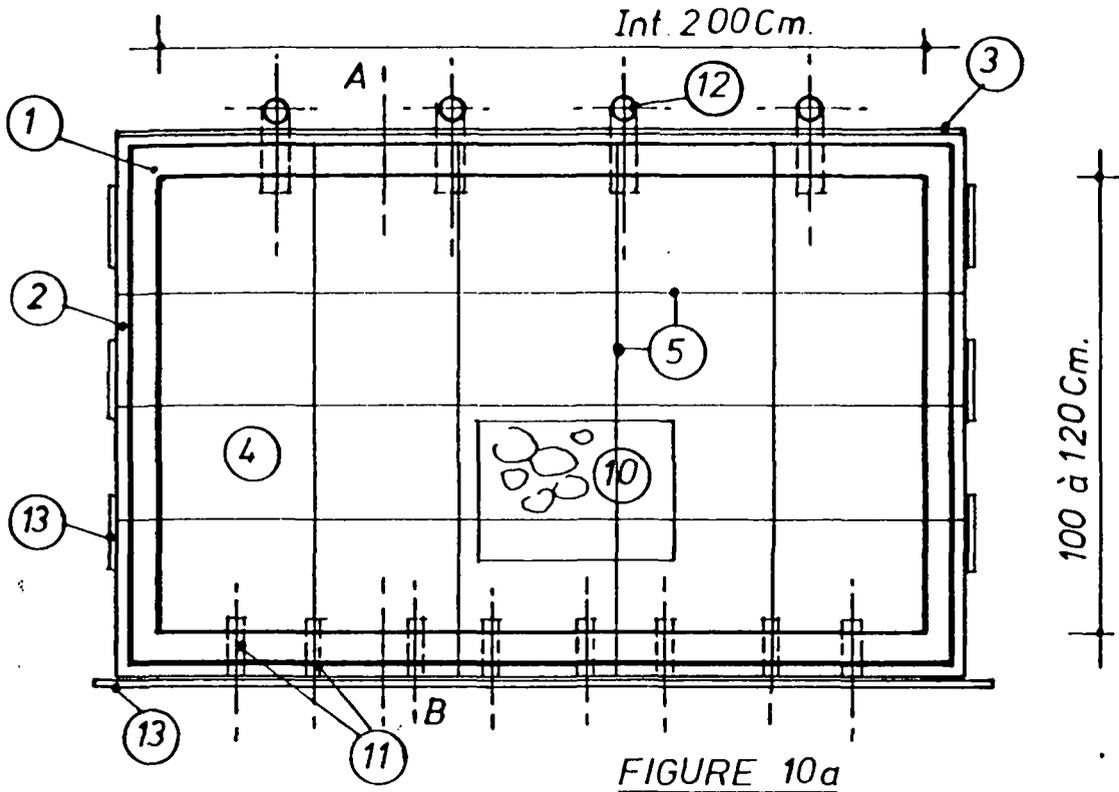
FIGURE 8

Evolution du poids en fonction du temps d'exposition.
6 heures = 1 journée d'exposition.

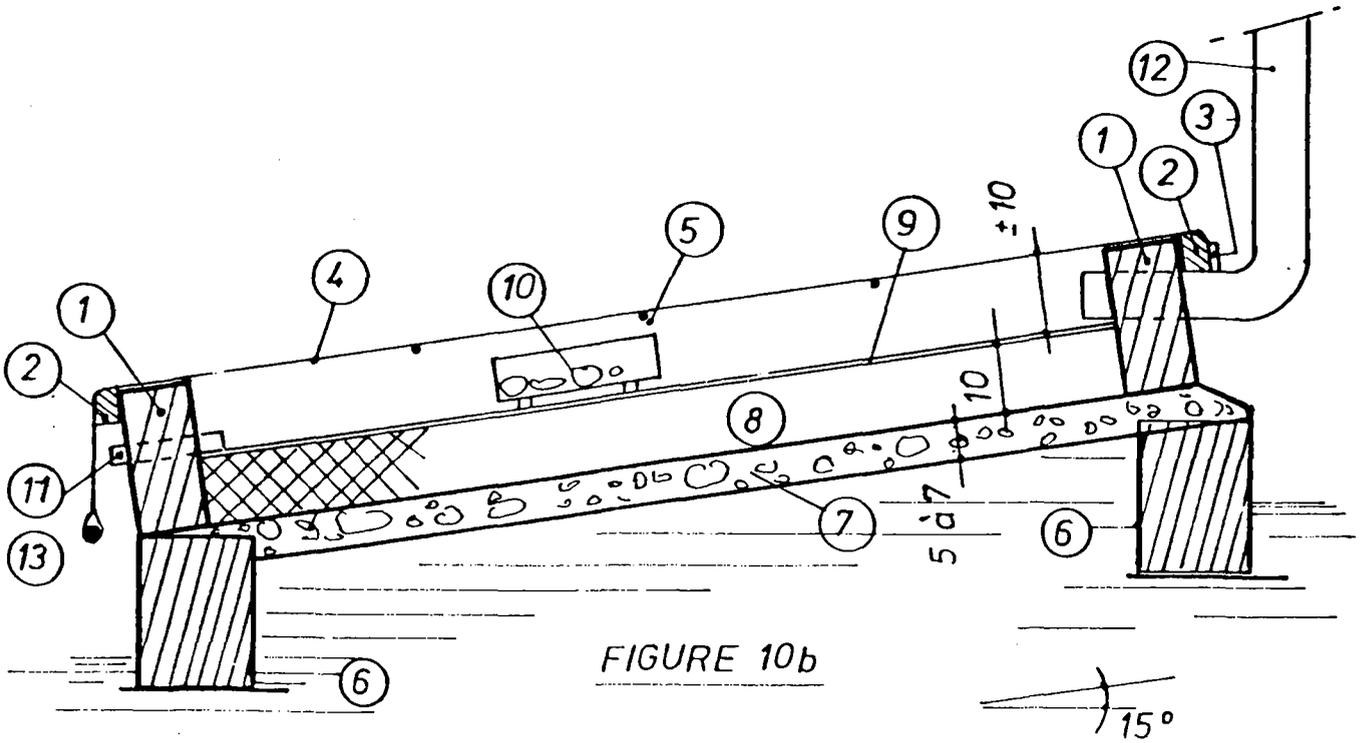


Vue générale du cérificateur.

FIGURE 9



Vue en plan du "grand modèle", éch. 5 Cm/m



Vue en coupe A.B. du grand modèle, éch. 10 Cm/m

Si ce séchoir est utilisé pour sécher du poisson ou de la drèche⁽¹⁾, il faut prévoir des petites rigoles pour évacuer l'eau au début de l'opération de séchage. Cette eau ne peut en aucun cas pénétrer dans l'isolation. Dans le cas du poisson ou de la drèche, il sera probablement mieux de concevoir l'absorbant en tôles ondulées galvanisées, peint en noir qui facilitera bien la canalisation des liquides.

LEGENDE POUR LES FIGURES 10a ET 10b

- 1 mur en blocs de 10 ou 15 /20/40 Cm
- 2 cadre en bois 5/3 Cm
- 3 latte de fixation pour la couverture en P.V.C.
- 4 couverture transparente en P.V.C.
- 5 fils galvanisés; support pour la couverture
- 6 construction en blocs de 15/20/40 Cm
- 7 dalle en béton
- 8 isolation; 10 Cm de copeaux ou de la sciure de bois absorbant; tôle ondulée galvanisée, peinte en noire
- 9 panier pour le support et la manipulation des produits
- 11 entrée d'air en P.V.C. Ø 3 Cm 8 fois
- 12 thermo-syphon Ø 7 Cm 4 fois
- 13 barre de fer pour donner une traction et assurer une bonne fermeture

V. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les produits déshydratés ne sont pas stériles. La réduction du nombre de micro-organismes résultant des opérations de déshydratation est faible. Mais le fait qu'il y a une faible activité de l'eau, les micro-organismes ne peuvent pas proliférer, et la plupart des réactions chimiques et enzymatiques de détérioration sont ralenties. Dans certains cas, la température de séchage favorise même la croissance de micro-organismes. On sait également que certains micro-organismes et certains enzymes sont plus thermorésistants à l'état sec qu'en milieu humide. Les produits réhydratés sont bien entendu périssables. Les produits séchés ne peuvent être conservés qu'à l'état sec.

Les substances aromatiques volatiles ne s'échappent que partiellement sous l'effet de la chaleur parce qu'elles sont retenues par des éléments structuraux de nos légumes. La réhumidification entraîne la libération partielle des substances aromatiques.

(1) : La farine de poisson et de la drèche séchée peuvent être utilisées comme aliment pour le bétail.

Pour ce qui concerne les légumes et les fruits, le Conseil Exécutif de la République du Zaïre a mis un accent particulier sur le renforcement du Projet Périmètre Maraîcher de Kinshasa et sur l'organisation de la commercialisation des légumes frais du nord-est du Zaïre. Ces légumes et fruits ne peuvent être distribués dans les grands centres de consommation que si l'on dispose d'une infrastructure importante de stockage. Or les pertes élevées (85 %) que nous observons dans notre pays comme dans la plupart des pays tropicaux en voie de développement, après récolte, sont dues :

- au manque d'installations de stockage et de conservation dans les régions productives;
- à l'absence de voies de communication des exploitations productives vers les centres de consommation;
- aux conditions incertaines et imprévisibles du transport;
- ainsi qu'à l'absence d'entrepôts aux stades du gros et du détail.

La technologie très simple de conservation solaire des aliments que nous avons mise au point, n'utilisant que le soleil ou les rayonnements solaires comme seule source énergétique, pourrait diminuer de façon très sensible les pertes après récolte des légumes produits dans nos milieux ruraux et permettre ainsi de prolonger le temps de conservation.

Plusieurs modifications peuvent être introduites dans notre séchoir et accroître ainsi des applications spécifiques autres que la conservation des légumes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le personnel du Service Technique du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (C.R.E.N.-K) pour l'assistance apportée à la réalisation de ce travail.

R E F E R E N C E S

1. R.B. KEEY,
Drying : Principles and Practice.
Pergamon Press, Oxford, (1973).
2. MALU wa KALENGA, ISENGINGO KEMBERE NG'ISE,
L'Energie Solaire.
Kinshasa, (1979).
3. J.R. VAILLANT,
Utilisation et Promesses de l'Energie Solaire.
Collection du CEDM. Ed. EYROLLES, Paris, (1976).
4. Energie Solaire - Pratique (Hors série).
Edition de la Lanterne, Lure, novembre 1977.
5. Th. CABIROL, D. ROUX,
Le Chauffe Eau Solaire.
Collection "Technologies douces", EDISUD (1976).
6. Rapport du Conseil de l'Université des Nations Unies.
Supplément n° 31 (A/34/31), New-York, (1979).
7. L'Agriculture dans le Plan MOBUTU
5ème FIKIN, (1978).
Département de l'Agriculture
Division FDR-INF0.
8. ONYEMBE PENE MBUTU LOLEMA, J.F. ROELS,
Système de Conservation Solaire des Aliments pour les
Communautés Rurales.
Colloque National sur l'Energie; NSELE, 1980
n° CNE/80/PE-SR-2/2.

L A D I S T I L L A T I O N

S O L A I R E

Olivier Deleuze, COTA

I. L'EXEMPLE HAITIEN

1.1. Présentation

La Gonave est une petite île située à 50 Km au large d'Haïti. Une abondante pluviométrie (1.250 mm par an) y permettait le développement d'une végétation importante.

A partir des années cinquante, la forte immigration de ressortissants haïtiens est venue rompre l'équilibre écologique : en dix ans, le déboisement de l'île devint total, avec comme conséquence la chute de la pluviométrie annuelle (100 mm), et l'abaissement des nappes phréatiques.

Un réseau de captage et stockage des eaux de pluie fut créé au début des années soixante. Malgré cette initiative, la sécheresse de 1967-1969 a laissé les insulaires sans eau potable. Seuls quelques puits donnaient encore de maigres quantités d'eau saumâtre. Le reboisement est apparu comme la seule solution, mais à long terme, il faudra plusieurs dizaines d'années pour faire remonter les nappes.

C'est alors que l'institut canadien BRACE et OXFAM-Canada entreprirent la construction, dans le village de Saint-Philippe, d'une installation solaire de désalement de l'eau de mer. Elle fonctionne depuis juin 1969 (figure 1).

1.2. Fonctionnement (voir figure 2)

L'eau salée est amenée en flux continu dans le réservoir du distillateur, où elle forme une lame d'eau de quelques centimètres. La vitre supérieure et le fond noir du réservoir provoquent un effet de serre par lequel la lame d'eau est réchauffée. Cette élévation de température entraîne une évaporation de l'eau qui va se condenser, sur la face interne de la vitre supérieure, refroidie au contact de l'air ambiant. Les gouttes d'eau distillées ruissellent alors dans une gouttière jusqu'au collecteur. Le système est couplé à un dispositif de collecte des eaux de pluie.

Quelques chiffres :

Surface : 320 m²

Production : 1.250 litres par jour soit 4 litres
par jour et par m²

Coût total du projet : 17.000 US\$ (1969).

Une quinzaine de distillateurs élémentaires sont
mis en parallèle.

extrait de : Un Manuel de Technologie Appropriée
Brace Institute (v. bibliographie)

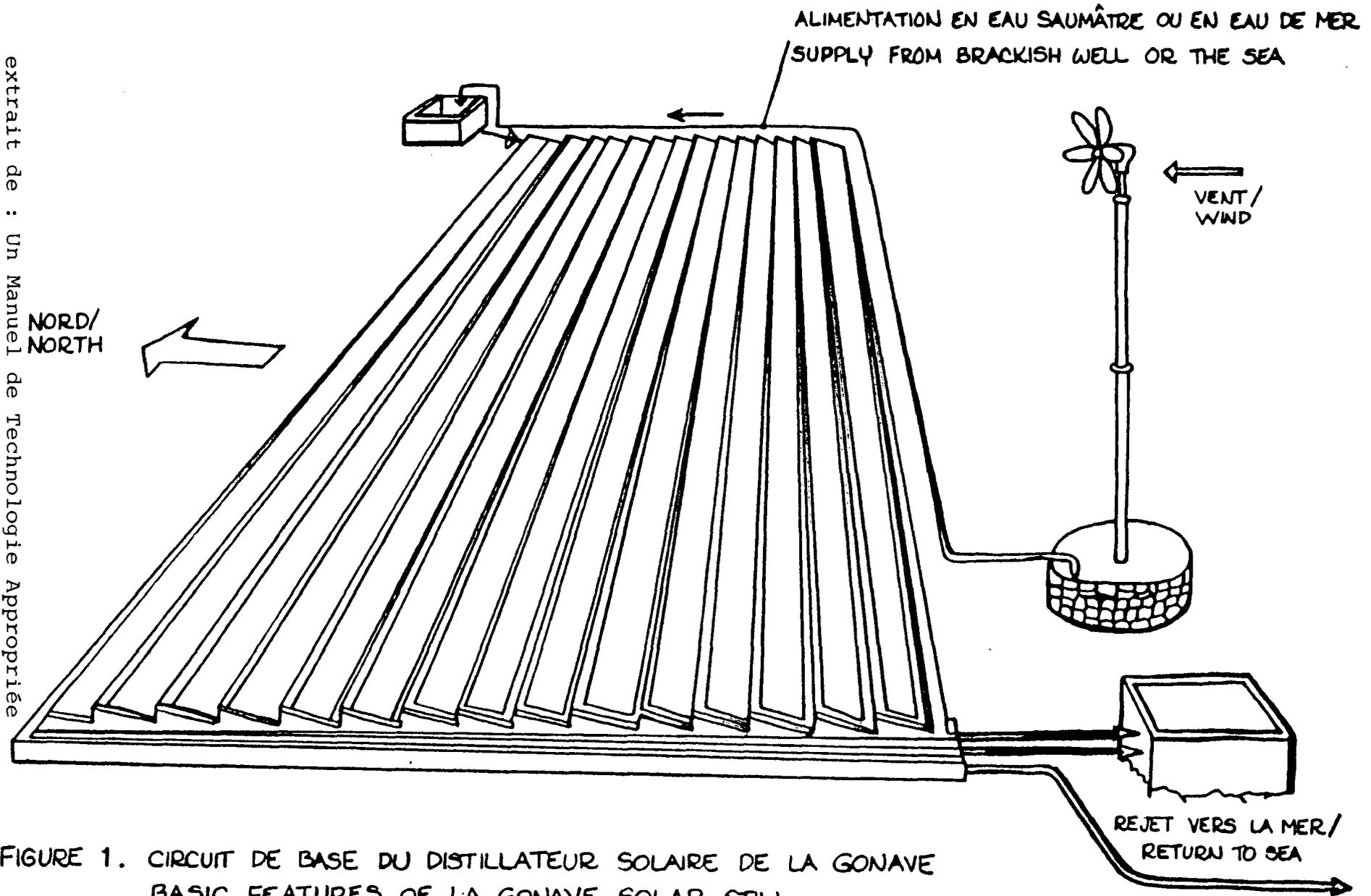


FIGURE 1. CIRCUIT DE BASE DU DISTILLATEUR SOLAIRE DE LA GONAVE
BASIC FEATURES OF LA GONAVE SOLAR STILL

extrait de: Un manuel de Technologie Appropriée, Brace,
(v. bibliographie)

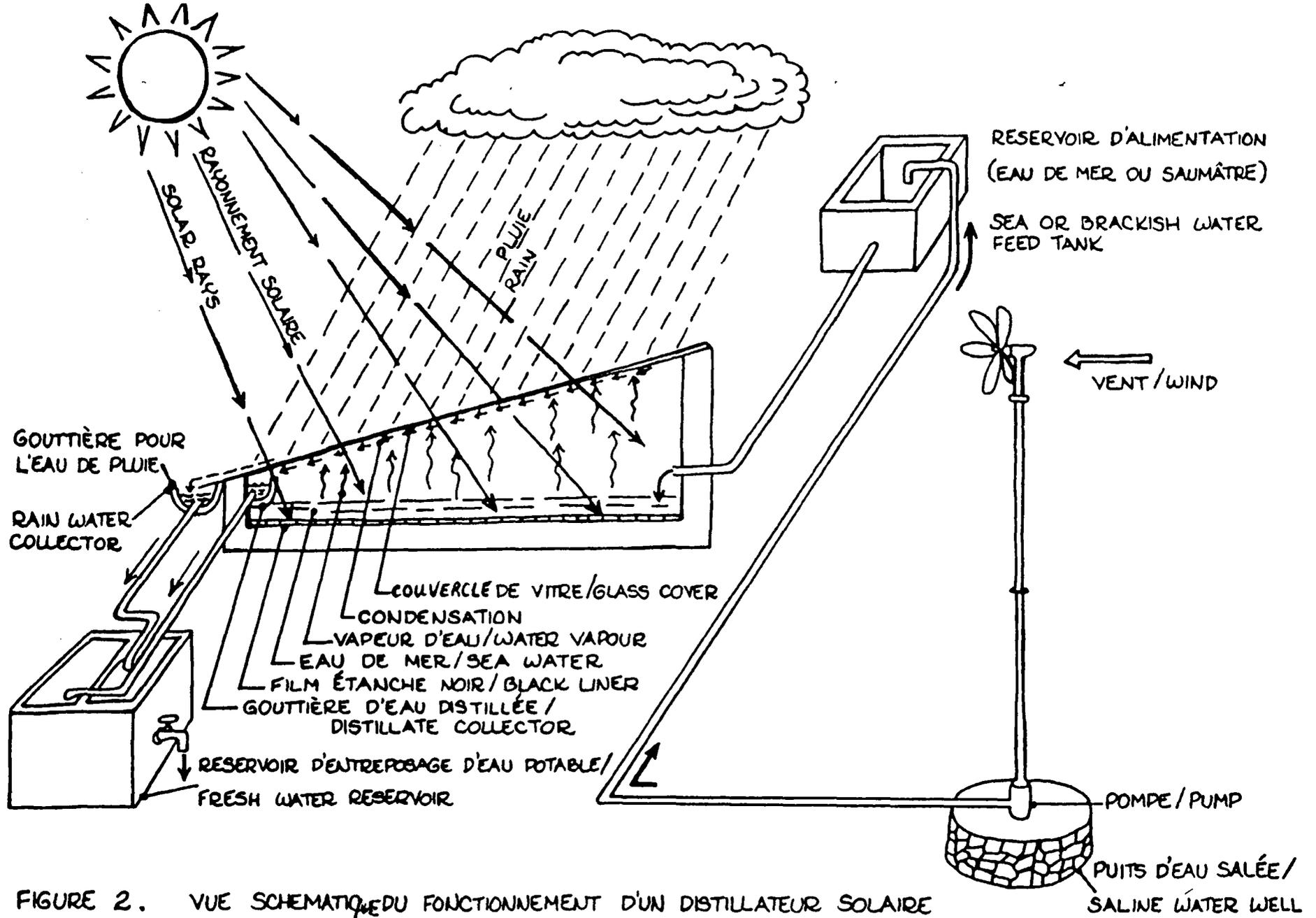


FIGURE 2. VUE SCHEMATIQUE DU FONCTIONNEMENT D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE
SCHEMATIC CONCEPT OF SOLAR STILL OPERATION

2. DISCUSSION

- La couverture transparente du distillateur peut être en verre ou en plastic, dont voici les avantages et les inconvénients :

Verre : plus cher, plus lourd et plus fragile, n'est pas attaqué par les ultraviolets.

Plastic : . Sa durée de vie n'excède pas un an, parce qu'il est rendu opaque par les ultraviolets du soleil.

- . Certains plastics peuvent ne pas être mouillants, ce qui empêche les gouttes d'eau distillées de ruisseler dans la gouttière. A cet effet, il faut les traiter avec des produits mouillants spéciaux, ou les gratter légèrement, dans le sens de la pente, avec du papier de verre fin.

- La pente de la couverture transparente doit être de 15 % au moins, pour permettre le ruissellement.
- Lors de conditions atmosphériques très instables (orage, ...) il est possible que des différences de pression locales et instantanées de part et d'autre de la couverture transparente, provoquent sa destruction. Pour l'éviter, il est nécessaire d'aménager des clapets dans la couverture, pour permettre le passage de l'air dans les cas extrêmes.
- Le fond du bassin doit être recouvert d'une matière noire, résistante aux sels (le caoutchouc butyl par exemple). La cristallisation de sel sur le revêtement est évitée en injectant, dans le distillateur, une quantité d'eau distillée, l'excès étant évacué par un orifice de sortie. Néanmoins, l'entretien du distillateur exigera que l'on procède chaque matin à un lavage à grandes eaux ... salées !

- L'épaisseur de la lame d'eau doit être suffisante pour éviter des assèchements ou des cristallisations. Mais il ne faut pas qu'une lame d'eau trop importante s'oppose au réchauffement rapide de l'ensemble. En pratique, les épaisseurs retenues varient de 2 à 5 cm.
- Ce type de distillateur travaillant à une température constante, caractéristique de l'appareil et de son emplacement, ne pourra purifier efficacement l'eau de corps qui ont des tensions de vapeurs du même ordre de grandeur (alcools, hydrocarbures, ...). Il ne peut servir qu'à des séparations solides/liquides et à l'élimination de germes pathogènes.
- Le rendement énergétique d'un distillateur solaire est égal à :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Quantité d'eau pure produite/j} \times \text{Chaleur latente d'évap.}}{\text{Quantité d'énergie solaire incidente journalière}}$$

Il est généralement voisin de 0,35

- . Quantité d'eau produite : en litres par jour
- . Chaleur latente d'évaporation : 538 kcal par litre
- . Energie incidente : en kcal par jour.

- L'eau produite est déminéralisée et donc impropre à la boisson. Pour la rendre potable, il faut la couper d'eau salée.

3. AUTRES TYPES DE DISTILLATEURS

- Il est évidemment possible de concevoir des distillateurs solaires différents, mais tous fonctionnent suivant les mêmes principes physiques.
- Une des formes les plus courantes, est celle illustrée à la figure 3. Les rendements varient de 2 à 5 litres d'eau pure par mètre carré et par jour.

4. CONCLUSION

- La distillation solaire est une technologie très simple. Elle peut répondre efficacement à des besoins n'excédant pas quelques mètres cubes par jour (au-delà, la faible productivité rendrait les surfaces nécessaires trop importantes). En outre, les distillateurs peuvent être de conception très variée.
- Il s'ensuit que le modèle de construction de l'appareil dépendra presque exclusivement de la main-d'oeuvre locale (maçons, coffreurs, plombiers, vitriers, ...), et des matériaux disponibles. Impossible également de donner des prix indicatifs : les conditions locales les détermineront entièrement.

SOLEFIL, procédé SOFEE

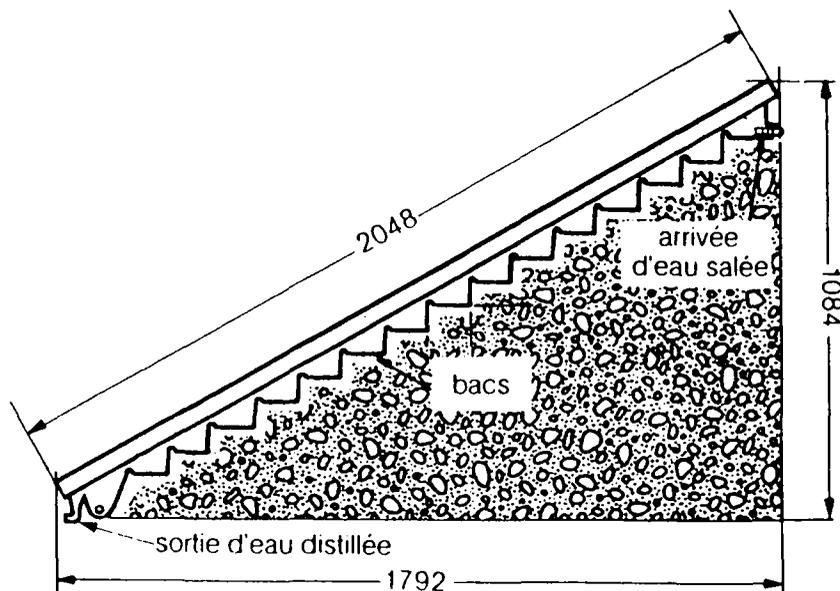
Modèle DEMINESOL.

L'eau à traiter est envoyée dans une série de bacs de faible profondeur constitués par les degrés d'un escalier à marches étroites, réalisé en verre polyester teinté en noir dans la masse.

Cette eau s'évapore, est distillée, se condense et ruisselle sur la vitre (verre trempé de 4 mm) faisant fonction de paroi froide, avant d'être recueillie à la base du module.

Les cellules modulaires de 2 m² environ, peuvent être assemblées en parallèle pour augmenter le volume d'eau douce produit (environ 5 à 7 litres jour au m²).

L'appareil est destiné à être appuyé sur un talus de terre ou de sable servant d'isolant pour la face arrière; sans cette isolation, son rendement est inférieur.



extrait de: Le Catalogue des Outils Solaires, éditions Alternatives et Parallèles

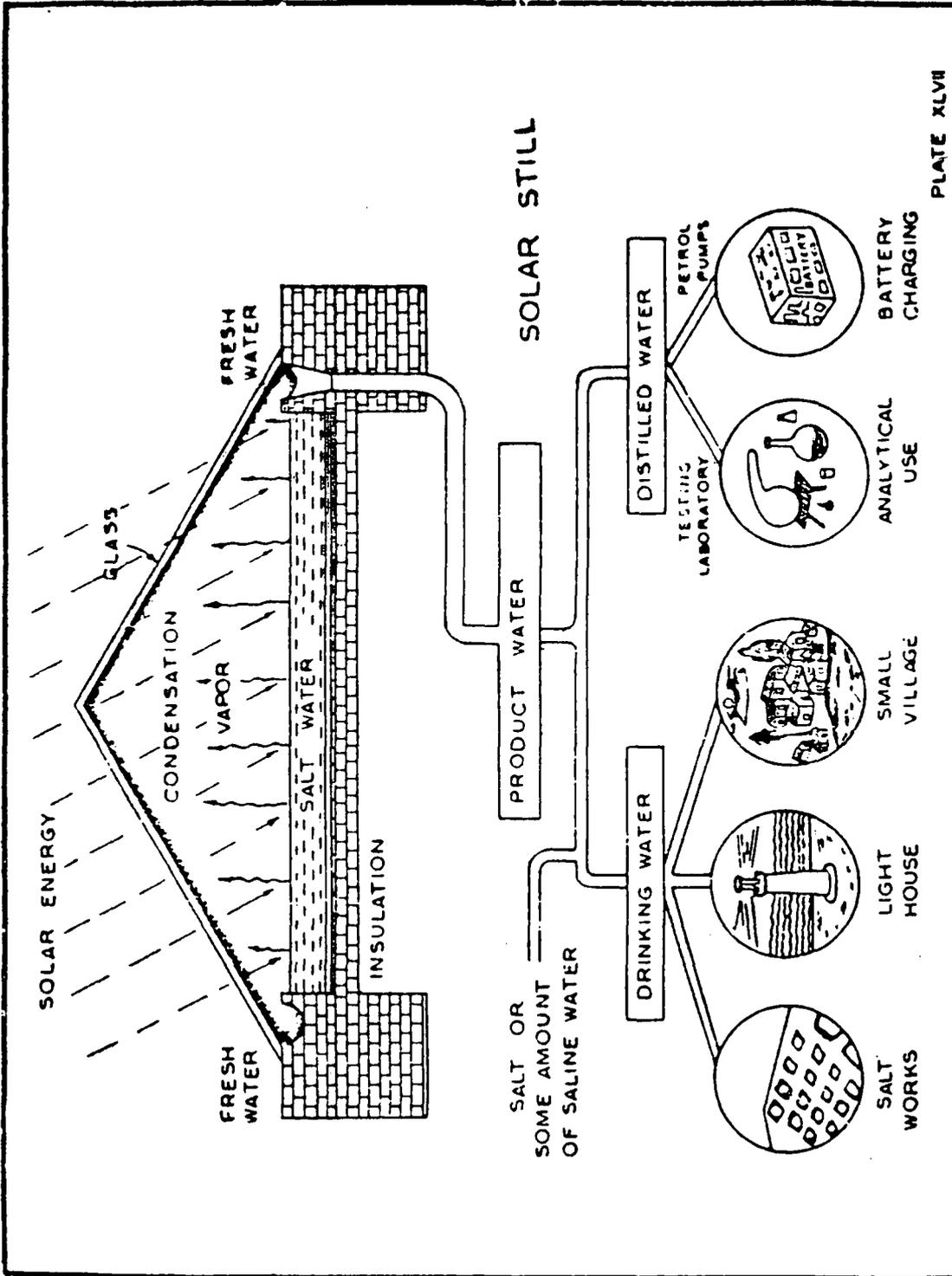


Fig.3 Solar still - Central Salt and Marine Chemical Research Institute, Gujarat in "Survey of Solar Distillation / Desalination Devices for Small Quantities", GATE, module S1/2

5. BIBLIOGRAPHIE

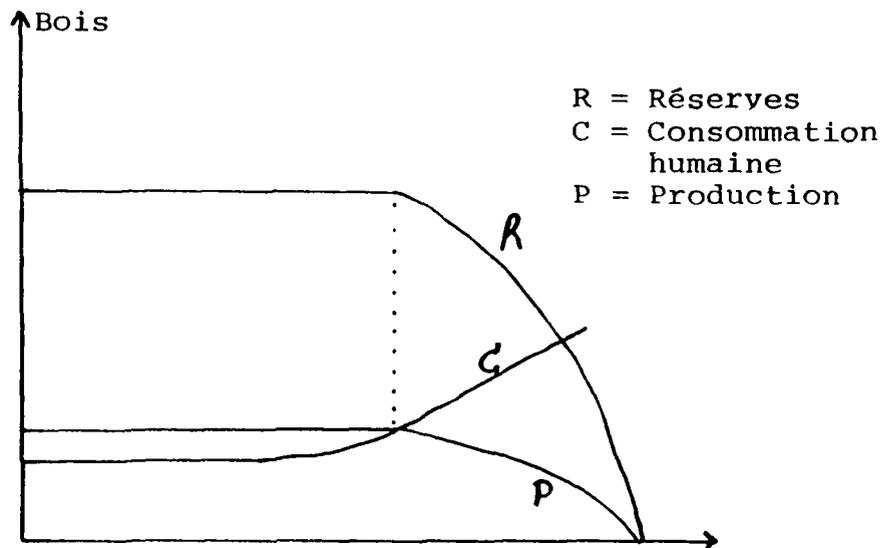
1. Christian Seufert, Survey of Solar Distillation/ Desalination : Devices for small quantities. Published by GATE, Postfach 5180, D - 6236 Eshborn 1, RFA - 55 pp, 1978.
2. Ron Alward and Tom Lawand, Condensing a Solution : Community Solar Engineering, Haïti - Published by BRACE, Mc Donald College of Mc Gill University, St. Anne de Bellevue, Quebec, H9X1C0 Canada - 5 pages.
3. T.A. Lawand et R. Alward, Plans d'un distillateur solaire en verre et en beton, published by BRACE (cfr supra), 10 pages, 1971.
- 4) Een distillator op Zonne-Energie, Publié par ATOL, Blijde Inkomststraat,9 - 3000 Leuven - Belgique - 6 pages.
- 5) Zonne distillator, publié par ATOL (cfr. supra)- 4 pages.
- 6) V.A. Akinsete and C.U. Duw
A cheap method of Improving the performance of roof type solar stills, in Solar Energy - Vol 23 pp 271-272, Pergamon Press Ltd,1971
- 7) Applications de la technique de distillation solaire dans le cadre de l'exploration des moyens technologiques. Expériences réalisées à Haïti, in "Un Manuel de Technologie Appropriée" - pp B4-1 à B4-15 - publié par BRACE (cfr. supra) - 15 pages, 1979.
- 8) B.W. Tleimat : Solar Distillation : The state of the art, in Technology for Solar Energy Utilisation, UNIDO, Vienna, pp 113 à 118, 1978.
- 9) Carlo Mustacchi and Vinanzo Cena, Solar Water Distillation, in Technology for Solar Energy Utilisation, UNIDO, Vienna, pp 119 à 132, 1978.

QUELQUES APPROCHES TECHNIQUES ET
SOCIO-ECONOMIQUES DES REALISATIONS
SOLAIRES EN AFRIQUE

Résumé de l'intervention de Monsieur G. DELEPELEIRE
Professeur, K.U.L.

1. Pour apprécier le bien fondé d'un projet solaire en Afrique (comme ailleurs), il faut faire une évaluation relative. Toute technologie n'est qu'une des solutions possibles pour répondre à différents besoins se posant en même temps et dans un contexte socio-culturel, économique et écologique précis.
Les ressources locales, dont la main-d'oeuvre sont parmi les éléments d'appréciation.

2. Exemple : la cuisine au Sahel



$P - C =$ Consommation par les
maladies du bois, incendies, etc.

- . Au Sahel, $C > P$. Et dans quelques décennies, $R = 0$.
Or l'énergie solaire incidente est de 2.500 kwh par m² et par an. La solution est-elle donc solaire ?

. Les désavantages de la cuisson solaire sont multiples :

- n'est utilisable qu'au milieu de la journée ; par conséquent, l'économie de bois ne dépasse pas 1/3
- doit être orientée continuellement face au soleil
- est peu stable
- expose l'utilisateur au soleil, d'où confort réduit
- dans certains cas, la disposition des cases en cercle étroit ne laisse pas de place pour l'installation des cuisinières.

Il s'ensuit un faible taux de pénétration dans la population, même à long terme.

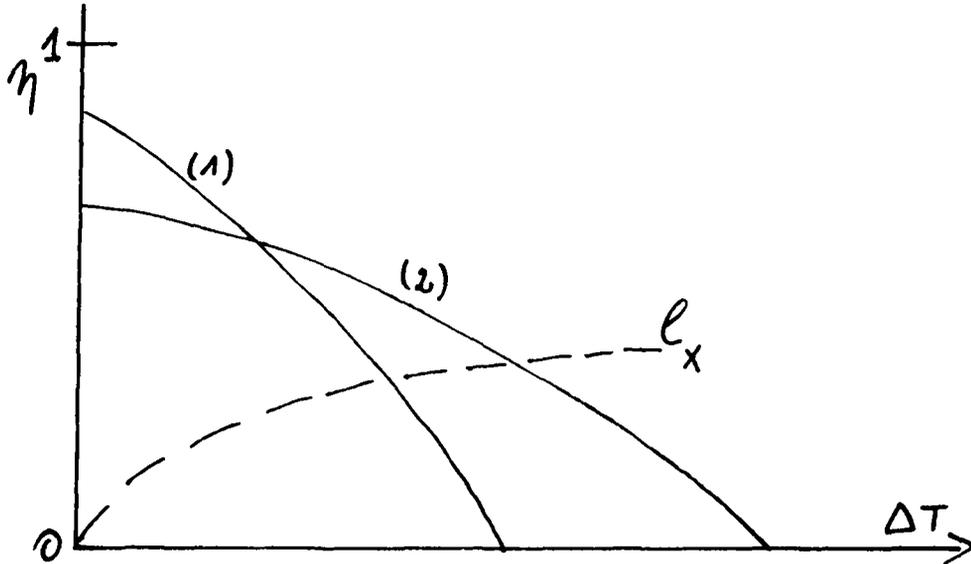
. Les cuisinières économes en bois semblent être plus prometteuses :

- elles peuvent économiser jusqu'à 50 % du bois (ou plus) par rapport au système traditionnel
- elles coûtent moins cher (10 à 20 % du prix du four solaire)
- elles augmentent le confort de l'utilisateur
- elles peuvent être adaptées aux grandes casseroles à fond bombé telles qu'on les emploie en Afrique.

Mais les connaissances scientifiques sont faibles parce que la combustion du bois est un processus complexe, et que la motivation pour l'étude des cuisinières à bois n'est pas grande, dans les pays industrialisés. Des efforts systématiques ont démarré récemment.

3. Exemple : le pompage de l'eau

Pompage Thermodynamique, alimenté par des capteurs thermiques.



(1) capteur moins performant

(2) capteur plus performant

$$\eta \text{ rendement énergétique} = \frac{\text{chaleur fournie}}{\text{énergie solaire incidente}}$$

ΔT = Différence entre la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur.

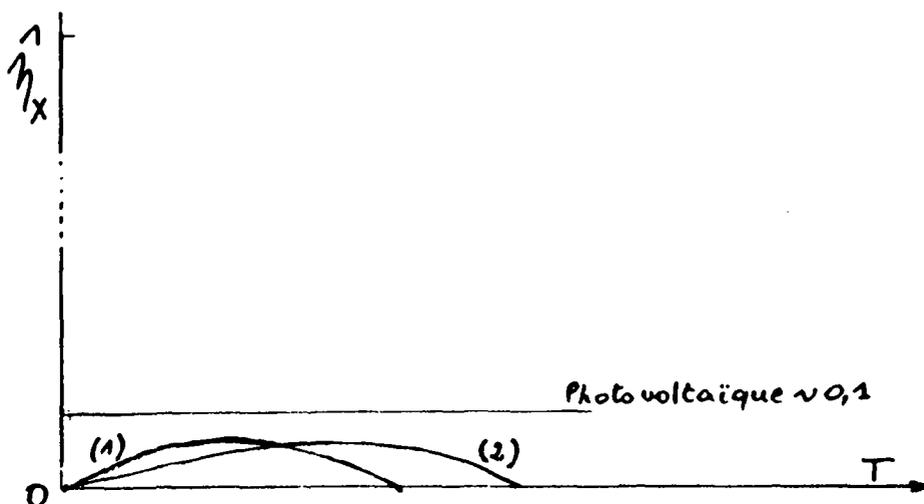
Le rendement du capteur thermique paraît assez élevé supérieur à celui des cellules photovoltaïques.

Mais ce qui nous intéresse, c'est l'énergie utile, susceptible d'être transformée en travail mécanique de la pompe. La grandeur qui exprime cette capacité de production d'énergie utile s'appelle le rendement exergetique (η_x)

$$\eta_x = \eta \cdot \ell_x$$

$$\ell_x = \frac{\Delta T}{T_0 + \Delta T} = \text{le coefficient exergetique}$$

Quand $\Delta T = 0$, $\ell_x = 0$ pour le pompage thermodynamique.



Dans la conversion photovoltaïque, $\eta \approx 0,1$ par exemple
 Mais ici, $e_x = 1$.

La conséquence en est que le rendement exergétique (c'est-à-dire utile pour le pompage) du pompage photovoltaïque est supérieur au rendement exergétique du pompage thermodynamique dans l'état actuel des choses.

4. Viabilité de l'innovation technique

- Une innovation technique, pour être acceptée, doit tenir compte du corps social dans lequel est inscrit. Elle doit chercher à susciter la motivation des gens, à la mettre en pratique, à l'adopter.
- Pour ce faire, il faut tenir compte du fait que les usagers adoptent les mêmes critères d'appréciation que nous-mêmes. Eux, comme nous, apprécient par ordre décroissant d'importance
 - 1°) leur intérêt propre et immédiat
 - 2°) leur intérêt à long terme
 - 3°) les préoccupations écologiques.
- Par conséquent, il faut proposer des innovations donnant le plus grand confort possible à l'utilisateur.
- L'intégration de l'innovation technique dans les circuits locaux de production et de distribution est souvent une condition de sa viabilité.

5. Bibliographie

A Woodstove Compendium, par G. Delepeleire et autres
 publié par "The Wood Burning Stove Group".
 P.B. 513, 5600 MB Einshoven, NL.

LIEGE-SENEGAL

ONG

PROJET
MARMITE SOLAIRE

rapport présenté au stage
par Christian Colson, ing.civil

Personne à contacter : Denis Bruyere
15, st inval
4960 LOUVEIGNE
Tel:041/60.81.26

Rapport d'activités (9 février-14 mai)

objet du projet : construction d'une marmite solaire en vue d'une utilisation sous une latitude d'environ 20° .

I.1 Première étape

Recherche dans la littérature d'un système thermodynamique pour chauffer la marmite jusqu'à 100° dans le cas d'un ensoleillement moyen de 850w/m^2 .

Le projet adopté est dessiné sur la fig.1.

Pour les premiers essais on remplace le panneau solaire par un échangeur qui fournit une puissance équivalente , soit 300w en tenant compte du rendement moyen du capteur.

Une fois chauffée, l'eau transformée en vapeur monte dans le tuyau d'entrée (t_1) un peu à la manière de l'eau dans un percolateur. Ensuite, elle entre dans le serpentin qui est soudé au fond de la marmite dont la presque totalité est prise comme surface d'échange. La vapeur après avoir échangé de la chaleur avec la marmite (construite en cuivre pour favoriser l'échange) se condense et redescend par le tuyau t_2 jusqu'à l'échangeur.

Ainsi, la circulation dans le système va s'établir d'elle-même assurée pour cela par le principe du thermosiphon.

Par mesure de sécurité, il est prévu d'installer un vase d'expansion et une soupape de sécurité limitant la pression à 2 bars.

La marmite est remplie aux $2/3$ environ, soit $2,7\text{l}$.

I.2 Etude des différents panneaux solaires existant sur le marché

I.3 Essai d'une marmite à double fond déjà construite : on obtient 60° après 4h.

I.4 Calculs théoriques se rapportant à une marmite idéale.

I.5 Recherche et achat des pièces pour la construction de la marmite.

I.6 Construction de l'échangeur comprenant une résistance et pouvant contenir 1l d'eau. Fabrication de la marmite, soudage du serpentin sur le fond de la marmite et mise en relation de l'échangeur et de la marmite .

Construction d'une caisse contenant la marmite et l'isolant l'entourant.

I.7 Etalonnage des thermocouples: pour mesurer les températures, on soude un thermocouple à l'entrée du serpentin, un à la sortie et un autre dans la marmite au contact de l'eau.

I.8 Début des mesures: le meilleur résultat atteint est 90° après $2\text{h}45\text{m}$ d'attente pour chauffer environ $2,5\text{l}$ d'eau avec $0,7\text{l}$ d'eau dans le système primaire.

II.1 Critique des résultats précédents

La mauvaise circulation dans le système est le problème majeur et l'échange de chaleur est ainsi moins efficace.

Pour l'améliorer, on peut choisir un diamètre plus grand pour les tuyaux en cuivre. Ainsi, les gouttes de vapeur auront sans doute plus de facilité à monter et à rejoindre le serpentin.

Une ligne droite joignant l'échangeur au serpentin serait préférable, toujours pour les mêmes raisons.

D'autre part, l'entrée du serpentin doit être placée plus haut que la sortie de telle manière que seule la vapeur reste en haut du serpentin et que l'eau redescende d'elle-même par gravité, améliorant ainsi la circulation.

En fait, pour augmenter les chances de réussite, le serpentin a été modifié de manière à augmenter la surface d'échange.

Par ailleurs, la soupape de sécurité est remplacée par une soupape permettant d'atteindre 4 bars.

Il faut également éviter que la vapeur d'eau de la marmite se répande sur l'isolant. C'est pourquoi on a prévu de souder à la marmite un couvercle muni d'un tuyau permettant à la vapeur de s'échapper.

II.2 Construction du nouveau système

La marmite proprement dite de l'ancien système est conservée, mais un nouvel ensemble de serpentins est soudé.

Cependant, la pression ayant atteint un certain niveau, une fuite au serpentin est apparue ce qui a nécessité la construction d'un nouveau serpentin.

II.3 Essais

Les essais sont concluants dans la mesure où pour 0,71 dans le système et 2,51 dans la marmite, l'eau est portée à ébullition après 1h45m.

De nombreux problèmes se posent pour l'enregistrement des températures.

On peut remarquer que bien que la circulation s'établisse de manière différente pour 0,51; 0,71; 1,1; 1,21 dans le système, le temps d'ébullition apparaît comme une constante valant environ 1h45m.

Il s'avère cependant que les pertes sont importantes en raison d'une isolation insuffisante. Après amélioration, on parvient à maintenir le système en équilibre avec une puissance de 70w environ.

Fig. 1.

F8

thermocouple

vanape sec

marmite

eau

serpentin

tuyau sortie

tuyau retour

220

manometre

resistance

isolation
thermique

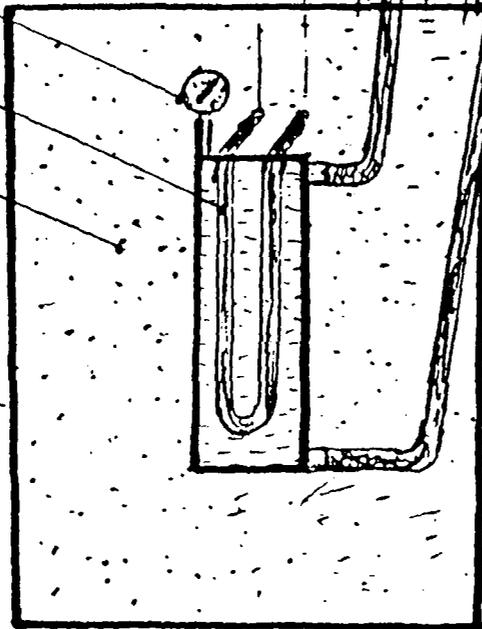
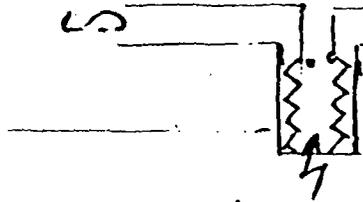
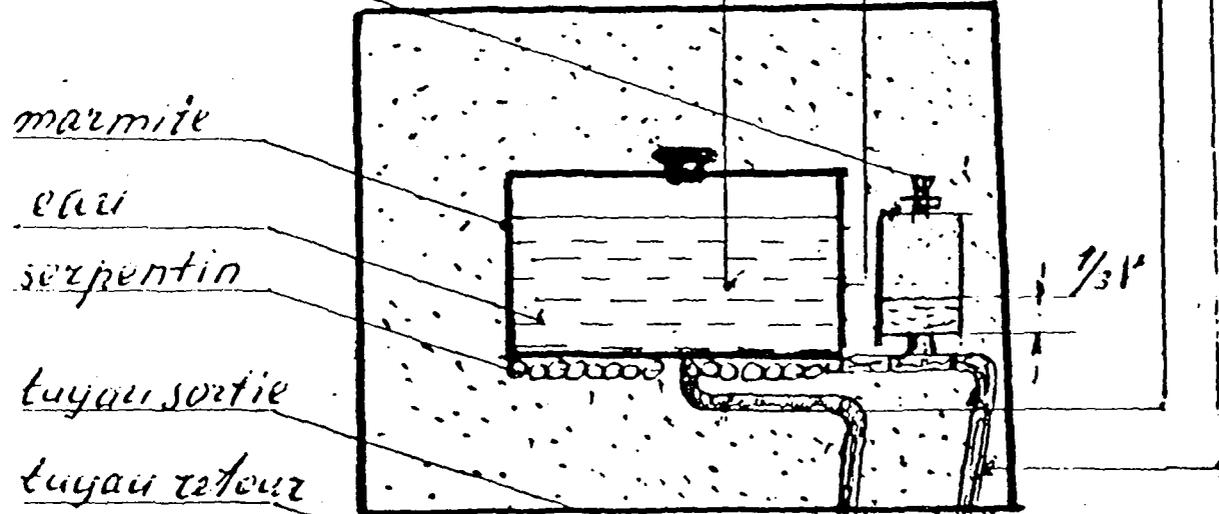
caisse

4. T_s
3. T_e
2. T_m
1. T_e

1/3 l

T_e

T_s



Rapport d'activités (15 mai-31 août)III. Construction d'un nouveau prototype : la marmite à double paroi

Nous voulons, à présent, nous rendre compte si le serpentin ne peut être remplacé par un système équivalent et plus efficace. Logiquement, une marmite à double paroi devrait être satisfaisante à ce point de vue. La vapeur, au lieu de circuler dans le serpentin, le ferait entre deux parois, l'une étant celle de la marmite proprement dite et l'autre, une surface isolée et ayant la forme de la marmite.

Malheureusement, du point de vue pratique, lors de la construction, il s'avère qu'il est difficile de séparer les parois à moins de 6 à 7 mm ce qui posera des problèmes du point de vue thermodynamique. En effet, la vapeur va se dilater dans la double paroi et par conséquent échangera moins de chaleur.

Les essais confirment cette hypothèse sans que les résultats soient pour autant catastrophiques : la même quantité d'eau que pour le précédent prototype, soit 2,5l, met 5 à 10 min de plus pour être portée à ébullition.

IV. Installation en plein air des deux marmites :

Il est temps d'effectuer les essais en plein air. Pour cela nous disposons d'un panneau de 2 m² prêté par la firme SIS et d'une surface absorbante française de 1 m² qu'il s'agit d' "habiller ", c'est-à-dire d'isoler et de réaliser l'effet de serre à l'aide d'un vitrage.

Le panneau SIS est relié à la marmite à serpentin. Il est orienté plein sud, posé sur un socle en bois incliné à 50°. Le principe de fonctionnement est le même que celui décrit précédemment, à part le fait que le panneau remplace l'échangeur. D'autre part, nous avons l'intention de relier la marmite à double paroi au panneau de 1 m² en l'équipant de miroirs réflecteurs, ce qui augmentera l'énergie reçue d'environ 1,5 fois. Pour cela nous devons d'abord construire une caisse en bois qui accueillera la surface absorbante, l'isoler et la recouvrir d'une vitre pour réaliser l'effet de serre.

Toutes ces opérations sont terminées à la fin du mois de juin. Reste à attendre le soleil qui se montre au début du mois de juillet.

V. Essais en plein air sous un ensoleillement moyen de 800 W/m^2 .

Ils sont concluants en ce qui concerne le panneau SIS et la marmite à serpentin.

Une journée typique est illustrée sur le graphique. Ainsi, ce 8 juillet, l'eau est portée à ébullition en $1^{\text{h}}45^{\text{m}}$, c'est-à-dire qu'elle est prête pour l'heure de midi et reste chaude toute l'après-midi.

Quant à la marmite à double paroi et le panneau de 1 m^2 , leur résultat insatisfaisant (un maximum de 80° est atteint) peut être imputé d'une part à la marmite elle-même (voir ci-dessus) mais surtout au panneau lui-même.

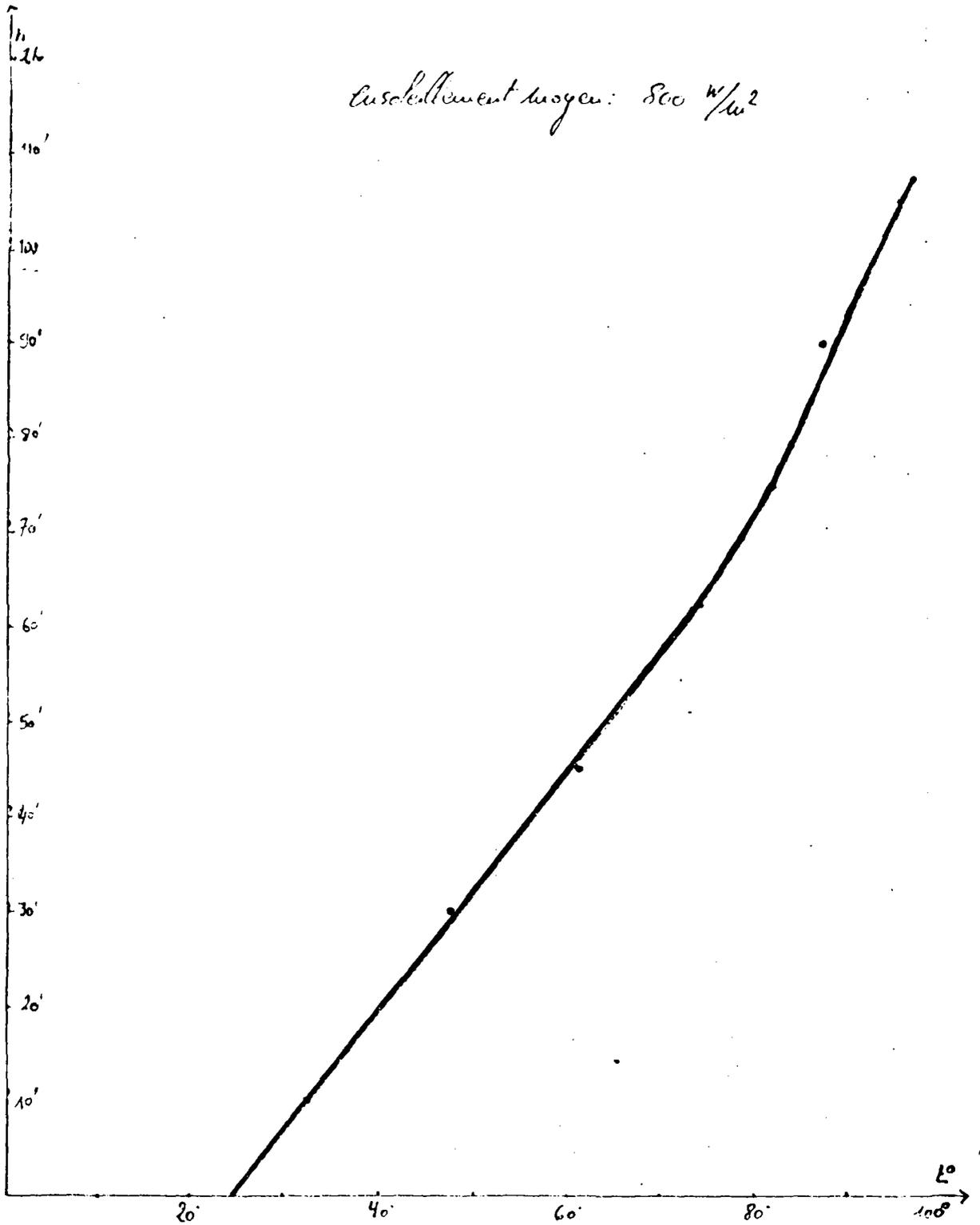
D'abord à cause de l'énergie captée qui est moindre du fait que les miroirs réflecteurs n'arrivent pas à la relever suffisamment. D'autre part, à la suite d'une mauvaise isolation qui n'a pas été faite par des procédés industriels.

Nous pensons, en fin de compte, qu'un panneau de $1,5 \text{ m}^2$ du type SIS devrait suffire pour des essais concluants.

Il existe d'autres panneaux sur le marché pour les moyennes températures ($100-120^\circ$) avec des surfaces sélectives et à " nids d'abeille ". Nous nous livrons à leur étude détaillée, tout en constatant que leur prix est sensiblement plus élevé que celui des panneaux classiques. Ils seraient, en tout cas, la solution idéale pour notre projet.

Par acquis de conscience, nous permutons les 2 marmites pour voir si le mauvais résultat du 2^{ème} prototype n'est pas dû entièrement à la marmite à double paroi. Ce n'est pas le cas; la marmite à serpentin donne sensiblement le même résultat que celle à double paroi quand elle est équipée du panneau de 1 m^2 .

F11



panneau S.I.S. de 2m² - "marquante à serpentin"
le 8 juillet 1981 à Liège.

L'ENERGIE SOLAIRE

SES UTILISATIONS DANS LES PAYS
EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

SEMINAIRE DU COLLECTIF D'ECHANGES
POUR LA TECHNOLOGIE APPROPRIEE
(C. O. T. A.)

OPHEYLISSEM (BELGIQUE)
DU 7 AU 11 SEPTEMBRE 1981

L'UTILISATION DU FROID
ET SA PRODUCTION
AU MOYEN D'ENERGIE SOLAIRE

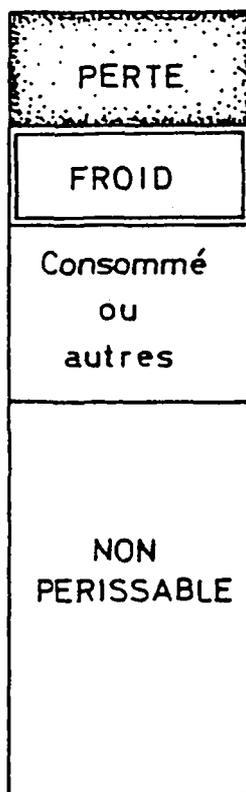
DIDIER VOKAER
UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES
8 - 1050 BRUXELLES

INTRODUCTION

LA PRODUCTION ALIMENTAIRE MONDIALE, QUI PEUT ETRE ESTIMEE AUJOURD'HUI A QUELQUE 3.5 MILLIARDS DE TONNES, NE CESSE D'AUGMENTER. POURTANT, DANS UNE GRANDE PARTIE DU MONDE, LE TAUX DE CROISSANCE DEMOGRAPHIQUE EST TEL QUE, DANS SEPTANTE PAYS, CETTE PRODUCTION PAR HABITANT N'AUGMENTE PAS, OU MEME DIMINUE.

GLOBALEMENT, LA MOITIE DE LA PRODUCTION ALIMENTAIRE CONSISTE EN DES DENREES PERISSABLES D'ORIGINES ANIMALE ET VEGETALE. EN PREMIERE APPROXIMATION, UN QUART SEULEMENT DE CES PRODUITS EST TRAITÉ PAR LE FROID, DANS LE MONDE ENTIER.

SI ON ELIMINE LES DENREES CONSOMMEES IMMEDIATEMENT ET CELLES TRAITÉES PAR D'AUTRES PROCEDES EN VUE DE LEUR CONSERVATION (SECHAGE, SALAGE, CUISSON, FUMAISSON), LES PERTES GLOBALES S'ELEVENT A ENVIRON 40 % DU RESTE (FIG. 1) - D'OU L'URGENTE NECESSITE DE PRENDRE DES MESURES POUR UTILISER LE MIEUX POSSIBLE CE POTENTIEL NUTRITIF ACTUELLEMENT LAISSE A LA DEGRADATION.



COMME TOUT PROCÉDE DE CONSERVATION, LE FROID PERMET DE CONSTITUER EN STOCKS DE SECURITE DES DENREES NON CONSOMMABLES IMMEDIATEMENT, AFIN D'APLANIR LES IRREGULARITES DE PRODUCTION.

IL OFFRE, PAR RAPPORT AUX AUTRES METHODES DE CONSERVATION, L'AVANTAGE ESSENTIEL DE MAINTENIR LES PRODUITS A L'ETAT FRAIS, DONC DE LAISSER INTACTE LEUR VALEUR NUTRITIONNELLE ET DE NE PAS ALTERER LEURS QUALITES GUSTATIVES NI LEUR ASPECT.

EN CONSEQUENCE, LA CONSERVATION PAR LE FROID PERMETTRA DE DEVELOPPER L'ECONOMIE PAR LE BIAIS D'ECHANGES COMMERCIAUX A TOUS LES NIVEAUX (VILLAGES, VILLES ET PAYS), ET FAVORISERA LA CROISSANCE INDUSTRIELLE PAR SUITE DE LA CONCENTRATION DE POPULATION AUTOUR DE COMMERCE NOUVEAUX.

ACTION DU FROID SUR LES DENREES PERISSABLES

L'EFFET DES BASSES TEMPERATURES EST DE RALENTIR OU D'ARRETER LES DIVERS PHENOMENES RESPONSABLES DE LA DEGRADATION DES DENREES ALIMENTAIRES. CES MECANISMES D'ALTERATION SONT EXTREMEMENT COMPLEXES ET D'AILLEURS MAL CONNUS, SI BIEN QUE SEULES DES OBSERVATIONS EMPIRIQUES FAITES DANS DES CONDITIONS PRECISES DE CONSERVATION, ONT PU ETRE FAITES.

ON PEUT REGROUPER LES PHENOMENES EN QUATRE CLASSES :

- 1 - LES PHENOMENES BIOLOGIQUES
LES PHENOMENES RELATIFS AUX TISSUS VIVANTS PEUVENT ETRE QUASIMENT ARRETES A UNE TEMPERATURE PROCHE DU POINT DE CONGELATION. SI LA CONGELATION SE PRODUIT, LES TISSUS SONT TUES DANS LA PLUPART DES CAS ET D'AUTRES BOULEVERSEMENTS SE PRODUISENT. IL FAUT NOTER QUE CERTAINES ESPECES DE DENREES SONT GRAVEMENT ET IRREVERSIBLEMENT ALTEREES SI ELLES SONT REFROIDIES A DES TEMPERATURES SENSIBLEMENT SUPERIEURES AU POINT DE CONGELATION ("MALADIES DU FROID", "BRULURES").
- 2 - LES PHENOMENES PHYSIQUES
DONT LA NATURE EST BIEN CONNUE, MAIS DONT CERTAINES CONSÉQUENCES SONT ENCORE MAL COMPRISES.
ILS CONSISTENT PRINCIPALEMENT EN :
 - * LA DESSICATION EN SURFACE;
 - * LA CONDENSATION D'HUMIDITE EN SURFACE;
 - * LES CHANGEMENTS DES GRADIENTS DE CONCENTRATION EN SELS DISSOUS, PAR SUITE DE LA CRISTALLISATION DE L'EAU.
- 3 - LES PHENOMENES CHIMIQUES
COMME L'OXYDATION OU LA DECOMPOSITION DES PROTEINES. OUTRE LA TEMPERATURE, D'AUTRES FACTEURS TELS QUE LA TENEUR EN OXYGENE ET LA PRESENCE D'ENZYMES INFLUENCENT L'EVOLUTION DE CES MECANISMES.

- 4 - LES PHENOMENES MICROBIOLOGIQUES
 C'EST-A-DIRE LA PROLIFERATION DES BACTERIES ET CHAMPIGNONS.
 IL EXISTE DES MILLIERS D'ESPECES DE CES GERMES, DONT LES
 COMPORTEMENTS SONT TRES FORTEMENT DEPENDANTS DE LA TEMPERA-
 TURE, MAIS AUSSI D'AUTRES PARAMETRES, COMME : L'HUMIDITE,
 LE MOUVEMENT DE L'AIR, LE RAYONNEMENT, ETC...
 SI LES GERMES PATHOGENES HUMAINS SONT PARALYSES BIEN AU-
 DESSUS DE 0 DEGRE, IL EXISTE DES ESPECES ENCORE CAPABLES DE
 SE DEVELOPPER EN DESSOUS DU POINT DE CONGELATION.
 ON ADMET CEPENDANT QUE LA PLUPART DE CES MICRO-ORGANISMES
 SONT TOTALEMENT "ENDORMIS" POUR DES TEMPERATURES DE L'ORDRE
 DE -15 DEGRES. TOUTEFOIS, ILS NE SONT PAS NECESSAIREMENT
 TUES ET LEUR ACTIVITE PEUT REPREDRE DES QUE LA TEMPERATURE
 REMONTE.

CONDITIONS D'ENTREPOSAGE

TYPES DE TRAITEMENT PAR LE FROID

- 1 - LE RAFRAICHISSEMENT
 PERMET DE CONSERVER DES DENREES QUE L'ON MAINTIENDRAIT A
 TEMPERATURE ORDINAIRE SOUS CLIMAT TEMPERE, MAIS QUE LES
 TEMPERATURES RENCONTREES EN ZONE TROPICALE RISQUENT D'AL-
 TERER RAPIDEMENT. ON CONSIDERERA UNE GAMME DE 15 A 20 C.
- 2 - LA REFRIGERATION
 CONSISTE A ABAISSER LA TEMPERATURE D'UN PRODUIT A UNE VA-
 LEUR PROCHE DE SON POINT DE CONGELATION. CELUI-CI ETANT
 CLASSIQUEMENT SITUE VERS -1 A -3 C, IL S'AGIT ICI DE
 REFROIDIR LA DENREE JUSQU'A 5 A 0 C.
- 3 - LA CONGELATION
 A POUR BUT DE TRANSFORMER EN GLACE LA PLUS GRANDE PARTIE
 POSSIBLE DE L'EAU CONTENUE DANS L'ALIMENT.
 LE POINT DE CONGELATION COMMENCANTE DEPEND DIRECTEMENT DE
 LA CONCENTRATION EN SUBSTANCES DISSOUTES, ET NON DE LA
 TENEUR EN EAU; AU FUR ET A MESURE QUE LA TEMPERATURE DIMI-
 NUE, UNE QUANTITE CROISSANTE D'EAU EST TRANSFORMEE EN CRIS-
 TAUX DE GLACE, FORMES D'EAU PURE.
 LA CONCENTRATION DES SOLUTIONS RESIDUELLES AUGMENTE DONC EN
 COURS DE L'OPERATION; C'EST POURQUOI UN ABAISSEMENT IMPOR-
 TANT DE LA TEMPERATURE EST NECESSAIRE POUR CONGELER UN
 MAXIMUM D'EAU (DE L'ORDRE DE -30 C).
- 4 - LA SURGELATION
 EST OBTENUE PAR UNE CONGELATION RAPIDE PERMETTANT D'ABOUTIR
 A COEUR DE PRODUIT A UNE TEMPERATURE EGALE OU INFERIEURE A
 -18 C, VALEUR QUI DOIT ETRE MAINTENUE PENDANT TOUTE LA
 DUREE DE CONSERVATION, SOUS EMBALLAGE APPROPRIE.

CONDITIONS OPTIMALES DE CONSERVATION

LES CONDITIONS OPTIMALES DE CONSERVATION D'UNE DENREE PARTICULIERE PEUVENT ETRE DEFINIES SUR LA BASE DES CRITERES SUIVANTS :

- * LA DUREE DE CONSERVATION DOIT ETRE LA PLUS LONGUE POSSIBLE;
- * LE TAUX DE PERTE DOIT ETRE LE PLUS FAIBLE POSSIBLE.

CES DEUX EXIGENCES SONT ETROITEMENT LIEES. IL IMPORTE DONC DE FIXER D'ABORD LA PERTE DE QUALITE ET DE VALEUR NUTRITIVE ACCEPTABLE COMMERCIALEMENT, OU MEME UN TAUX ADMISSIBLE DE PERTES PAR DECHETS, LA NOTION DE QUALITE COMMERCIALE POUVANT VARIER POUR UN MEME PRODUIT SELON LES CONDITIONS LOCALES.

SI ON NE DESIRE CONSERVER LE PRODUIT QUE PENDANT UNE COURTE PERIODE, CES CONDITIONS OPTIMALES POURRONT ETRE ASSOULPIES, EN VEILLANT CEPENDANT A NE LUI FAIRE SUBIR AUCUNE DETERIORATION IRREVERSIBLE.

LES CRITERES SUIVANTS DEVRONT ETRE RESPECTES LE MIEUX POSSIBLE:

- 1 - TOUT PRODUIT DESTINE AU STOCKAGE DOIT ETRE PARFAITEMENT FRAIS ET DE BONNE QUALITE ; IL NE DOIT PAS AVOIR ETE BLESSE PAR UNE MANUTENTION MALADROITE NI PORTER DE TRACES DE CONTAMINATION MICROBIENNE. EN D'AUTRES TERMES, IL DOIT ETRE STOCKE LE PLUS TOT POSSIBLE APRES LA RECOLTE.
- 2 - LA DUREE DE REFROIDISSEMENT DOIT ETRE AUSSI COURTE QUE POSSIBLE. PAR EXEMPLE : PAS PLUS DE 24 HEURES POUR LA PLUPART DES FRUITS ET LEGUMES.
- 3 - IL FAUT MAINTENIR UNE TEMPERATURE CONSTANTE PENDANT TOUTE LA DUREE DE L'ENTREPOSAGE. CERTAINES ESPECES NE SUPPORTENT PAS DES VARIATIONS SUPERIEURES A +/- 1°C !
- 4 - L'HUMIDITE RELATIVE SERA AJUSTEE DE MANIERE A NE PAS ENTRAÎNER LA DESSICATION DES PRODUITS TRES RICHES EN EAU, NI FAVORISER LA PROLIFERATION DE MICRO-ORGANISMES.
- 5 - UNE CIRCULATION MODEREE D'AIR HYGIENIQUEMENT "PROPRE" EST SOUVENT REQUISE POUR MAINTENIR UNE BONNE UNIFORMITE DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE, ET ELIMINER LES GAZ PRODUITS PAR CERTAINES DENREES.
- 6 - L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE DOIT ETRE MAINTENU EN BON ETAT SANITAIRE. OUTRE L'ELIMINATION FREQUENTE DES SALETES ET DE TOUS LES DEBRIS ALIMENTAIRES, ON PEUT DEVOIR RECOURIR A DES DESINFECTIONS PERIODIQUES.

ENFIN, IL FAUT EVITER, LORSQU'UN PRODUIT EST RETIRE DE LA CHAMBRE FROIDE, QUE DE L'EAU SE CONDENSE A SA SURFACE, CE QUI SE PRODUIRA DANS TOUS LES CAS OU SA TEMPERATURE SERA INFERIEURE AU POINT DE ROSEE. CETTE CONDENSATION SERA, AU BESOIN, ELIMINEE RAPIDEMENT PAR UNE VENTILATION ADEQUATE.

APPLICATION DU FROID AUX DENREES

AVANT D'ETRE PLACEES DANS LA CHAMBRE FROIDE, LES DENREES GAGNENT A ETRE REFROIDIES AUSSI RAPIDEMENT QUE POSSIBLE.

LES PROCEDES DE REFRIGERATION SONT TRES DIVERS ET UTILISENT LE PLUS SOUVENT SOIT UN ACTIF COURANT D'AIR FROID, SOIT DE L'EAU GLACEE. CETTE DERNIERE METHODE EST LARGEMENT UTILISEE DANS DIVERS PAYS POUR LES FRUITS ET LEGUMES, SOIT PAR IMMERSION, SOIT PAR ASPERSION. ELLE OFFRE L'AVANTAGE DE NE PAS EXIGER DE MATERIEL COMPLIQUE : L'EAU GLACEE EST SIMPLEMENT OBTENUE PAR ADDITION DE GLACE.

MAIS L'HUMIDIFICATION PEUT CONDUIRE A UN DEVELOPPEMENT SUBSEQUENT DE MOISSISSURES PREJUDICIALES A LA CONSERVATION. ON PEUT Y REMEDIER, AU MOINS EN PARTIE, EN AJOUTANT A L'EAU CERTAINS ANTISEPTIQUES AUTORISES.

DES TECHNIQUES PLUS SOPHISTIQUEES, NECESSITANT DES EQUIPEMENTS PLUS COUTEUX, SONT GENERALEMENT MISES EN DEUVRE POUR LA SURGELATION.

MOYENS DE PRODUCTION DE FROID

GENERALITES

LES MACHINES FRIGORIFIQUES SONT DES POMPES A CHALEUR, EN CE QU'ELLES TRANSFERENT DE LA CHALEUR D'UNE "SOURCE FROIDE" VERS UNE "SOURCE CHAUDE".

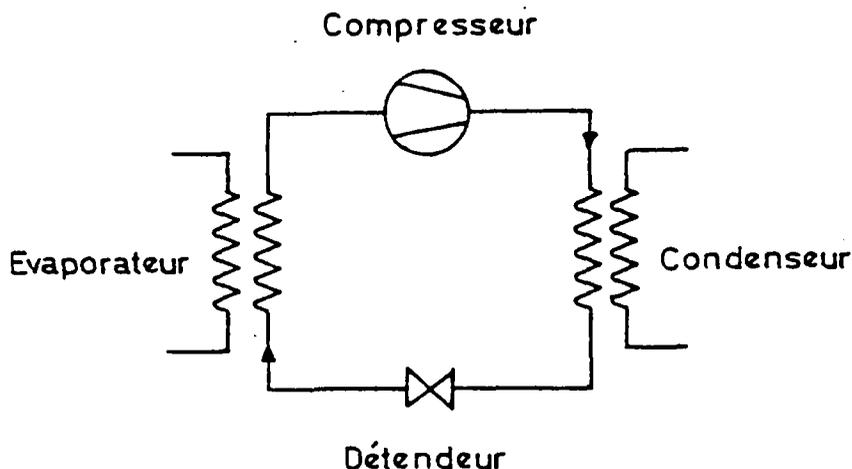
CE TRANSPORT D'ENERGIE THERMIQUE NE PEUT SE PRODUIRE QUE SI LE SYSTEME RECOIT LUI-MEME UN APPORT EXTERIEUR D'ENERGIE, DONT L'IMPORTANCE DEPEND DIRECTEMENT DE LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE ENTRE LES DEUX SOURCES.

EN D'AUTRES TERMES, ON SE SOUVIENDRA QUE LE FROID EST D'AUTANT PLUS COUTEUX QU'IL EST FOURNI A BASSE TEMPERATURE, ET QUE LA TEMPERATURE AMBIANTE (SOURCE CHAUDE) EST ELEVEE.

L'APPORT D'ENERGIE QU'IL FAUT EFFECTUER PEUT SE TROUVER SOUS FORME DE TRAVAIL MECANIQUE QU/ET DE CHALEUR, DANS TOUS LES SYSTEMES CONVENTIONNELS.

CYCLE A COMPRESSION

LE DIAGRAMME CI-APRES SCHEMATISE UNE MACHINE FONCTIONNANT SUIVANT UN CYCLE DIT "DE RANKINE (INVERSE)".



DU TRAVAIL MECANIQUE PERMET AU COMPRESSEUR D'ELEVER LA PRESSION ET LA TEMPERATURE D'UN FLUIDE FRIGORIGENE ENFERME DANS L'INSTALLATION. CE GAZ TRAVERSE UN CONDENSEUR, DANS LEQUEL IL SE TRANSFORME EN LIQUIDE EN CEDANT DE LA CHALEUR A L'AMBIANCE ; IL EST DETENDU DANS UNE VANNE, QUI PROVOQUE UN ABAISSEMENT DE SA TEMPERATURE. L'UTILISATEUR DE FROID, QUI SE COMPORTE COMME UN "DONNEUR DE CHALEUR", PRELEVE L'EFFET UTILE PENDANT LA PHASE D'EVAPORATION DU LIQUIDE A BASSE TEMPERATURE.

A NOUVEAU TRANSFORME EN GAZ, LE FLUIDE FRIGORIGENE PEUT ETRE ASPIRE PAR LE COMPRESSEUR POUR DECRIRE UN AUTRE CYCLE.

POUR POUVOIR PRODUIRE L'EFFET FRIGORIFIQUE, IL FAUT QUE L'ON DISPOSE D'UN FLUIDE FRIGORIGENE AISEMENT LIQUEFIABLE A LA TEMPERATURE DE L'AMBIANCE ET NON CONGELABLE A LA TEMPERATURE A LAQUELLE DOIT ETRE PRODUIT LE FROID.

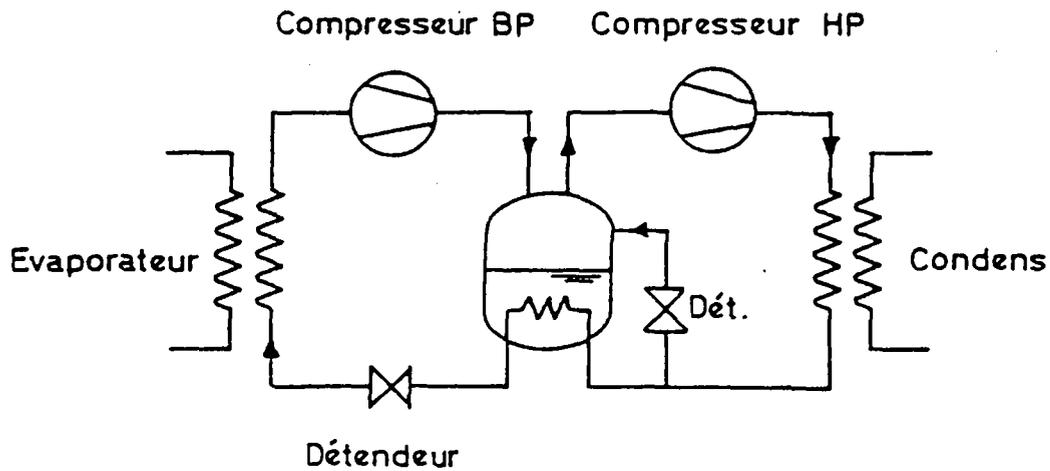
SAUF EXCEPTION, LES SEULS FLUIDES UTILISES A L'HEURE ACTUELLE SONT L'AMMONIAC (NH_3) ET CERTAINS DERIVES HALOGENES DU METHANE ET DE L'ETHANE ("FREONS"), QUI ONT L'AVANTAGE D'ETRE CHIMIQUEMENT STABLES, ET NON TOXIQUES.

SUR LE PLAN THERMODYNAMIQUE, IL FAUT SOULIGNER QUE LA QUANTITE D'ENERGIE PRELEVEE PAR L'EVAPORATEUR A LA "SOURCE FROIDE" PEUT ETRE SUPERIEURE A CELLE QU'IL A FALLU FOURNIR AU COMPRESSEUR, AVEC COMME CONSEQUENCE UN "RENDEMENT" (ON DIRA PLUTOT "EFFICACITE" OU "COEFFICIENT DE PERFORMANCE") SUPERIEUR A 100 % !

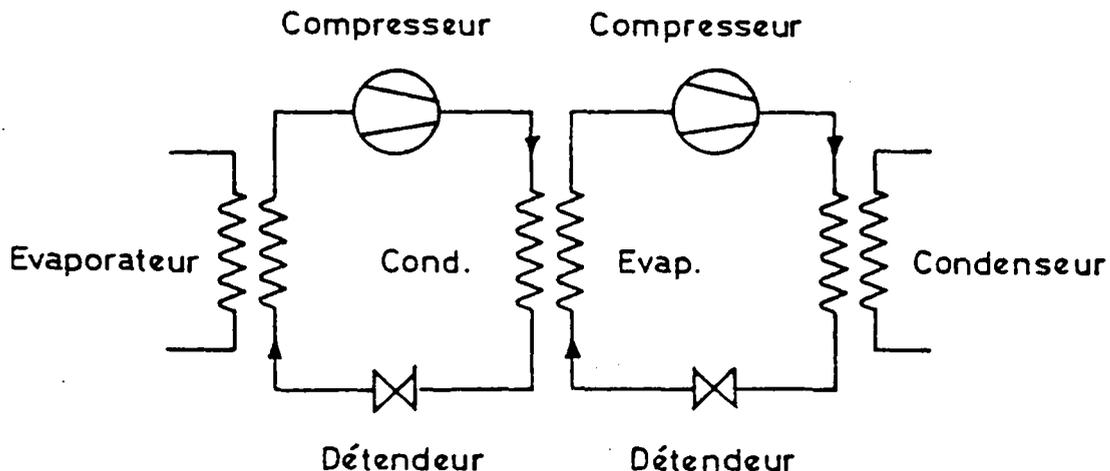
CYCLES A COMPRESSION A PLUSIEURS ETAGES

POUR UN FLUIDE FRIGORIGENE DETERMINE, LE FROID SERA PRODUIT A UNE TEMPERATURE D'AUTANT PLUS BASSE QUE LE RAPPORT DE PRESSION DE LA DETENTE - DONC AUSSI DU COMPRESSEUR - SERA ELEVE.

CEPENDANT, LES PERFORMANCES DES COMPRESSEURS DEVIENNENT MOINS BONNES A MESURE QUE LEUR TAUX DE COMPRESSION AUGMENTE. ON PREFERERA ALORS UTILISER UNE MACHINE A DEUX ETAGES DE COMPRESSION, COMME CELLE ILLUSTREE CI-DESSOUS :

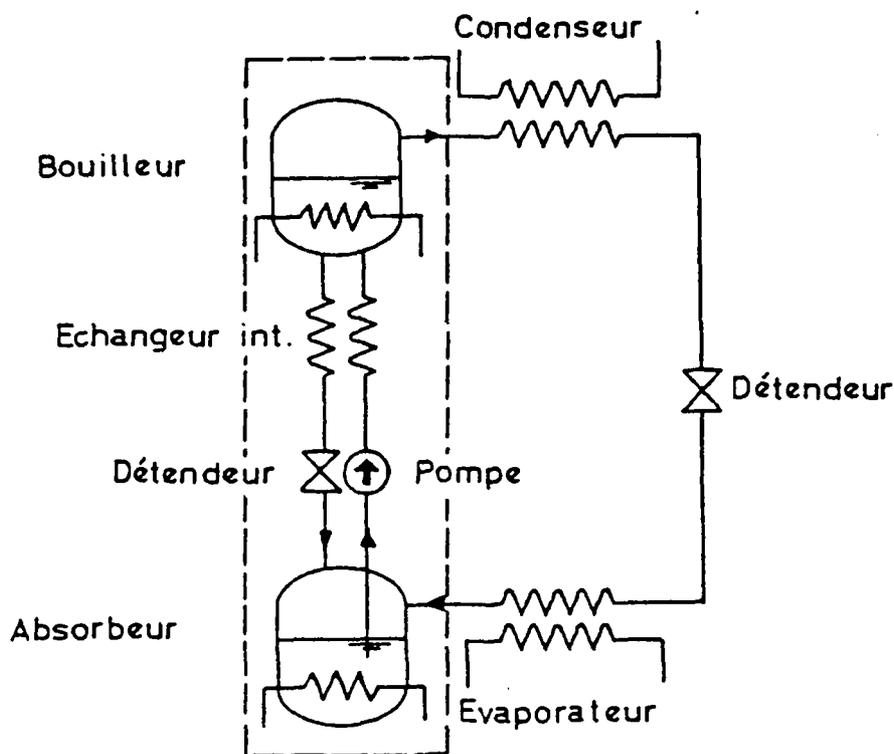


ON PEUT EGALEMENT ACCOUPLER DEUX MACHINES SIMPLES EN CASCADE, L'EVAPORATEUR DE LA PREMIERE ABSORBANT LA CHALEUR LIBEREE PAR LE CONDENSEUR DE LA SECONDE. DES TEMPERATURES TRES BASSES SONT AINSI OBTENUES TRES FACILEMENT A L'EVAPORATEUR DE LA SECONDE MACHINE :



CYCLE A ABSORPTION

LES MACHINES A ABSORPTION NE DIFFERENT DES PRECEDENTES QUE PAR LA MANIERE D'AMENER LE FLUIDE FRIGORIGENE SOUS FORME DE GAZ SOUS PRESSION. LE COMPRESSEUR MECANIQUE EST REMPLACE PAR UN ENSEMBLE D'EQUIPEMENTS (ENCADRES DANS LA FIGURE SUIVANTE), REMPLISSANT LA MEME FONCTION :



DANS L' "ABSORBEUR", LE FLUIDE FRIGORIGENE EST MIS EN PRESENCE D'UN FLUIDE AUXILIAIRE, QUI NE PARTICIPE PAS AU CYCLE FRIGORIFIQUE PROPREMENT DIT. CE FLUIDE AGIT COMME SOLVANT ET COMME "ASPIRATEUR" DES VAPEURS FRIGORIGENES EMANANT DE L'EVAPORATEUR.

CETTE DISSOLUTION S'ACCOMPAGNANT D'UN DEGAGEMENT DE CHALEUR, L'ABSORBEUR DOIT ETRE REFROIDI PAR UN ECHANGE AVEC LE MILIEU AMBIANT.

LA SOLUTION AINSI FABRIQUEE EST MISE SOUS PRESSION AU MOYEN D'UNE POMPE ET ENVOYEE DANS LE "BOUILLEUR" OU "GENERATEUR", DANS LEQUEL ON PERMET AU FLUIDE FRIGORIGENE DE SE SEPARER DE SON SOLVANT MOYENNANT UN APPORT DE CHALEUR A HAUTE TEMPERATURE, TANDIS QUE LE SOLVANT EST RECYCLE VERS L'ABSORBEUR EN PASSANT PAR UNE VANNE QUI LE RAMENE A BASSE PRESSION.

PRINCIPALES PARTICULARITES

- 1 - L'ESSENTIEL DE L'APPORT ENERGETIQUE FOURNI A UNE MACHINE A ABSORPTION EST SOUS FORME DE CHALEUR, LA POMPE NE REQUERANT QU'UN TRES FAIBLE TRAVAIL MECANIQUE.
- 2 - EN EVITANT L'EMPLOI D'UN COMPRESSEUR, ON AMELIORE LA FIABILITE MECANIQUE ; CEPENDANT, ON AJOUTE DEUX EQUIPEMENTS DU TYPE "ECHANGEURS DE CHALEUR", DONT L'INCIDENCE SUR LE COUT EST NON NEGLIGEABLE.
- 3 - LA REGULATION DU FONCTIONNEMENT DE L'ENSEMBLE GENERATEUR-ABSORBEUR CONSTITUE UN PROBLEME DELICAT.
- 4 - LE CHOIX D'UN FLUIDE FRIGORIGENE EST SUBORDONNE A L'EXISTENCE D'UN SOLVANT APPROPRIE, CE QUI PEUT ETRE UN FACTEUR SEVEREMENT LIMITATIF.
LES MACHINES LES PLUS REPANDUES UTILISENT L'AMMONIAC (AVEC L'EAU COMME SOLVANT) OU L'EAU (AVEC LE BROMURE DE LITHIUM).

MACHINES ISOBARES ("ELECTROLUX")

LE PRINCIPE DE LA MACHINE A ABSORPTION PEUT ETRE APPLIQUE SANS BESOIN D'AUCUNE ENERGIE MECANIQUE.
A CET EFFET, ON AJOUTE A L'INSTALLATION UN GAZ COMPLEMENTAIRE, INACTIF SUR LE PLAN FRIGORIFIQUE, QUI S'ACCUMULE DANS LES ZONES OU LA PRESSION PARTIELLE DU FLUIDE FRIGORIGENE EST BASSE.

C'EST DONC PAR LE JEU DES PRESSIONS PARTIELLES QUE LE FLUIDE FRIGORIGENE PEUT ETRE DETENDU ET CREER L'EFFET FRIGORIFIQUE.
LA CIRCULATION DES SOLUTIONS EST REALISEE PAR UN SYSTEME THERMO-EMULSEUR QUI NE DOIT VAINCRE QUE DE FAIBLES DIFFERENCES DE PRESSION.

AUTRES PROCEDES DE PRODUCTION DE FROID

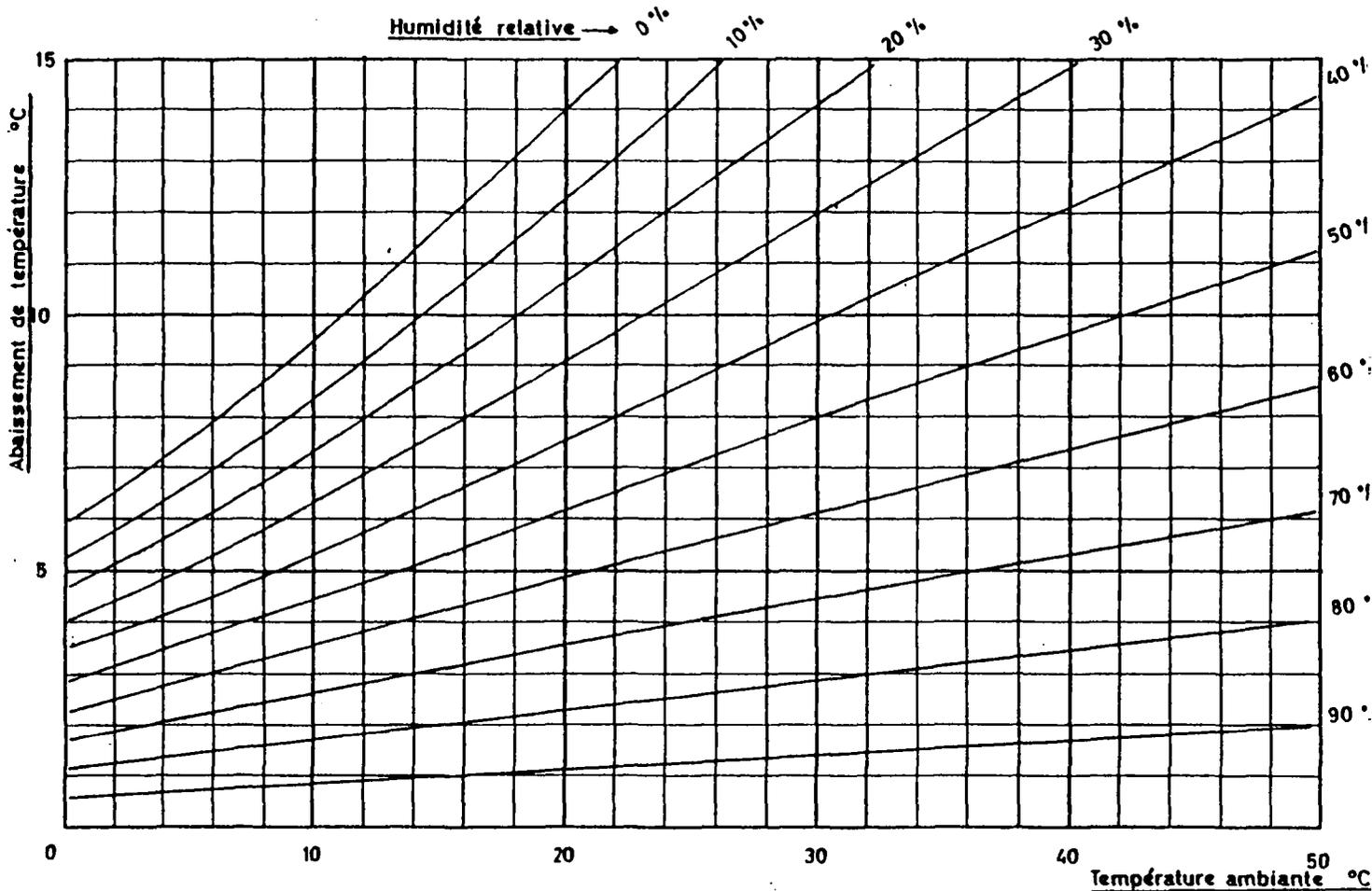
D'AUTRES PROCEDES, PLUS MARGINAUX QUE LES DEUX PRECEDENTS, SONT QUELQUES FOIS UTILISES.

- 1 - PROCEDE PAR EVAPORATION D'EAU A PRESSION ATMOSPHERIQUE.

CE PROCEDE NE PEUT ETRE ENVISAGE QUE POUR CREER UN FAIBLE EFFET DE RAFRAICHISSEMENT.

IL CONSISTE A PULVERISER DE L'EAU DANS DE L'AIR SEC, CE QUI ENTRAINE AUTOMATIQUEMENT UNE DIMINUTION DE LA TEMPERATURE.
L'ABAISSEMENT MAXIMAL DE TEMPERATURE REALISABLE EST FONCTION DE LA TEMPERATURE DE L'AIR ET DE SON DEGRE HYGROMETRIQUE, COMME L'INDIQUE LE DIAGRAMME DE LA PAGE SUIVANTE.

SI LE CLIMAT EST HUMIDE, ON DOIT AU PREALABLE ASSECHER L'AIR (VOIR CHAPITRE SUIVANT).



2 - MACHINES A ADSORPTION

CES MACHINES FONCTIONNENT SUIVANT LE MEME PRINCIPE QUE LES MACHINES A ABSORPTION, EXCEPTE QUE LE SOLVANT EST ICI REMPLACÉ PAR UN MATERIAU SOLIDE (CHARBON ACTIF, ZEOLITHE), QUI FIXE LE FLUIDE FRIGORIGENE PAR LE MECANISME D'ADSORPTION, TANDIS QUE LA DESORPTION EST PROVOQUEE PAR UN APPORT EXTERIEUR DE CHALEUR.

UN EXEMPLE D'UNE TELLE INSTALLATION SERA DECRIT AU CHAPITRE SUIVANT.

3 - MACHINES A EJECTEUR

DANS UN CYCLE A COMPRESSION, LE COMPRESSEUR PEUT ETRE REMPLACÉ PAR UN EJECTEUR (SYSTEME A TUYERES) DONT LA VAPEUR MOTRICE EST ENGENDREE PAR UN APPORT DE CHALEUR. ON DECRIRA CE TYPE DE MACHINE DANS LE PROCHAIN CHAPITRE.

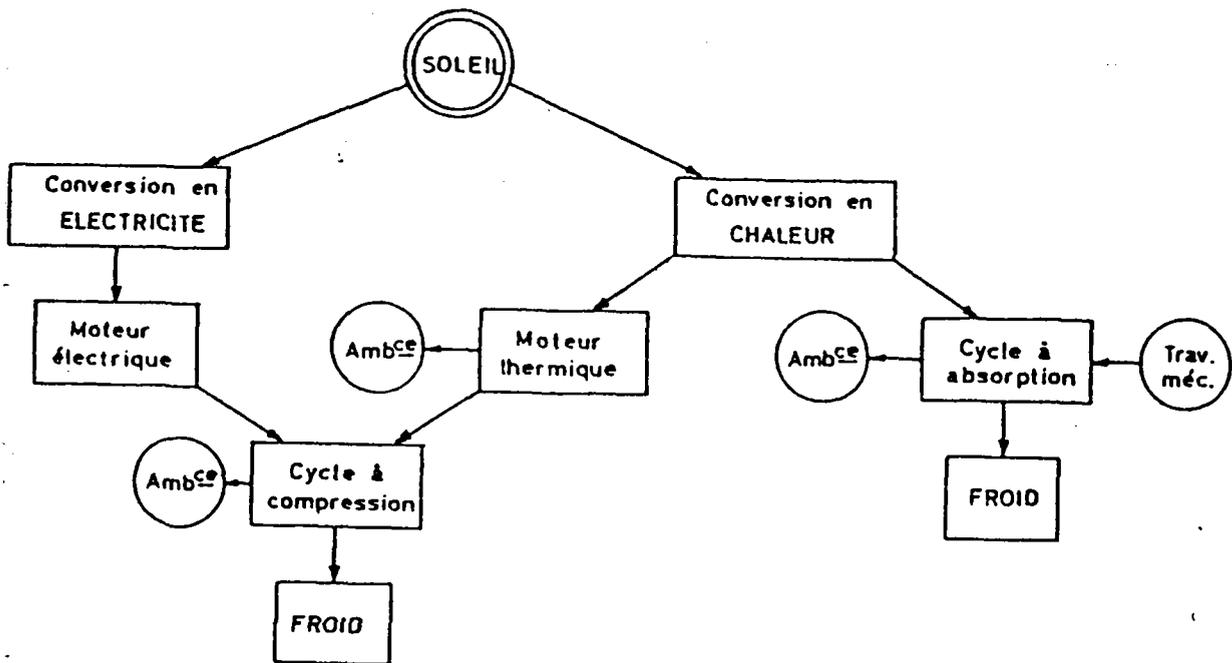
4 - MACHINES A EFFET PELTIER (POUR MEMOIRE) : MACHINES PUREMENT ELECTRIQUES SANS ORGANE MOBILE (EXCEPTE UN VENTILATEUR).

PRODUCTION DE FROID PAR ENERGIE SOLAIRE

IL EST DESORMAIS BANAL DE CONSTATER QUE LES BESOINS EN FROID SONT PRECISEMENT LES PLUS MARQUES DANS LES PAYS ENSOLEILLES ET CHAUDS, QUE CE SOIT POUR LE CONDITIONNEMENT D'AIR OU LA CONSERVATION DES DENREES ALIMENTAIRES, VACCINS, ETC...

LES TECHNOLOGIES SOLAIRES FONT PREUVE D'UNE PLUS GRANDE INDEPENDANCE VIS-A-VIS DES CONTRAINTES DIVERSES, COMME L'INSUFFISANCE DES RESSOURCES EN ENERGIE, MATERIELS ET MATERIAUX.

LA FIGURE CI-APRES ILLUSTRE LES PROCEDES LES PLUS CLASSIQUES DE PRODUCTION DE FROID AU MOYEN D'ENERGIE SOLAIRE.



COMME ON PEUT LE CONSTATER D'APRES CETTE FIGURE, LA TECHNOLOGIE DU FROID PROPREMENT DITE EST CONVENTIONNELLE : LES CYCLES A COMPRESSION ET A ABSORPTION DEJA RENCONTRES DEVRONT SIMPLEMENT ETRE ADAPTES POUR TENIR COMPTE DES CONTRAINTES PROPRES A LA TECHNOLOGIE SOLAIRE ET AUX CONDITIONS CLIMATIQUES.

EN PARTICULIER, ON DEVRA TENIR COMPTE DES FLUCTUATIONS DE L'INTENSITE DU RAYONNEMENT (NUAGES; HEURE DU JOUR; SAISONS; ABSENCE NOCTURNE) EN INCORPORANT DES SYSTEMES DE STOCKAGE.

CONVERSION DIRECTE EN ELECTRICITE

LES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES SONT MODULAIRES ET REPENDENT AUSSI BIEN AU RAYONNEMENT DIFFUS QUE DIRECT. ELLES N'ONT PAS DE PARTIE MOBILE ET PEUVENT PRETENDRE A DES DUREES DE VIE TRES LONGUES.

LE SILICIUM QUI EST A LA BASE DE LEUR FABRICATION EST UNE DES MATIERES PREMIERES LES PLUS ABONDANTES DE LA CROUTE TERRESTRE.

ELLES CONVERTISSENT LE RAYONNEMENT VISIBLE AINSI QUE LE PROCHE INFRA-ROUGE EN ELECTRICITE, AVEC DES RENDEMENTS DE L'ORDRE DE 10 A 15 %, POUR LES MODELES DISPONIBLES COMMERCIALEMENT.

CETTE ELECTRICITE EST TRAITEE ELECTRONIQUEMENT POUR POUVOIR ALIMENTER LE MOTEUR D'UN GROUPE TRADITIONNEL A COMPRESSEUR.

CES INSTALLATIONS OFFRENT UN INCONTESTABLE AVANTAGE DE SIMPLICITE ET DE FIABILITE DANS LEUR REALISATION ET LEUR REGULATION.

CEPENDANT, LE COUT DE CES CELLULES EST ACTUELLEMENT - ET SANS DOUTE POUR PLUSIEURS ANNEES ENCORE - TRES ELEVE : DE 500.000 A 800.000 FB PAR KW "DE CRETE".

CE PRIX DOIT ETRE DIVISE PAR UN COEFFICIENT D'UTILISATION DE 0.5 A 0.2 POUR OBTENIR LA VALEUR DE L'INVESTISSEMENT QU'IL FAUT CONSENTIR POUR UNE UTILISATION REELLE DE 1 KW.

FINALEMENT, ON ATTEINT DONC DES MONTANTS DE L'ORDRE DE 1 A 4 MILLIONS DE FB / KW !

OUTRE CE PRIX QUI LES REND AUJOURD'HUI PEU COMPETITIVES, LES POSSIBILITES DE STOCKAGE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE SONT ENCORE LIMITEES, ASSEZ COUTEUSES, ET EXIGENTES EN ENTRETIEN.

CONVERSION THERMIQUE

CE TYPE DE CONVERSION EST REALISE DANS LES COLLECTEURS SOLAIRES BIEN CONNUS, DONT L'ETUDE SORT DU CADRE DU SUJET.

IL IMPORTE DE GARDER A L'ESPRIT QUE LES TEMPERATURES REALISABLES AVEC DES RENDEMENTS ACCEPTABLES SONT LES SUIVANTES :

* COLL. PLAN; NON SELECTIF; 1 VITRE	50 - 75 C
* COLL. PLAN; NON SELECTIF; 2 VITRES	50 - 100 C
* COLL. PLAN; SELECTIF ; 1 VITRE	80 - 110 C
* COLL. SOUS VIDE	90 - 150 C
* COLL. A CONCENTRATION	100 - 200 C

COMME ON POUVAIT S'Y ATTENDRE, LE COUT DE CES COLLECTEURS AUGMENTE AVEC LEUR DEGRE DE PERFECTIONNEMENT, TANDIS QUE LEUR FIABILITE ET LEUR LONGEVITE EST PLUS SOUVENT A METTRE EN CAUSE. (QUELQUES EXCEPTIONS CONFIRMENT CETTE REGLE GROSSIERE).

1 - MACHINES A ABSORPTION

LES MACHINES FRIGORIFIQUES A ABSORPTION VIENNENT IMMEDIATEMENT A L'ESPRIT DANS LA MESURE OU ELLES SONT ALIMENTEES PRINCIPALEMENT EN CHALEUR.

LEURS PERFORMANCES SONT FORTEMENT DEPENDANTES DU NIVEAU DE TEMPERATURE AUQUEL CETTE CHALEUR LEUR EST APPOREE.

AINSI, LE BOUILLEUR DES MACHINES A AMMONIAC REQUIERT UNE TEMPERATURE MINIMALE DE 110 A 120 C POUR FONCTIONNER DANS DES CONDITIONS NORMALES. PAR CONSEQUENT, SEULS DES CAPTEURS SOLAIRES AVANCES (SOUS VIDE OU A CONCENTRATION) POURRONT ETRE COUPLES A CE TYPE DE MACHINE.

LES MACHINES A EAU/BROMURE DE LITHIUM SONT MOINS EXIGENTES SUR CE PLAN : 80 A 90 C SUFFISENT POUR ASSURER LA PRODUCTION DE FROID. NEANMOINS, CETTE GAMME DE TEMPERATURE NE PEUT ETRE GARANTIE QUE PAR L'EMPLOI DE CAPTEURS A DEUX VITRES OU A REVETEMENT SELECTIF. LES CAPTEURS PLANS ORDINAIRES NE PEUVENT ETRE UTILISES QUE PAR INSOLATION IMPORTANTE, ET FONCTIONNERONT DANS UNE MAUVAISE GAMME DE RENDEMENT.

EN OUTRE, PUISQUE LE FLUIDE FRIGORIGENE EST L'EAU, ON SE SOUVIENDRA QUE CES MACHINES NE PEUVENT PRODUIRE DU FROID A DES TEMPERATURES INFERIEURES A 0 C, POINT DE CONGELATION DE L'EAU.

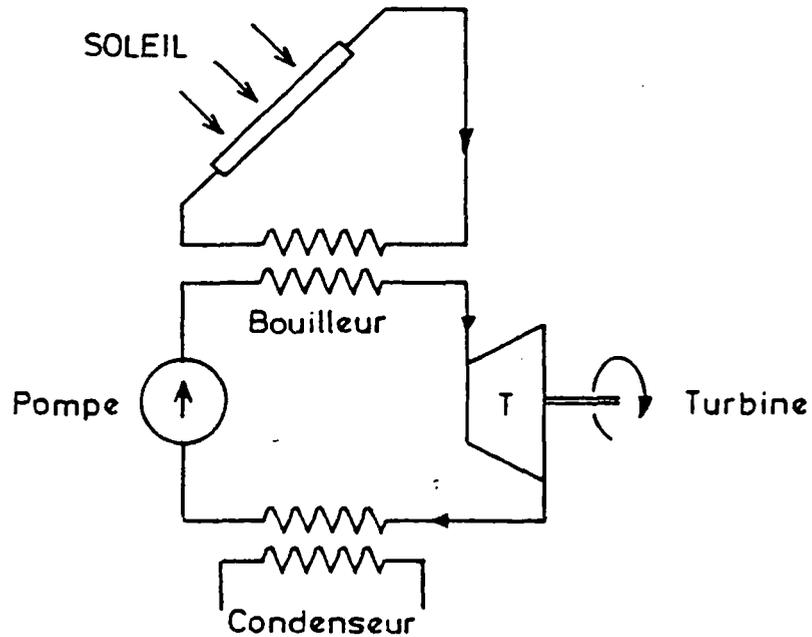
2 - MACHINES A COMPRESSEUR

CES INSTALLATIONS SONT PLUS COMPLEXES DANS LA PLUPART DES CAS PUISQU'ELLES COMPRENNENT, OUTRE LE COMPRESSEUR, UN DISPOSITIF DE CONVERSION DE L'ENERGIE THERMIQUE EN TRAVAIL MECANIQUE (MOTEUR THERMIQUE).

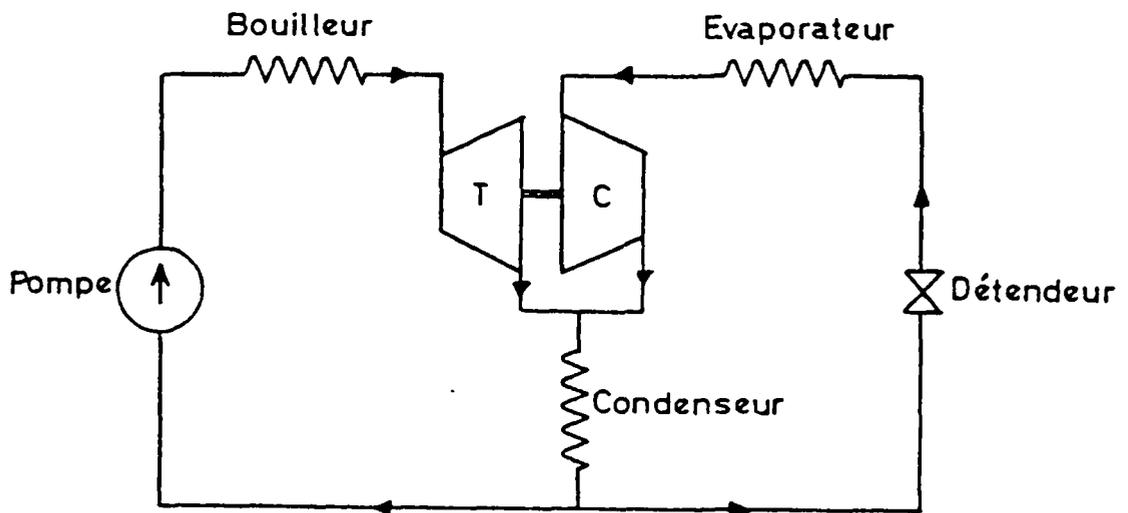
CETTE OPERATION OBEIT GENERALEMENT AU "CYCLE DE RANKINE", DONT LE SCHEMA DE PRINCIPE EST REPRESENTE EN HAUT DE LA PAGE SUIVANTE.

DES LORS QUE LA TEMPERATURE DISPONIBLE AU BOUILLEUR (SOURCE CHAUDE) EST MODEREE DANS LES APPLICATIONS SOLAIRES, LES FLUIDES MOTEURS UTILISES HABITUELLEMENT SONT LES MEMES QUE CEUX DES CIRCUITS FRIGORIFIQUES ("FREONS" PRINCIPALEMENT), CAR ILS ONT LA PROPRIETE DE S'EVAPORER OU DE SE CONDENSER AUX TEMPERATURES ENVISAGEES.

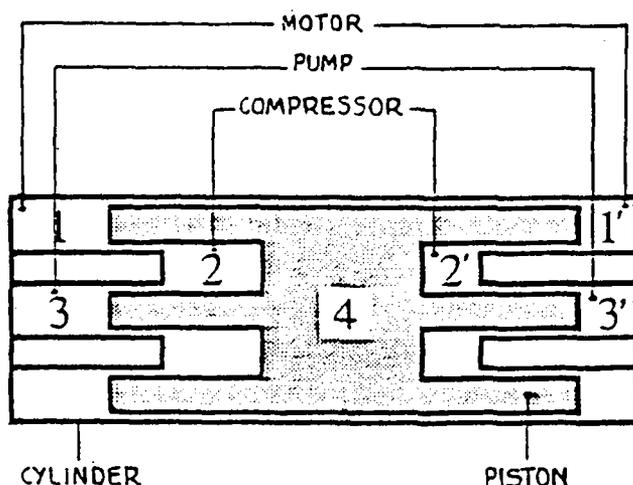
LA DETENTE MOTRICE PEUT AVOIR LIEU DANS UNE TURBINE OU UNE MACHINE A PISTON(S), QUI EST ACCOUPLEE A L'ARBRE DU COMPRESSEUR D'UN CYCLE FRIGORIFIQUE CLASSIQUE (VOIR LA FIGURE EN PAGE -6-).



PUISQUE LES PHENOMENES DE CONDENSATION DES CYCLES MOTEUR ET FRIGORIFIQUE ONT TOUS DEUX LIEU PAR CONTACT AVEC LA MEME SOURCE DE CHALEUR (AMBIANTE), IL EST POSSIBLE DE SIMPLIFIER LE CYCLE COMPLET EN REALISANT L'ECONOMIE D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR. LE FLUIDE MOTEUR ET LE FRIGORIGENE ONT ALORS OBLIGATOIREMENT LA MEME NATURE, COMME IL APPARAIT DE LA FIGURE SUIVANTE :



LA FIGURE CI-APRES DONNE UN EXEMPLE DE REALISATION PARTICULIEREMENT ASTUCIEUSE MISE AU POINT A L'UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES GRACE A L'APPUI DE LA COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES. GRACE A CETTE MACHINE (BREVETEE), TOUTES LES FONCTIONS MECANIQUES REQUISES PAR LE CYCLE THERMODYNAMIQUE VU PLUS HAUT, SONT REUNIES EN UNE SEULE ENCEINTE QUI NE COMPREND QU'UN ORGANE MOBILE (PISTON LIBRE).



CETTE CATEGORIE DE MACHINES PRESENTE, PAR RAPPORT AUX SYSTEMES A ABSORPTION, L'AVANTAGE DE POUVOIR FONCTIONNER AVEC DES TEMPERATURES DE SOURCE CHAUDE PLUS BASSES ; POUR FIXER LES IDEES, L'INSTALLATION QUI VIENT D'ETRE DECRITE PEUT PRODUIRE DU FROID DES QUE LA TEMPERATURE A LA SORTIE DES CAPTEURS SOLAIRES ATTEINT 50 A 60 C (POUR UNE TEMPERATURE AMBIANTE DE 25 C).

EN CONSEQUENCE, DES COLLECTEURS PLANS CONVENTIONNELS - FIABLES ET BON MARCHE - SONT CAPABLES D'ASSURER, AVEC DE BONS RENDEMENTS, L'APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE DE CES INSTALLATIONS.

3 - MACHINES A EVAPORATION D'EAU

L'HUMIDIFICATION DE L'AIR AMBIANT CONDUIT A SON RAFRAICHISSEMENT, COMME ON L'A MENTIONNE PAGE -9-.

DANS LE CAS OU L'HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR EST TROP ELEVEE POUR POUVOIR OBTENIR UN ABAISSEMENT SENSIBLE DE SA TEMPERATURE, ON A RECOURS A UN PROCESSUS DE DESSICATION BASE SUR

L'EXPLOITATION DES PROPRIETES HYDROPHILES DE CERTAINES SUBSTANCES (SILICAGELS).

LE PROCESSUS DE FIXATION DE L'EAU SUR LE SILICAGEL ETANT EXOTHERMIQUE, L'AIR ASSECHE SERA D'ABORD RAMENE A TEMPERATURE AMBIANTE DANS UN ECHANGEUR DE CHALEUR, AVANT D'ETRE REHUMIDIFIE PAR PULVERISATION D'EAU.

L'ENERGIE SOLAIRE EST EXPLOITEE LORS DE LA PHASE DE REGENERATION DU SILICAGEL, QUI DOIT SE DEROULER A CHAUD.

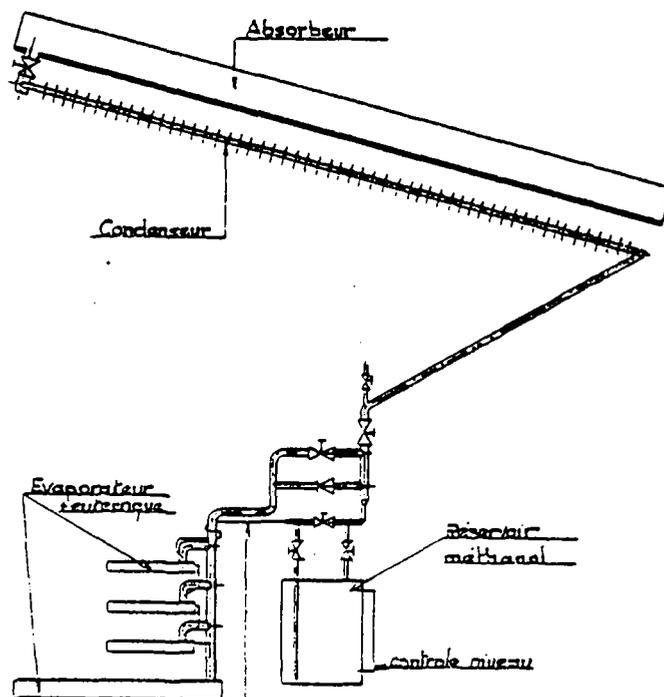
CETTE METHODE A L'AVANTAGE DE FAIRE APPEL A UNE MACHINERIE EXTREMEMENT SIMPLE, LORSQU'ELLE EST APPLIQUEE EN CYCLE INTERMITTENT. DES SYSTEMES PLUS SOPHISTIQUES UTILISANT DES ECHANGEURS ROTATIFS PERMETTENT MEME LA MARCHE CONTINUE DE TELLES INSTALLATIONS.

4 - MACHINES A ADSORPTION

EN DEVELOPPEMENT AU STADE ACTUEL, CES INSTALLATIONS DEJA CITEES SONT TRES ATTRAYANTES PAR LEUR ABSENCE DE PIECES MOBILES, ET LEUR FACULTE DE REALISER UN EFFET FRIGORIFIQUE A DES TEMPERATURES SUFFISAMMENT BASSES.

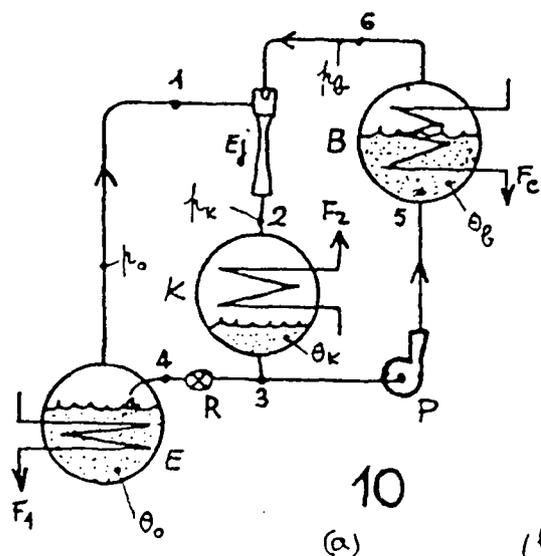
ELLES PRODUISENT ET STOCKENT LE FROID PENDANT LA NUIT, EN MEME TEMPS QUE LE FLUIDE FRIGORIGENE EST FIXE PAR L'ADSORBANT. CELUI-CI, ENFERME DANS UN CAISSON A L'INTERIEUR DU CAPTEUR SOLAIRE, EST REGENERE LE JOUR SUIVANT GRACE A L'APPORT THERMIQUE DU RAYONNEMENT SOLAIRE.

TECHNOLOGIQUEMENT PARLANT, LA DIFFICULTE MAJEURE PROVIENT DE LA NECESSITE DE MAINTENIR L'ENSEMBLE DES CIRCUITS ET DU COLLECTEUR SOUS TRES BASSE PRESSION.



5 - MACHINES A EJECTEUR

LA FIGURE SUIVANTE ILLUSTRE CE PROCEDE, DONT LE PRINCIPE FONDAMENTAL CONSISTE A REMPLACER LE COMPRESSEUR D'UN CYCLE CLASSIQUE PAR UN EJECTEUR.



ON RETROUVE, COMME DANS LE SCHEMA DE LA FIGURE AU BAS DE LA PAGE -14- , TROIS ECHANGEURS DE CHALEUR. CEPENDANT, L'ENSEMBLE MOTEUR-COMPRESSEUR EST REMPLACE PAR L'EJECTEUR, QUI POSSEDE L'AVANTAGE D'UNE ABSENCE D'ORGANE MOBILE.

DE TELS SYSTEMES UTILISENT ESSENTIELLEMENT DE L'EAU COMME FLUIDE ACTIF. LEUR INCONVENIENT MAJEUR RESTERA LA MEDIOCRITE DU RENDEMENT DE L'EJECTEUR, QUI PENALISE LE COEFFICIENT DE PERFORMANCE GLOBAL.

6 - MACHINES A EFFET PELTIER

LORSQU'UN COURANT ELECTRIQUE PARFAITEMENT CONTINU TRAVERSE UNE CHAINE HETEROGENE DE DEUX CONDUCTEURS DISSEMBLABLES (PRATIQUEMENT : DU TELLURURE DE BISMUTH DIFFEREMMENT DOPE) ASSOCIES ALTERNATIVEMENT EN SERIE, ON CONSTATE QUE LES "SOUDURES" DE MEME PARITE SONT LE SIEGE D'UNE ABSORPTION DE CHALEUR, TANDIS QUE LES AUTRES, DE PARITE OPPOSEE, SONT LE SIEGE D'UN DEGAGEMENT DE CHALEUR.

L'EFFICACITE OBTENUE EST ASSEZ FAIBLE ET SON MAXIMUM EST OBTENU POUR DES PUISSANCES REDUITES.

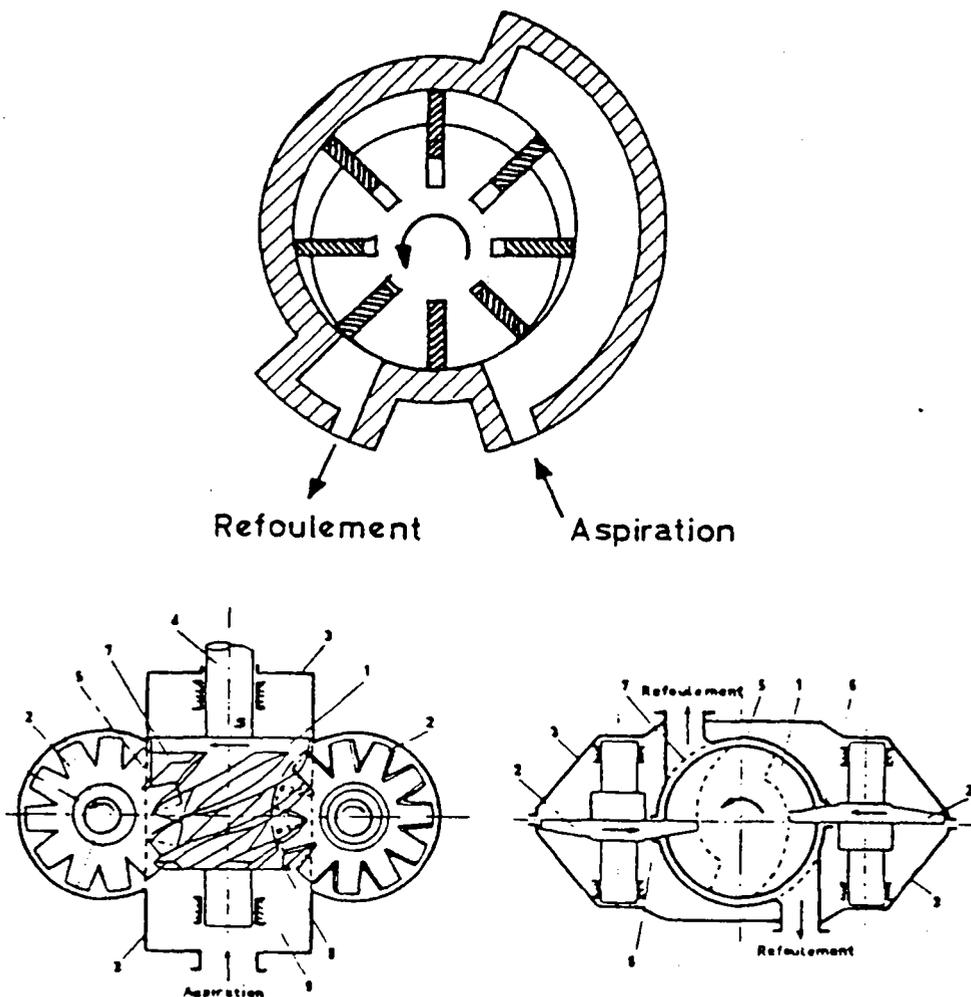
CES CARACTERISTIQUES PEU FAVORABLES AUXQUELLES S'AJOUTENT UN PRIX ASSEZ ELEVE DES MODULES ET LA NECESSITE DE DISPOSER DE COURANT ELECTRIQUE (PHOTOVOLTAIQUE) EXPLIQUENT QUE CES UNITES SOIENT ASSEZ PEU COURANTES, MALGRE LEUR AVANTAGE D'ETRE TOTALEMENT STATIQUES.

ELEMENTS DE TECHNOLOGIE

COMPRESSEURS

DANS L'INDUSTRIE FRIGORIFIQUE, LES MACHINES LES PLUS REPANDUES SONT LES COMPRESSEURS A PISTON(S), DONT LA TECHNOLOGIE EST LARGEMENT EPROUVEE. ILS PERMETTENT DES TAUX DE COMPRESSION ELEVES MAIS DES DEBITS PLUS FAIBLES QUE LES TURBOCOMPRESSEURS. LEUR CULASSE EST GENERALEMENT REFROIDIE POUR AMELIORER LE RENDEMENT DE LA COMPRESSION.

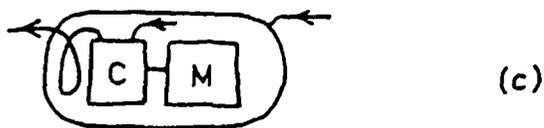
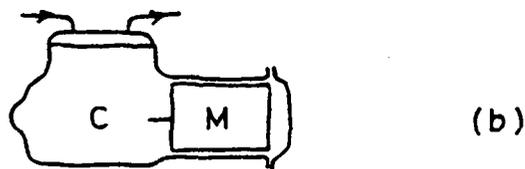
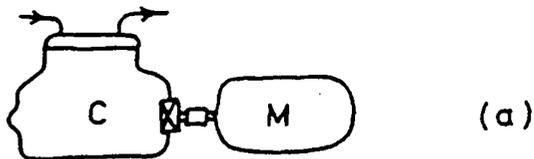
PLUS RAREMENT, ON RENCONTRE DES COMPRESSEURS A PALETTES OU A VIS, ENCORE QUE CES DERNIERS ONT L'AVANTAGE D'ALLIER TAUX DE COMPRESSION ELEVE ET DEBIT IMPORTANT.



L'ASSOCIATION D'UN COMPRESSEUR AVEC UN MOTEUR (GENERALEMENT ELECTRIQUE) PEUT ETRE REALISEE DE TROIS FACONS :

- * GROUPES HERMETIQUES PURS (FAIBLE PUISSANCE)
- * GROUPES SEMI-HERMETIQUES (MOYENNES PUISSANCES)
- * GROUPES OUVERTS (FORTE PUISSANCE).

LES GROUPES OUVERTS PRESENTENT L'AVANTAGE DE POUVOIR ETRE FACILEMENT REPARES. C'EST CE TYPE DE MONTAGE QUE L'ON RENCONTRERA AVEC DES MOTEURS THERMIQUES (SAUF CAS SPECIAUX : VOIR PAGE 15).



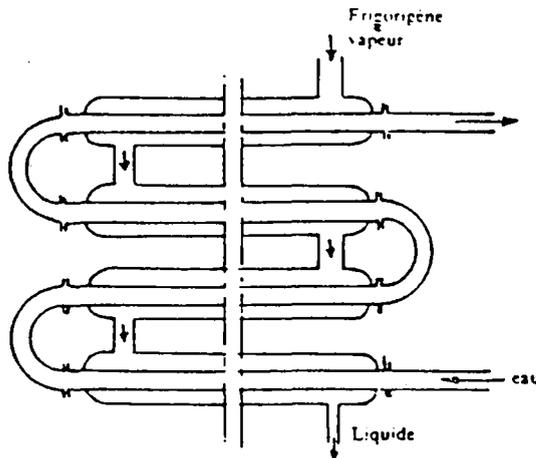
CONDENSEURS

POUR EVITER UNE TEMPERATURE DE CONDENSATION ELEVEE, CE QUI NUIRAIT AUX PERFORMANCES, ON UTILISE LE PLUS SOUVENT DANS LES PAYS CHAUDS, DES CONDENSEURS REFROIDIS A L'EAU.

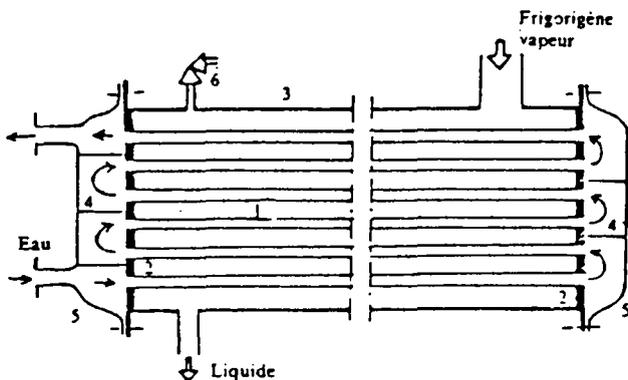
SI CETTE EAU EST DISPONIBLE EN ABONDANCE, ON LA REJETTERA A L'EGOUT OU A LA RIVIERE; DANS LE CAS CONTRAIRE, ON LA RECYCLERA APRES L'AVOIR REFROIDIE (VOIR PLUS LOIN).

LES TROIS TYPES PRINCIPAUX DE CONDENSEURS A EAU SONT ILLUSTRÉS A LA PAGE SUIVANTE :

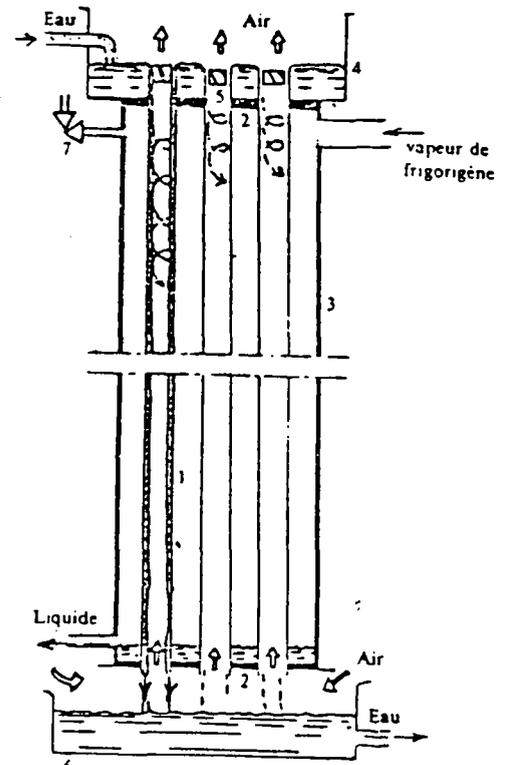
CONDENSEUR A TUBES CONCENTRIQUES ET A CONTRE-COURANT : ASSEZ ENCOMBRANT; PRESENTE L'AVANTAGE DE POUVOIR ETRE FACILEMENT NETTOYE (EAUX SALES !).



CONDENSEUR MULTITUBULAIRE HORIZONTAL : L'EAU CIRCULE A L'INTERIEUR DES TUBES, EN PLUSIEURS "PASSES"; LE NETTOYAGE DE CES APPAREILS, GENERALEMENT TRES COMPACTS, EST AISE.

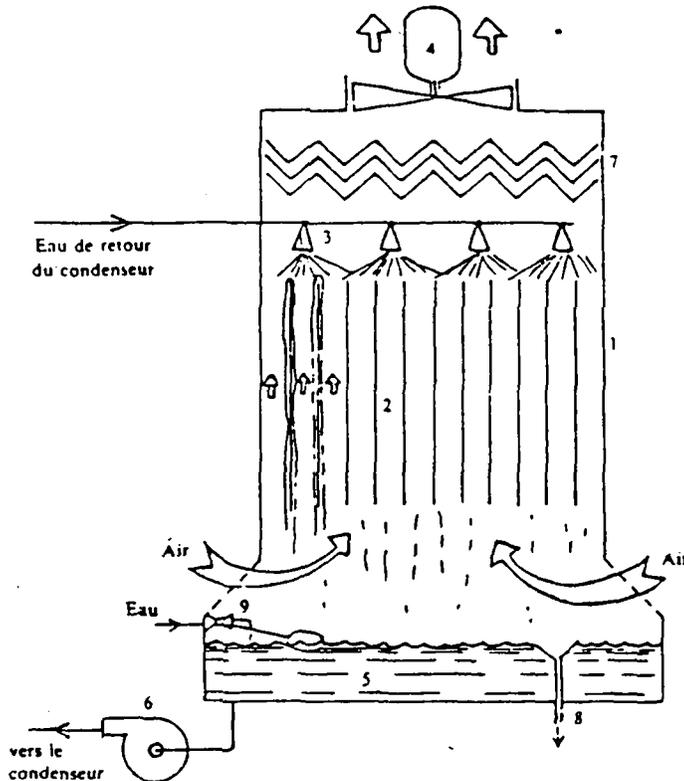


CONDENSEUR MULTITUBULAIRE VERTICAL : L'EAU CIRCULE PAR GRAVITE, EN COUCHE MINCE, A L'INTERIEUR DE TUBES LARGEMENT OUVERTS; CES ECHANGEURS PRESENTENT L'AVANTAGE DE POUVOIR ETRE ENTRETENUS SANS DEVOIR METTRE L'INSTALLATION HORS SERVICE.



LA FIGURE SUIVANTE MONTRE UN EXEMPLE DE REFRIGERANT ATMOSPHERIQUE PERMETTANT DE RECUPERER L'EAU, SOUVENT RARE ET CHERE DANS LES PAYS CHAUDS.

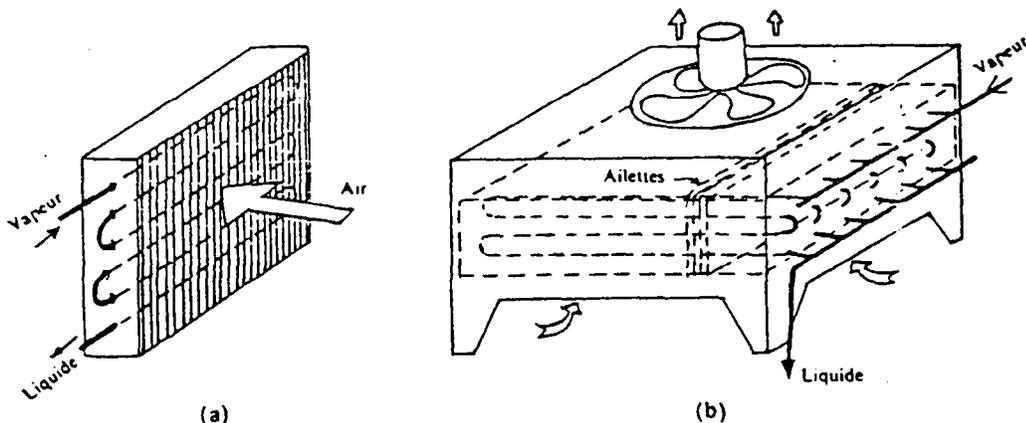
LE REFROIDISSEMENT EST RENDU PLUS ENERGIQUE PAR EVAPORATION D'UNE PARTIE DE CETTE EAU, SELON LE MEME PRINCIPE QUE CELUI VU A LA PAGE -9-.



LES CONDENSEURS REFROIDIS PAR AIR SONT MOINS UTILISES POUR LES RAISONS DEJA MENTIONNEES.

ON PEUT CEPENDANT LES EMPLOYER POUR DES INSTALLATIONS DE TRES FAIBLE PUISSANCE (APPLICATIONS MENAGERES P.EX.) OU LORSQUE L'EAU FAIT TOTALEMENT DEFAUT.

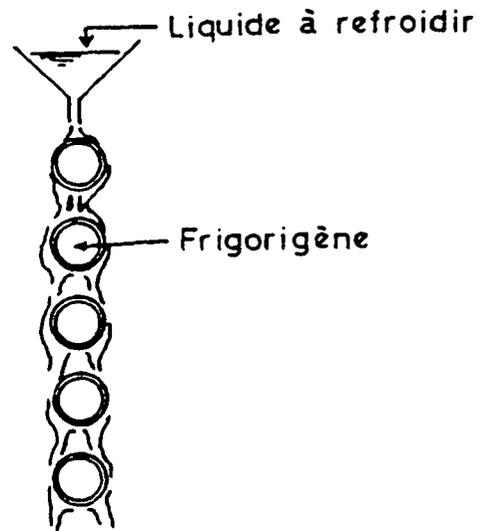
ILS SE PRESENTENT ALORS SOUS LES ASPECTS DES FIGURES SUIVANTES. ASSEZ ENCOMBRANTS, ILS SONT D'UN ENTRETIEN QUASI-NUL.



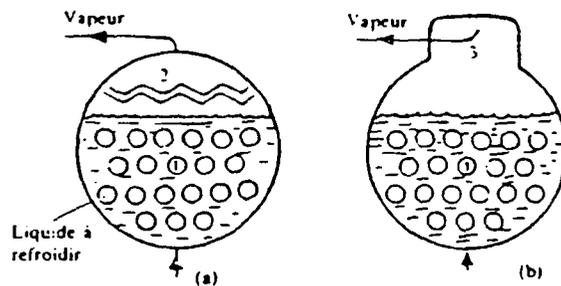
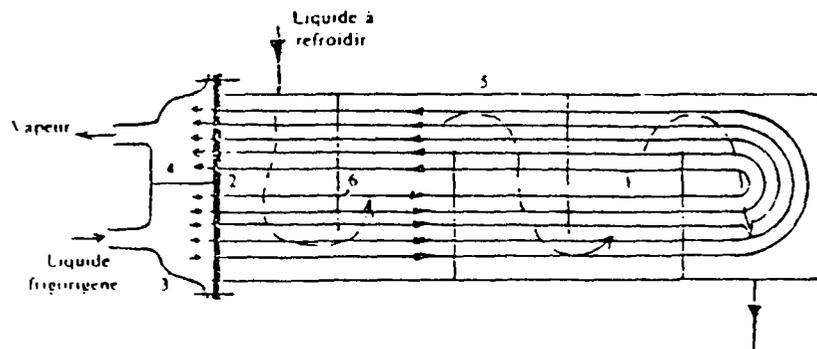
EVAPORATEURS

LES EVAPORATEURS DIFFERENT PAR LEUR CONCEPTION SELON QUE LE MILIEU A REFROIDIR EST LIQUIDE, GAZEUX (AIR), OU SOLIDE.

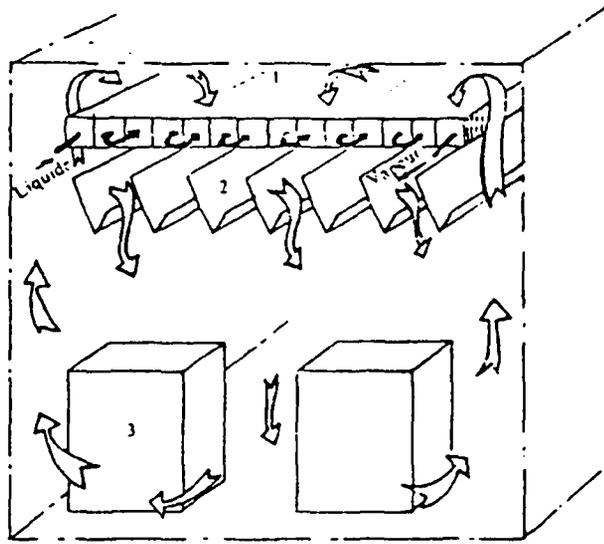
DANS LE PREMIER CAS, ON RENCONTRE DES EVAPORATEURS IMMERGES, A RUISSELLEMENT (CI-DESSOUS),



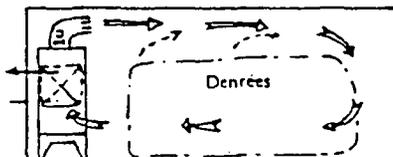
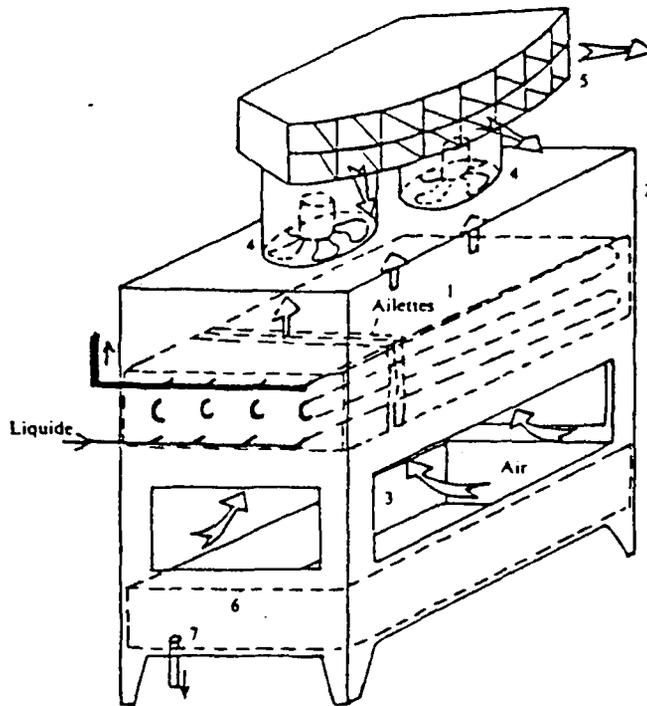
OU MULTITUBULAIRES :



POUR REFROIDIR DE L'AIR, ON UTILISERA LA CONVECTION NATURELLE :



OU A CONVECTION FORCEE :



- Circulation d'air directe
- - -> Circulation d'air induite par la circulation directe

CHAMBRES FROIDES

LE MAINTIEN A BASSE TEMPERATURE DU CONTENU D'UNE CHAMBRE FROIDE EXIGE DE L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE QU'ELLE RETIRE EN PERMANENCE DE CETTE ENCEINTE, LE DEGAGEMENT DE CHALEUR QUI S'Y PRODUIT.

L'ORIGINE DE CE DEGAGEMENT DE CHALEUR SE TROUVE DANS :

- 1 - LE REFROIDISSEMENT DES DENREES INTRODUITES A LA TEMPERATURE AMBIANTE ;
- 2 - LE METABOLISME DES PRODUITS VIVANTS ("RESPIRATION") ;
- 3 - L'ISOLATION IMPARFAITE DE L'ENCEINTE, QUI EST LE SIEGE DE TRANSFERTS DE CHALEUR AVEC L'EXTERIEUR, PAR CONVECTION, CONDUCTION, ET RAYONNEMENT ;
- 4 - LE RENOUVELLEMENT D'AIR DANS LA CHAMBRE, QUE CELUI-CI SOIT VOULU OU NON (ENCEINTE NON ETANCHE, OUVERTURE DES PORTES) ;
- 5 - LA PRESENCE EVENTUELLE D'ACCESSOIRES (ECLAIRAGE, VENTILATEURS) OU DE PERSONNEL.

L'ESTIMATION DE TOUTES CES QUANTITES DE CHALEUR, ASSOCIEE AUX DONNEES DIMENSIONNELLES DE LA CHAMBRE, CONDUIT AU CHOIX DE LA PUISSANCE FRIGORIFIQUE A INSTALLER.

ISOLATION THERMIQUE

EN CLIMAT CHAUD, LE POSTE "ISOLATION" EST PREPONDERANT.

UNE ISOLATION CONVENTIONNELLE SE COMPOSE TRADITIONNELLEMENT DE TROIS ELEMENTS ; EN PARTANT DE L'EXTERIEUR VERS L'INTERIEUR, ON RENCONTRE :

- 1 - UN ECRAN ANTI-VAPEUR, QUI EMPECHE L'HUMIDITE EXTERIEURE DE PENETRER DANS L'ISOLANT, CE QUI DIMINUERAIT SON EFFICACITE. LA FACE EXTERIEURE DE CETTE PAROI DEVRA ETRE REFLECHISSANTE OU DE COULEUR CLAIRES, POUR ATTENUER LES EFFETS DU SOLEIL ;
- 2 - UN MATERIAU ISOLANT, QUI FREINE LE TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION ENTRE L'INTERIEUR ET L'EXTERIEUR ;
- 3 - UN REVETEMENT INTERIEUR DE PROTECTION, NON IMPERMEABLE, QUI EMPECHE LA DETERIORATION DU MATERIAU ISOLANT, SOUVENT FRAGILE.

ENFIN, ON NE NEGLIGERA PAS D'ISOLER EGALEMENT LE SOL DE LA CHAMBRE FROIDE.

EMPLOI DU FROID

CHAINE DU FROID

ON APPELLE "CHAINE DU FROID" L'ENSEMBLE DES DIFFERENTS EQUIPEMENTS FRIGORIFIQUES DESTINES A TRAITER OU STOCKER LES DENREES, DE LA PRODUCTION A LA CONSOMMATION.

UN EXEMPLE DE CHAINE EST DONNE CI-APRES :

DENREE RECOLTEE
↓
TRAITEMENT SUR PLACE
↓
TRANSPORT PAR ROUTE, FER
↓
TRAITEMENT EN VUE DU STOCKAGE
↓
ENTREPOT DE STOCKAGE (PRODUCTEUR)
↓
TRANSPORT PAR ROUTE, FER, MER, AIR
↓
(RETRAITEMENT ET) STOCKAGE (GROSSISTE)
↓
TRANSPORT PAR ROUTE, FER
↓
STOCKAGE (DETAILLANT)
↓
STOCKAGE (CONSOMMATEUR)
↓
CONSOMMATION

LA CHAINE DU FROID PEUT PRENDRE D'AUTRES CONFIGURATIONS ET CERTAINES DE SES ETAPES PEUVENT S'AVERER INUTILES, SELON LE TYPE DE DENREE CONSIDEREE, LE MARCHE VISE, SA LOCALISATION, ETC...

UNE FOIS DEFINIE, LA COHERENCE DE CETTE CHAINE EST CELLE DE SON MOINDRE MAILLON !...

JUSTIFICATION DU FROID

DANS LA PLUPART DES PAYS AFRICAINS, ON PEUT DISTINGUER AU MOINS TROIS MARCHES : LOCAL, INTERIEUR, EXPORTATION.

A L'ECHELLE DU VILLAGE, LES PRODUITS SONT SOUVENT RECOLTES, ACHEMINES, VENDUS ET CONSOMMES LE JOUR MEME ET NE SUBISSENT PAS OU PEU DE DEGRADATIONS.

LA PREOCCUPATION ESSENTIELLE EST DE MAINTENIR UN PRIX PEU ELEVE. LES EXPLOITATIONS SONT PETITES ET VARIEES, DE SORTE QUE LES BESOINS SONT SATISFAITS AVEC DES PRODUITS DIFFERENTS AU COURS DES SAISONS. LA REFRIGERATION N'EST DONC PAS TOUJOURS INDISPENSABLE, MEME POUR LES PRODUITS FRAGILES A DUREE DE CONSERVATION TRES FAIBLE, QUI ATTENDRONT SUR LA PLANTE D'ETRE RECOLTES.

PAR CONTRE, LA PRESERVATION DE DENREES SAISONNIERES RICHES EN HYDRATES DE CARBONE ET EN PROTEINES (POMMES DE TERRE, CEREALES) PEUT JUSTIFIER L'EMPLOI DU FROID POUR LE STOCKAGE.

LE TRANSPORT VERS LES VILLES PLUS ELOIGNEES FAIT PARTIE D'UNE AUTRE CHAINE. LE TEMPS NECESSAIRE POUR ATTEINDRE LA VILLE ET LA DISPONIBILITE EN SUBSTITUTS POSSIBLES DE LA DENREE CONSIDEREE INFLUENCERONT LE PRIX PAYE ET JUSTIFIERONT EVENTUELLEMENT ECONOMIQUEMENT L'EMPLOI DU FROID.

DANS LE CAS DES MARCHES INTERNATIONAUX, LES PRIX SONT FIXES PAR L'OFFRE ET LA DEMANDE ET INCLUENT PRESQU'AUTOMATIQUEMENT LE COUT DU TRAITEMENT FRIGORIFIQUE.

POUR LES FRUITS ET LEGUMES, DENREES DE PRIX UNITAIRE FAIBLE ET DE DUREE DE CONSERVATION REDUITE, LE COUT DE L'EQUIPEMENT FRIGORIFIQUE RAPPORTE A L'UNITE DE PRODUIT S'AVERE TRES ELEVE.

C'EST POURQUOI L'EMPLOI DU FROID NE SE JUSTIFIERA PAS A L'ECHELLE LOCALE, MAIS BIEN POUR DES DENREES PRODUITES A CONTRE-SAISON PAR RAPPORT AUX PAYS TEMPERES ET ENVOYEEES SUR LE MARCHE INTERNATIONAL.

D'AUTRE PART, LA RENTABILITE N'EST PAS LE SEUL CRITERE A CONSIDERER. LA COMMODITE QUI RESULTE DE L'EMPLOI DU FROID EST UN AVANTAGE DIFFICILEMENT CHIFFRABLE, MAIS REEL, DU POINT DE VUE FACILITE D'APPROVISIONNEMENT.

IMPLANTATION DU FROID

TOUTE REALISATION D'UN PLAN D'EQUIPEMENT FRIGORIFIQUE, C'EST-A-DIRE DE L'IMPLANTATION D'UNE CHAINE DU FROID DOIT ETRE PRECEDEE D'UNE ETUDE PREALABLE ET APPROFONDIE DES DONNEES LOCALES : TYPES DE DENREES, PRODUCTION, CONSOMMATION, COMMERCE INTERIEUR ET EXTERIEUR, INDUSTRIES DE TRANSFORMATION, ETC...

LES PARAMETRES TECHNIQUES DEVRONT EGALEMENT ETRE CONSIDERES : POSSIBILITES D'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE ET EN EAU, VOIES DE COMMUNICATION, DISPONIBILITE EN MAIN D'OEUVRE D'ENTRETIEN, EN MATERIELS ET MATERIAUX, DONNEES CONCERNANT LE CLIMAT, ENTRE AUTRES.

LES CELLULES PHOTOVOLTAIQUES

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT ET APPLICATIONS

R. MERTENS.

Laboratoire Electronique - Systèmes - Automation -
Technologie.

K.U. LEUVEN
Kardinaal Mercierlaan, 94

3030 HEVERLEE.

INTRODUCTION

L'énergie solaire peut être convertie en électricité par la méthode thermodynamique ou par la méthode photovoltaïque. La conversion photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité par des cellules solaires. La figure 1 montre une cellule solaire au silicium typique. Cette photopile développe sous l'influence d'un flux solaire une force électromotrice d'environ un demi-volt. Ces cellules ont normalement un diamètre de quatre pouces et produisent sous ensoleillement des courants de l'ordre de deux ampères. La grille métallique est typique ; elle n'est pas transparente et sa fonction est de contacter la cellule. Des tensions plus élevées sont obtenues par la mise en série de plusieurs cellules dans un panneau. Un panneau typique développe une tension de 15 V, et est composé de 36 photopiles mises en série. Il faut noter que le fonctionnement d'un panneau photovoltaïque est possible sans système de poursuite solaire, donc avec un système complètement statique. Les cellules solaires convertissent aussi bien le rayonnement diffus que le rayonnement solaire direct. Le rendement de cette conversion est de l'ordre de 12 à 15 %, ce qui veut dire qu'entre 12 et 15 % de l'énergie incidente est transformée en électricité.

La mise en série des cellules dans un panneau se fait par soudage, en connectant la face avant d'une cellule avec la face arrière de la cellule suivante. Ensuite, les photopiles sont encapsulées dans une résine, normalement au silicone, et mises sous verre pour obtenir une étanchéité parfaite. La fiabilité d'un panneau photovoltaïque est très importante, parce qu'on doit être capable d'amortir les coûts d'investissements qui sont très élevés. Pour l'instant, on donne des garanties d'au moins cinq ans, mais on espère d'arriver à des durées de vie de vingt ans, dans quelques années.

Le principe de fonctionnement d'une photopile est simple et peut être expliqué à l'aide de la figure 2. La photopile est composée d'un matériel semiconducteur qui est normalement le silicium. Elle consiste en un substrat avec une épaisseur de 200 à 300 microns de type p, donc avec des impuretés comme le bore, et d'une couche mince de type n, avec une épaisseur de quelques dixièmes de microns. Type n implique des impuretés comme le phosphore. La lumière est absorbée et va créer des électrons qui sont collectés par la jonction ; ensuite le courant sort par les contacts. Puisque le métal n'est pas transparent, il faut utiliser cette grille typique. La photopile est couverte d'une couche antireflet qui diminue la réflexion de la lumière incidente.

La caractéristique I-V (courant-tension) a une forme illustrée sur la figure 3. Il faut noter qu'il s'agit toujours d'un courant continu. Comme la puissance électrique délivrée par le panneau est proportionnelle au produit $I \times V$, le point de fonctionnement doit être choisi tel que la surface rectangulaire qu'on peut inscrire dans la caractéristique soit maximale.

L'inconvénient principal de la conversion photovoltaïque est le coût élevé d'investissement. Le prix s'exprime normalement en F.B. par watt crête. La puissance crête est la puissance produite par le panneau sous des conditions de rayonnement solaire normalisé. Le rayonnement normalisé correspond au flux solaire maximal disponible à la surface de la terre. En réalité le soleil ne brille pas toujours avec la même intensité et la puissance moyenne produite par le panneau dépendra des données climatologiques de l'endroit spécifique d'installation. Pour la plupart des pays du tiers-monde, la puissance continue moyenne fournie par le panneau sera à peu près dix pourcent de la puissance crête. Le prix actuel des panneaux photovoltaïques est de l'ordre de 400 F.B. par watt crête. Ceci correspond pour les pays ensoleillés à des prix par KWh de l'ordre de 20 F.B. Ce prix très élevé ne tient pas compte des coûts de stockage d'énergie et des frais d'installation. Il en résulte que les systèmes dans lesquels l'utilisation des cellules solaires est économique se limitent aujourd'hui aux installations éloignées d'un réseau électrique.

RECHERCHES SCIENTIFIQUES

Pour diminuer le prix élevé des systèmes photovoltaïques, on applique la stratégie suivante .

1. On essaie de développer des matériaux semiconducteurs de qualité solaire. Aujourd'hui le silicium monocristallin coûte à peu près 100 FB/plaquette, ce qui correspond à peu près à un quart du prix total du panneau. D'autre part, on a constaté qu'on peut fabriquer des cellules solaires à partir de silicium moins pur et pas tout à fait monocristallin. Ce matériel semicristallin coûte naturellement moins cher que le silicium monocristallin. Aujourd'hui, plusieurs fabricants se sont lancés dans la fabrication du silicium semicristallin, et on peut prévoir qu'à la fin des années 80, ce silicium ne coûtera pas plus que dix pourcent du prix actuel.

Une autre solution est d'essayer de développer d'autres matériaux comme le silicium amorphe, le sulphure de cadmium ou l'arsénure de gallium. Ces matériaux ont l'avantage d'avoir un coefficient d'absorption beaucoup plus élevé que celui du silicium monocristallin ou polycristallin. Il en résulte que des cellules en couche mince avec une épaisseur de quelques microns peuvent absorber tous les rayons utiles du spectre solaire, tandis qu'avec le silicium monocristallin, il faut au moins quelques dizaines de microns. Comme ces structures minces utilisent moins de matériel semiconducteur, ils peuvent en principe, être fabriqués à un prix inférieur. D'autre part, il faut réaliser qu'aujourd'hui le rendement de toutes ces cellules minces a été inférieur à dix pourcent, et que leur stabilité en fonction du temps n'est pas excellente.

2. Un deuxième effort de recherche est le développement des nouvelles techniques de fabrication des cellules, d'assemblage et d'encapsulation. Il y a quelques années, les techniques de fabrication des cellules solaires étaient très complexes, et empruntées à la fabrication d'autres dispositifs semiconducteurs, comme les circuits intégrés. Par exemple, on employait l'évaporation et la photolithographie pour le dépôt des électrodes métalliques. L'évaporation sous vide est un procédé cher et peu efficace. Maintenant les fabricants des cellules solaires commencent de plus en plus à utiliser la sérigraphie. Selon cette méthode, on imprime, sous pression atmosphérique, à travers un écran des pâtes métalliques qui forment un contact chimique avec le semiconducteur. Il est clair qu'un tel procédé est beaucoup plus simple que l'évaporation sous vide, et se prête plus facilement à l'automatisation, ce qui donne lieu à des prix de fabrication plus bas.
3. La troisième activité de recherches ayant comme but la réduction du prix des systèmes photovoltaïques, est le remplacement des cellules à coût élevé par des concentrateurs optiques de coût réduit. Ceci est possible parce que les cellules solaires peuvent fonctionner d'une manière efficace sous un flux solaire concentré. Comme concentrateur on peut utiliser des lentilles de Fresnel linéaires ou circulaires ou des miroirs. L'utilisation de la concentration introduit quand même quelques inconvénients. Tout d'abord, le flux direct peut être concentré ; il en résulte que l'usage des concentrateurs est limité aux régions à ciel serein. Deuxièmement, si le taux de concentration est supérieur à dix, il faut suivre le mouvement journalier du soleil, ce qui nécessite un système de poursuite solaire avec tous les problèmes de fiabilité et d'entretien.

Tous les efforts de recherche doivent finalement aboutir à des prix plus bas des panneaux photovoltaïques. La figure 4 nous montre l'estimation de l'évolution des prix des panneaux photovoltaïques, exprimée en dollar par Watt crête, en fonction du temps. Il est évident que le prix va diminuer sérieusement au cours des années prochaines. Encore plus importante est l'évolution du prix par KWh indiqué dans le tableau suivant pour les données climatologiques de la Belgique et aussi pour un endroit à ciel serein.

<u>Prix FB par Watt</u>					
<u>crête</u>	1.000	400	100	40	10
année	1975	1979	1985	1995	2000
<u>Prix FB par KWh</u>					
Belgique	81.5	32.6	8.15	3.26	0.82
un endroit à ciel serein	40.75	16.3	4.08	1.63	0.41

APPLICATIONS

Aujourd'hui le prix du KWh photovoltaïque est de l'ordre de 15 F.B. dans les pays ensoleillés. Il en résulte qu'on doit se limiter aux applications dans lesquelles on utilise normalement des piles sèches ou des petits groupes diesel, qui eux aussi produisent des KWh très chers.

En ce qui concerne les applications, on distingue tout d'abord, les systèmes avec une puissance inférieure à cent Watts. Ces applications sont déjà économiques aujourd'hui. Il s'agit ici d'applications dans des endroits où il n'y a pas de réseau électrique et, où pour des raisons de fiabilité et de sécurité, on ne peut pas utiliser le réseau. Par exemple : la signalisation des aéroports, les bouées de mer, les poteaux téléphoniques, les plateformes pétrolières, les bateaux à voile et les postes de télévision. Cette dernière application est très importante pour la télévision scolaire dans les pays en voie de développement. Ensuite, on distingue les applications intermédiaires avec une puissance de l'ordre d'un kilowatt. Le but est de remplacer les moteurs Diesel. Par exemple, les stations de pompage d'eau pour l'eau potable ou pour l'irrigation. Cette application est très intéressante parce que le pompage d'eau se fait surtout dans les régions très ensoleillées, et elle ne nécessite pas d'accumulateurs : le stockage se fait dans un réservoir d'eau sous forme d'énergie mécanique. La figure 5 montre une comparaison entre le prix par KWh produit par un panneau photovoltaïque et un générateur Diesel. La figure montre clairement que si la consommation électrique est inférieure à 20.000 KWh par an, la solution photovoltaïque est plus économique que le système à moteur Diesel.

Cette figure est le résultat d'un calcul d'ordre de grandeur ; il est parfois très difficile d'estimer les coûts exacts d'un générateur Diesel, car ils dépendent des circonstances locales, comme les frais de transport du combustible. La figure 6 donne la comparaison entre le prix du KWh solaire et celui du réseau en fonction de la distance entre le réseau et le lieu d'application. On peut conclure que la solution solaire est économique si on se trouve dans un endroit éloigné de plus de seize kilomètres du réseau, et si la consommation annuelle est inférieure à dix mille KWh.

SYSTEMES AVEC ACCUMULATEURS

La majorité des systèmes photovoltaïques utilisent des batteries pour le stockage. Le système de base est illustré par la figure 7. Le module est raccordé directement à l'accumulateur, mais une diode anti-retour a été prévue. La fonction de celle-ci est d'empêcher la décharge de l'accumulateur à travers le module pendant la nuit ou pendant les heures d'ensoleillement faible. Souvent, il est nécessaire d'incorporer un limiteur de charge qui a comme but de prévenir la surcharge de la batterie. La surcharge des batteries provoque l'électrolyse du liquide, qui se manifeste par un dégazage. Elle entraîne un vieillissement prématuré de l'élément et une périodicité de maintenance plus brève. Un limiteur de charge est d'autant plus nécessaire que la capacité de batterie est faible pour un ensoleillement local important. La figure 8 montre pourquoi il est possible de raccorder un panneau photovoltaïque directement à une batterie. La raison est que les points optimaux pour tous les niveaux d'éclairage sont à peu près situés sur une ligne verticale. La position de cette ligne dépend du nombre des photopiles en série ; si ce nombre est de l'ordre de 35 à 40, la valeur de la tension globale correspondra à la tension d'un accu de 12 V nominal. Il faut quand même se méfier de cette représentation trop simplifiée. En effet, la tension, développée par le panneau, diminue si la température de fonctionnement augmente. Si la température de fonctionnement est supérieure à quatre-vingt degrés, la tension n'est plus suffisante pour charger la batterie si celle-ci est déjà partiellement chargée. Il faut en effet avoir une tension d'environ 15 V pour charger une batterie, avec une tension nominale de 12 V à cause de la résistance interne de la batterie. En outre, le choix des cables dans un système photovoltaïque est important ; il faut toujours utiliser des cables avec une épaisseur suffisante pour limiter la chute de tension. Comme ordre de grandeur, on peut permettre un courant maximal de 3 A par mm² pour une longueur de 10 m. Un autre point très important est le choix des accus. Si on considère des applications avec un stockage saisonnier, les accus de type planté sont préférables parce que les courants de décharge interne sont très faibles : on peut stocker la charge pour plusieurs mois sans pertes importantes.

D'autre part, le nombre des cycles de charge et de décharge est réduit. Pour les applications avec un stockage journalier, le nombre de cycles est très élevé, et il faut utiliser des batteries de type traction. Ces accus peuvent supporter un grand nombre de cycles, même avec une décharge profonde.

Dans certaines applications, il est nécessaire de monter les panneaux en série si l'utilisation se fait par exemple à 24 V. Dans ce cas, (fig. 9), il est important de prévoir une diode anti-retour pour chaque panneau, et une connexion au niveau de 12 V. Le montage en série-parallèle se fait aussi sans problèmes, si on prévoit une diode anti-retour pour chaque panneau.

La fonction des limiteurs de charge est d'empêcher la surcharge de la batterie. Le limiteur le plus simple est la diode Zener (fig. 10 a). Comme la tension de seuil de la diode Zener augmente avec la température, on introduit aussi quelques diodes conventionnelles, fonctionnant en sens direct, pour obtenir une tension globale qui ne dépend pas de la température. Ce schéma simple peut seulement être utilisé dans le cas de petites puissances, inférieures à 10 Watt. Pour des puissances plus élevées, (jusqu'à 100 Watt) on peut utiliser un limiteur avec un transistor de puissance (fig. 10 b). Finalement, pour les grandes puissances, il faut utiliser les limiteurs de série (fig. 10 c). Celui-ci fonctionne comme un commutateur activé par un signal contrôlé par la tension de la batterie. L'avantage de cette solution est que l'énergie ne doit plus être dissipée dans le commutateur.

Pour dimensionner un système photovoltaïque autonome, on commence par le calcul de la consommation électrique, qui égale la puissance multipliée par le temps d'utilisation et par un facteur de sécurité (20 %), et divisé par le rendement des accus (70 %). Si on connaît la consommation, on peut directement calculer le nombre nécessaire de Watts-crêtes. En effet, les Watts-crêtes nécessaires égalent le rapport entre la consommation en Wh/jour, et l'énergie solaire disponible en kWh/m²/jour. Pour cette énergie solaire, il faut en principe utiliser la valeur pour la saison la plus défavorable. En ce qui concerne la capacité des accus, on peut dire que pour tous les endroits avec une latitude inférieure à 20 degrés, 10 jours de stockage sont suffisants. Un exemple typique d'installation avec le stockage en batteries est l'éclairage. Une installation d'éclairage photovoltaïque consiste en une lampe à fluorescence, un convertisseur qui produit une puissance alternative à 24 kHz, à partir de la puissance continue à l'entrée, l'accumulateur, la diode anti-retour, un limiteur de charge et les modules. Considérons le cas d'une lampe de 20 W qui fonctionne trois heures par jour et d'une énergie incidente, disponible dans la saison défavorable, de 4 kWh/m²/jour. La consommation journalière égale 100 Wh/jour. Il en résulte que la puissance crête du panneau est de l'ordre de 25 W (= 100/4). (1) Le prix global de l'installation est de l'ordre de 16.500 F.B (panneau 12.000 F.B, accu 3.000 F.B, convertisseur 1.500 F.B).

(1) Voir p. 8

SYSTEMES SANS BATTERIES

Considérons maintenant le cas d'un système sans batteries, par exemple un système de pompage qui fonctionne seulement lorsqu'il y a du soleil. Dans ce cas, il faut prévoir une diode de protection, sinon les panneaux peuvent être endommagés. Prenons en effet le cas de deux panneaux mis en série (fig. 11 a), et supposons que les bornes sont court-circuitées, ce qui est le cas lorsque le panneau est raccordé directement à un moteur à courant continu, qui ne tourne pas. Si un des modules, par exemple B, a une cellule très partiellement masquée, la tension développée par A se trouve appliquée inversément sur B. Dans ce module, la cellule masquée devra supporter la puissance de toutes les autres cellules des modules A et B. Comme toute cette puissance devra être dissipée dans cette cellule, celle-ci va être surchauffée et le panneau peut être détruit. Il est clair que cette situation devient d'autant plus grave que les panneaux seront nombreux en série. On peut réduire le problème en incorporant des diodes en parallèle. La puissance dissipée dans la cellule partiellement masquée du module B est maintenant égale à seulement la moitié par rapport à la configuration précédente. Un autre point important pour les systèmes avec connection directe entre panneaux et moteur, est le fait qu'il est parfois nécessaire d'incorporer un régulateur (fig. 11 b). En effet, nous avons vu qu'un panneau photovoltaïque débitera seulement sa puissance maximale si la tension aux bornes du panneau est à peu près égale à la valeur optimale de 14 V, ce qui est le cas des systèmes avec batterie. La figure 12 montre des courbes (I-V) pour différents taux d'éclairage. Les points optimaux (courbe 1) et les caractéristiques (I-V) pour une pompe centrifuge (2), et pour une pompe à piston (3). On a aussi indiqué la zone dangereuse, correspondant à la situation de surchauffe (4). Si le panneau fonctionne dans cette zone, la cellule la plus faible devra dissiper toute la puissance développée par les autres cellules. La pompe centrifuge est caractérisée par une courbe (I-V) qui correspond assez bien à la courbe optimale. Il en résulte qu'une pompe centrifuge peut être directement raccordée aux panneaux photovoltaïques. Ceci n'est pas le cas pour une pompe à piston. Elle a une courbe (I-V) qui, non seulement ne correspond absolument pas à la courbe optimale, mais qui passe même par la zone dangereuse du panneau. Dans le cas d'une pompe à piston, il faut absolument placer un régulateur entre le panneau et le moteur. Ceci résulte du fait qu'une pompe à piston est une machine à couple constant. Le système peut seulement démarrer si le courant du panneau arrive à un seuil donné. La fonction du régulateur est de transformer la tension du panneau en courant. Comme il s'agit ici des systèmes à courant continu, un transformateur classique ne peut pas être utilisé, et il peut employer des systèmes à commutateur. La figure 13 donne une comparaison entre les performances des différentes pompes photovoltaïques à courant continu. Le rendement global qui est indiqué, est défini comme le rapport entre la puissance mécanique, produite par la pompe, et la puissance solaire incidente. Le rendement le plus élevé est obtenu par le système sans batteries et avec une pompe à piston, donc avec un adaptateur.

La pompe centrifuge, qui ne nécessite pas d'adaptateur, a un rendement plus faible, mais offre l'avantage d'une extrême simplicité et fiabilité. Si on considère les systèmes à pompage avec batteries, une pompe à piston est préférable à cause du rendement qui est nettement plus élevé. La figure 14 donne les rendements des différents éléments pour un système de pompage avec régulateur. Il est intéressant de noter qu'un KWh d'énergie disponible à la pompe permet de pomper 12 m³ d'eau à une profondeur de 30 m. Dans un pays ensoleillé, un m² de panneaux peut pomper 1.100 m³, à une profondeur de 30 m par année.

CONCLUSIONS

Le photovoltaïque a un avenir énergétique très important. Pour les pays en voie de développement, il sera encore plus important, à cause du niveau d'ensoleillement et des besoins en électricité décentralisée dans ces pays.

Les efforts R et D vont certainement aboutir à une réduction importante du prix par KW installé. On peut prévoir que dans quelques années, le photovoltaïque sera compétitif avec le générateur diesel pour toutes les applications décentralisées.

(1) (v. p. 6)

Ces calculs tiennent compte

- d'un facteur de sécurité
- du rendement des batteries
- de l'intensité maximale du soleil évaluée à 1 kW/m².

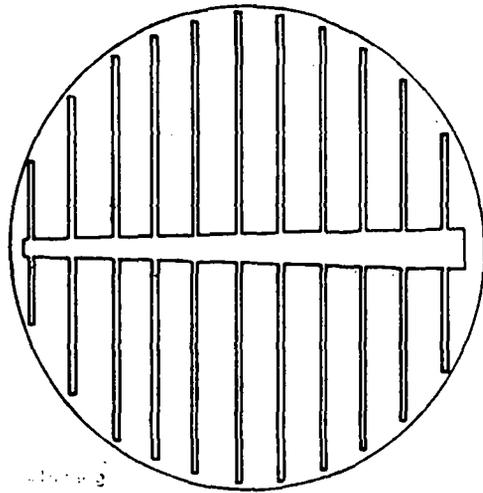


Fig. 1

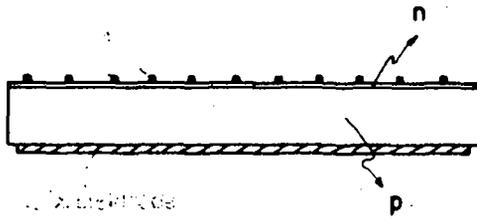


Fig 1: cellule solaire au silicium

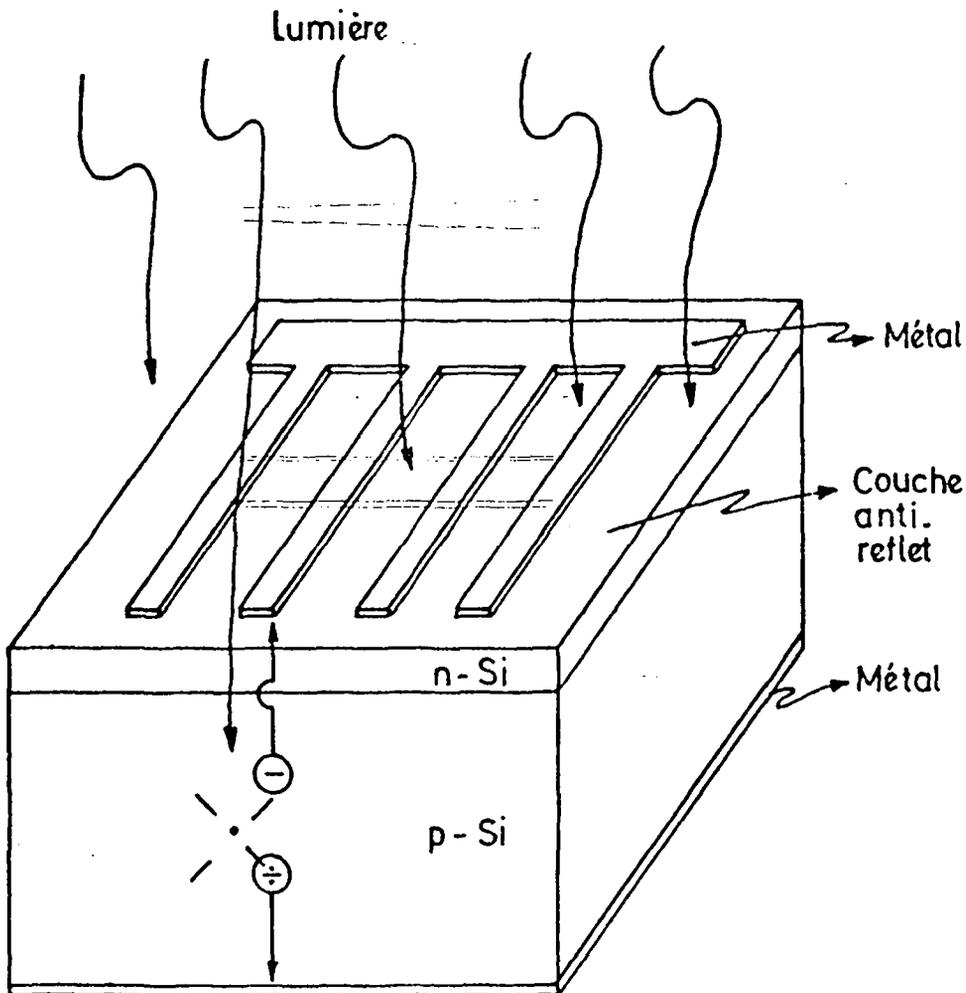


Fig 2: une cellule solaire sous illumination

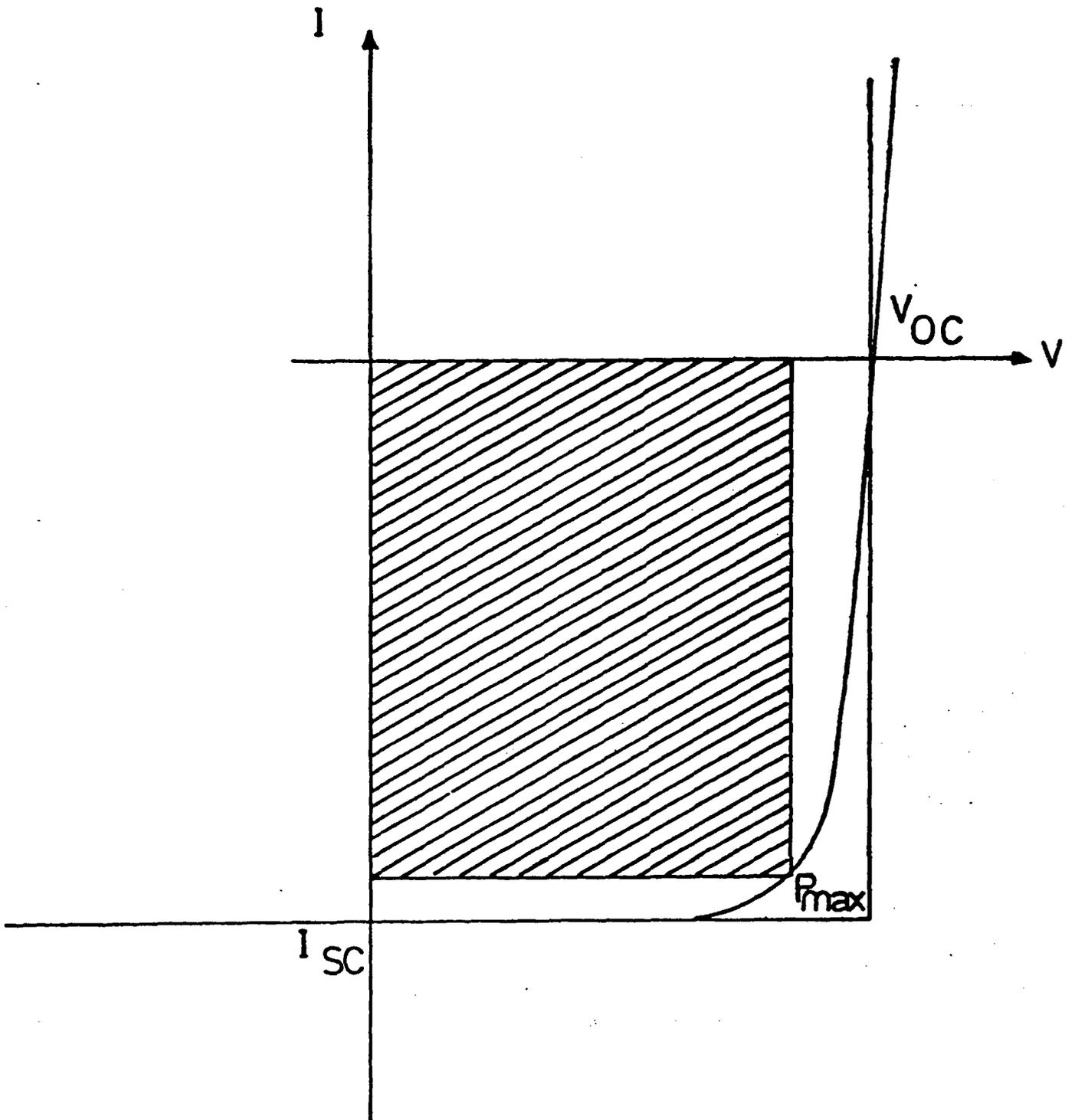


Fig. 3: Caractéristique I - V d'une cellule solaire

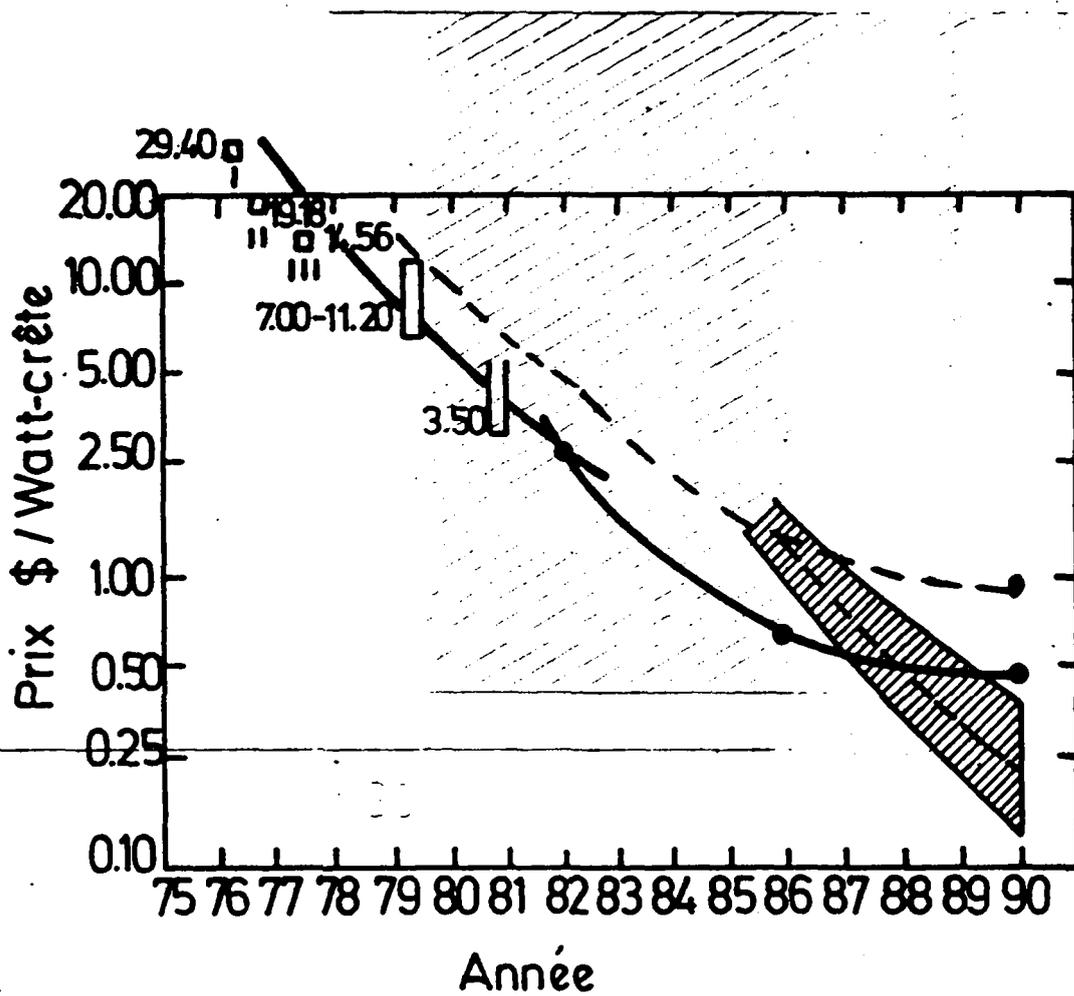


Fig. 4: Evolution du prix par Watt-crete

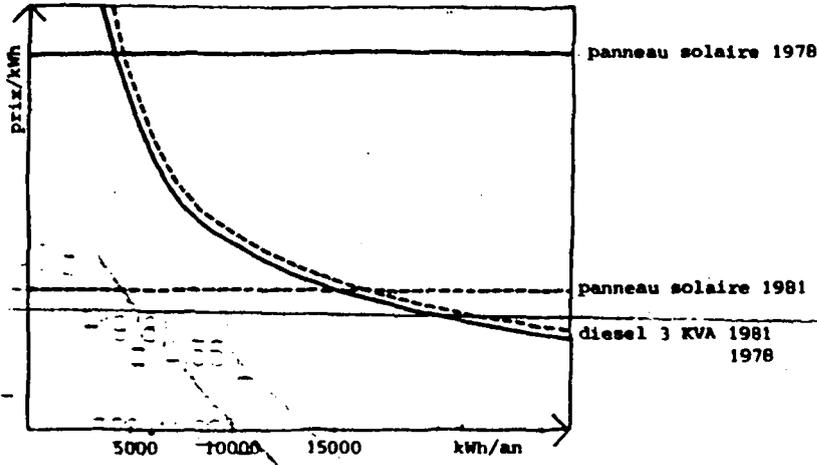


Fig 5

Comparaison entre un panneau solaire et un moteur diesel.

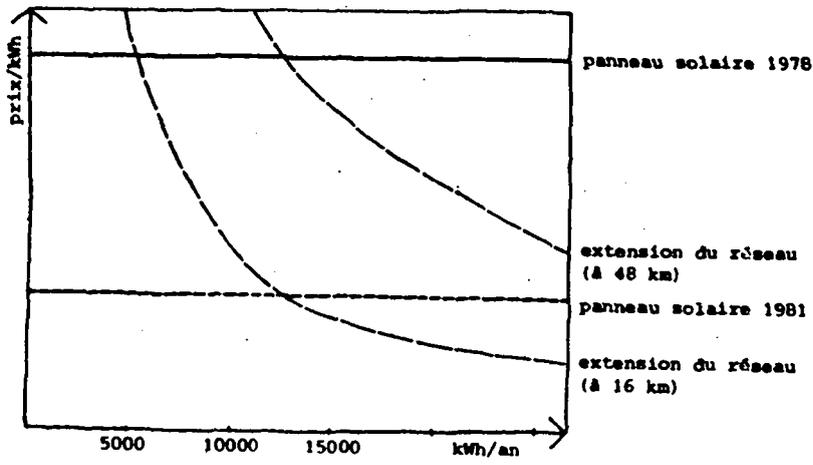


Fig 6:

Comparaison entre les panneaux solaires et une extension du réseau électrique.

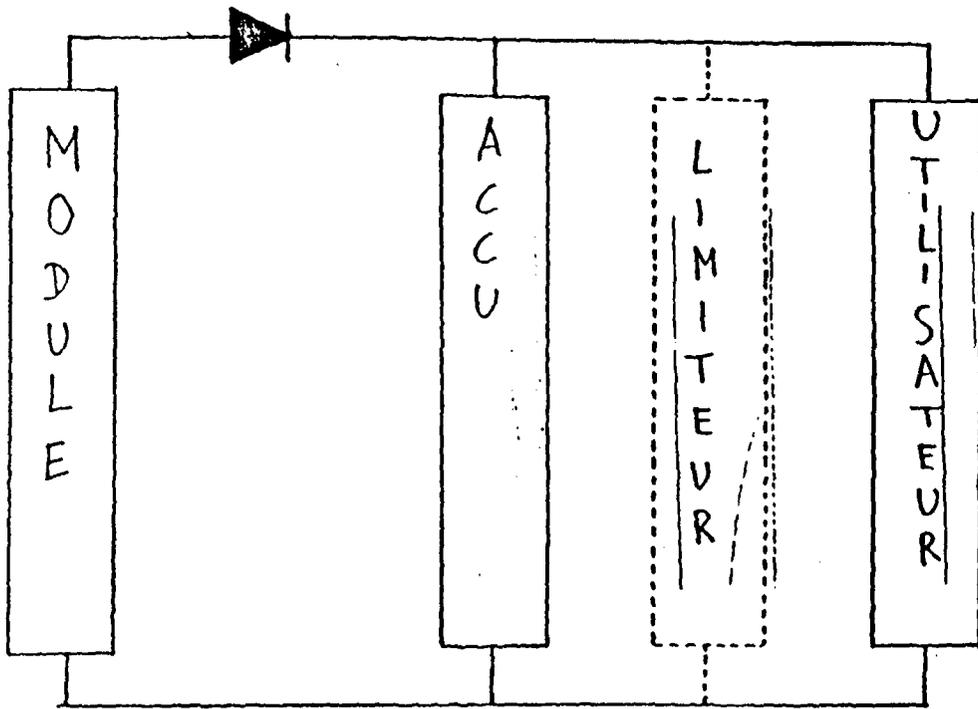


Fig 7 SYSTEME AVEC ACCU

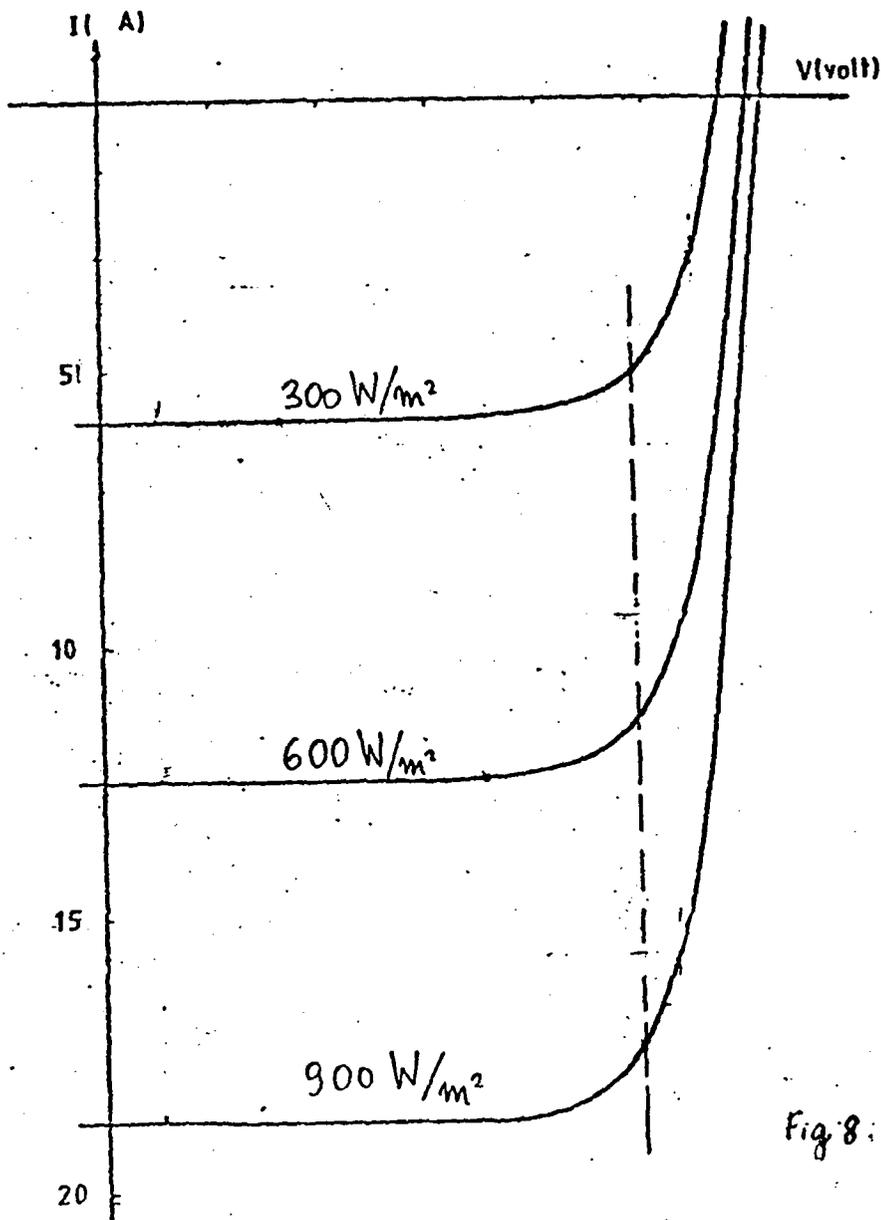


Fig 8: Caractéristique (I-V) sous illumination

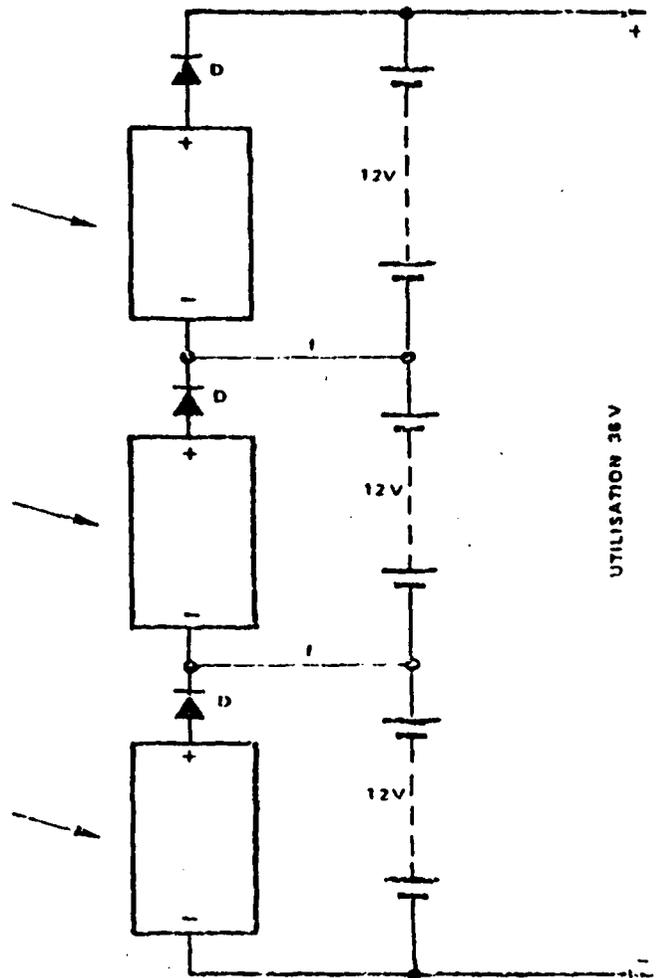
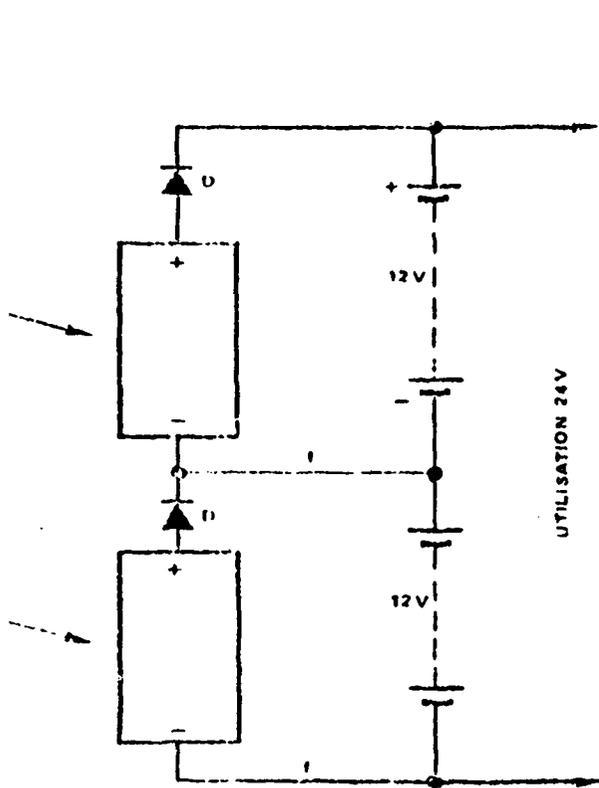
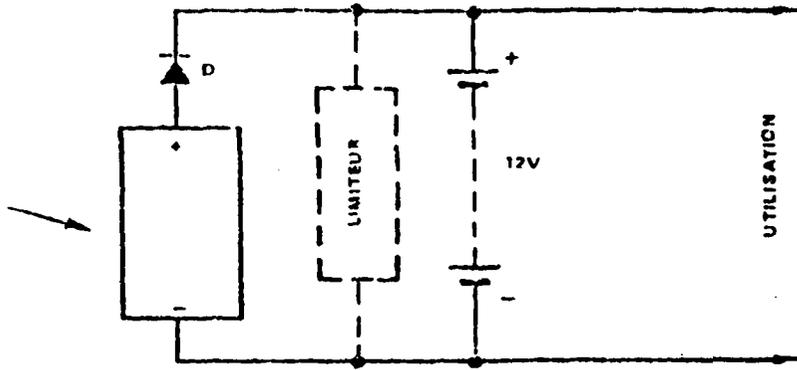
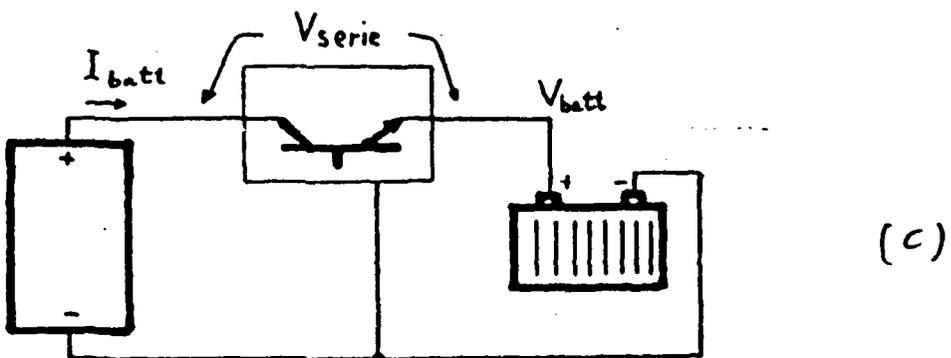
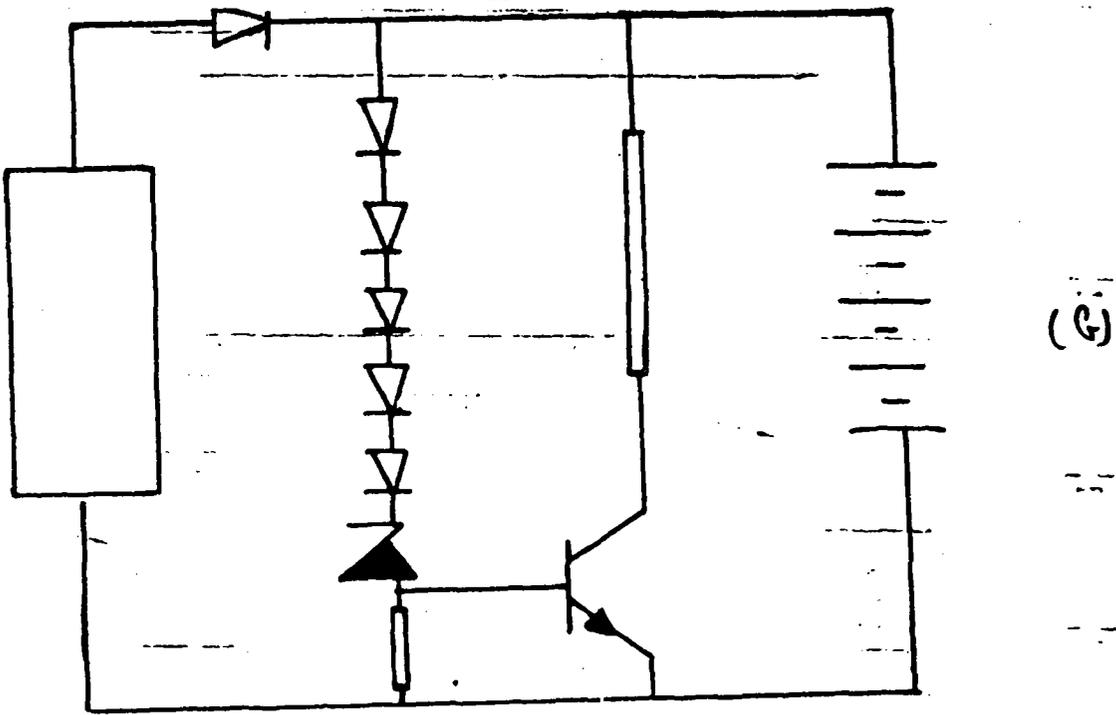
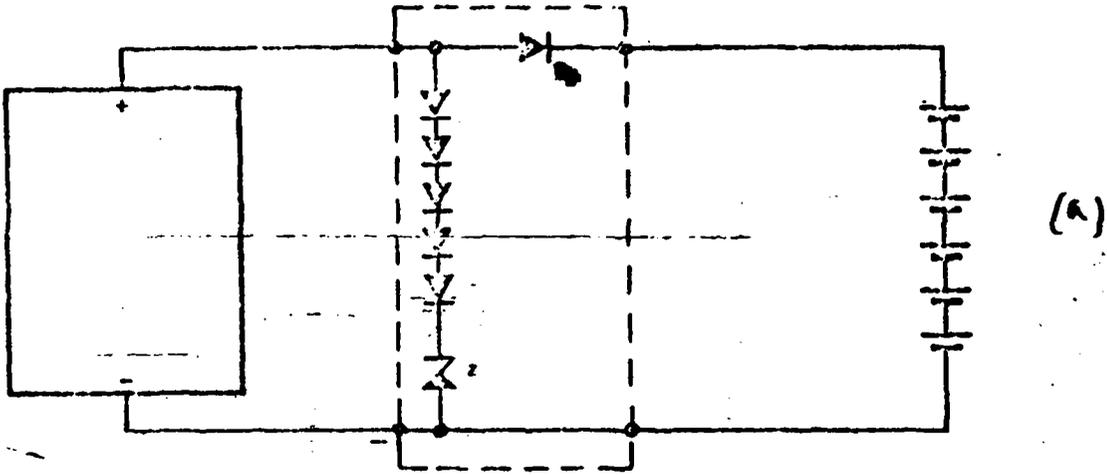
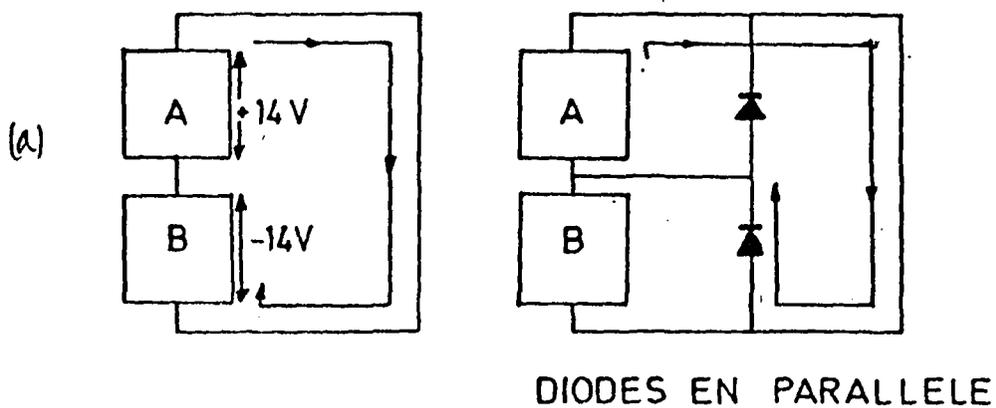


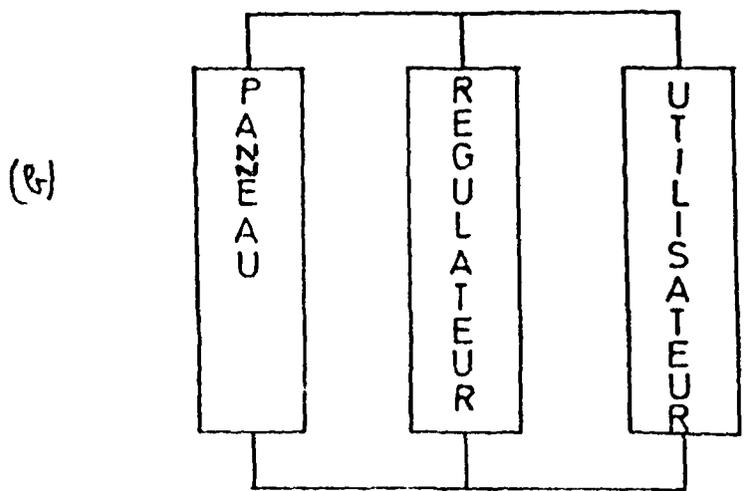
Fig. 9: Montage en série.



1 PROTECTION

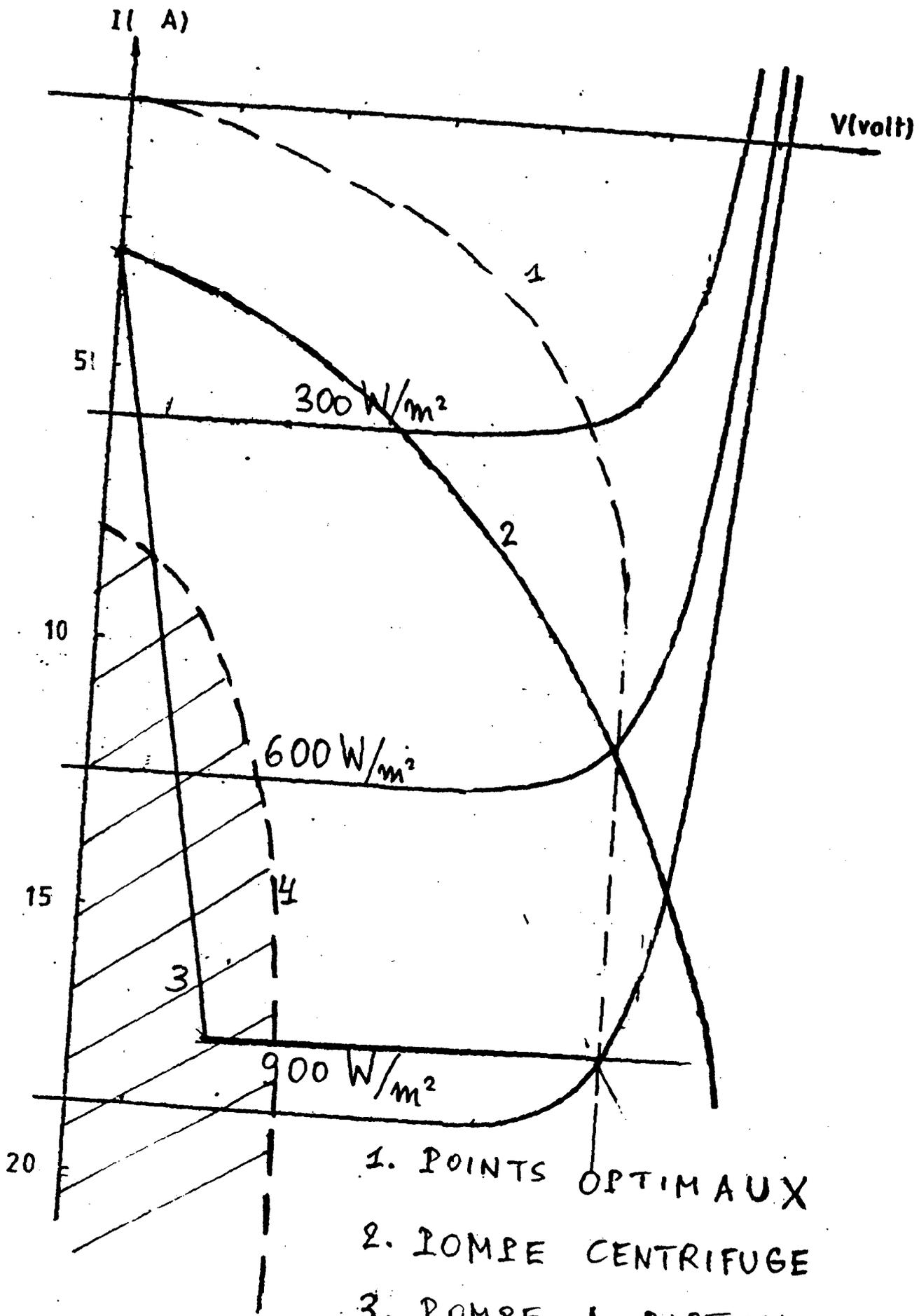


2 REGULATEUR



REGLER A TENSION CONSTANTE

Fig 11: Systemes sans batterie



- 1. POINTS OPTIMAUX
- 2. POMPE CENTRIFUGE
- 3. POMPE A PISTON
- 4. ZONE DANGEREUSE

12: Courbes (I-V) du réseau et des pompes

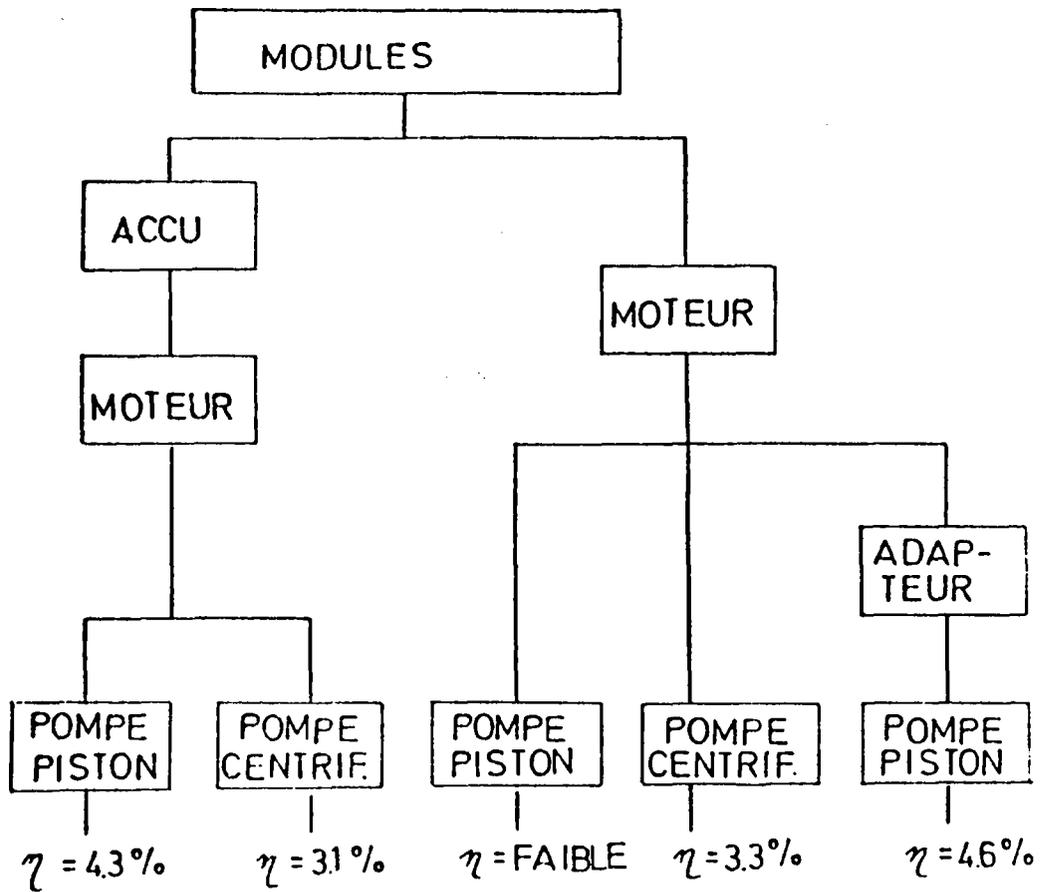
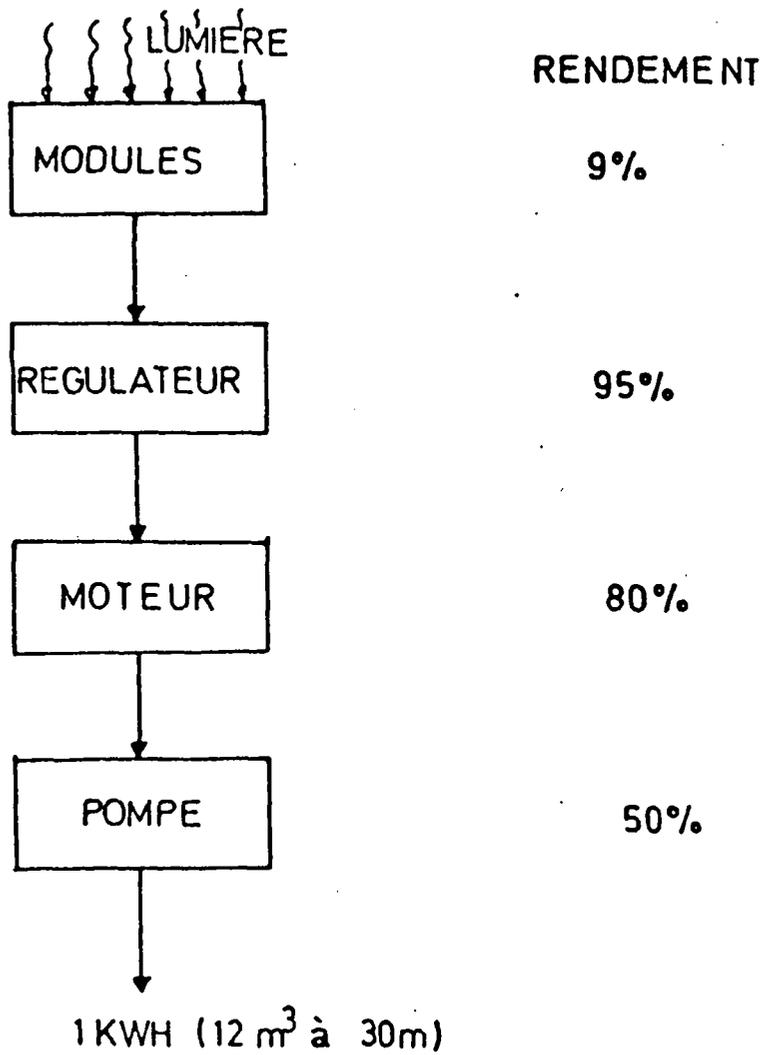


Fig. 13. Rendements de plusieurs systèmes de pompage

H₂O

STATION DE POMPAGE



POUR UN PAYS ENSOLEILLE :

1100 m³/30m/m²/AN

Fig. 14: Station de pompage: rendement des éléments

ENERGIE RENOUVELABLE, MOYEN DE DEVELOPPEMENT RURAL
AU BURUNDI

Thomas Ruhilima
ingénieur, ACEC-Charleroi

1. INTRODUCTION

Cet exposé est extrait d'une étude que j'ai faite à la Division EAT/PS des ACEC dans le cadre de nos activités en énergie solaire à usage terrestre.

Le projet complet, qui est destiné aux Autorités de la République du Burundi, a pour but essentiel de montrer comment le Burundi, pays très pauvre, peut prétendre à une croissance économique dans une situation énergétique mondiale apparemment défavorable.

2. SITUATION GENERALE AU BURUNDI

Conscient du fait que l'amélioration du niveau de vie du Burundi passe par la rentabilisation de son travail agricole, le Gouvernement a décidé de créer des villages pilotes à travers le pays.

Ces agglomérations permettront certainement à ses habitants de mieux bénéficier des installations collectives et créeront sans aucun doute des conditions favorables à l'éducation, à la formation et à l'initiation des paysans burundi à des nouvelles méthodes de travail de la terre.

Le Burundi est un pays à économie essentiellement agricole, plus de 90% des devises proviennent des quatre produits agricoles d'exportation (café, coton, thé, et quinquina).

L'amélioration de la qualité et l'augmentation de la quantité de ces produits est devenue une priorité au Burundi. Les 95% de la population vivent en dehors des centres urbains et se consacrent principalement à la culture des produits vivriers qui sont directement consommés sur place et souvent par le producteur lui-même.

Une faible quantité de ces légumes, fruits et céréales est commercialisée dans les petits marchés locaux et fournit un maigre revenu monétaire au cultivateur Burundi.

Depuis ces dernières années, la quantité moyenne des produits agricoles ne cesse de diminuer. C'est pour cela que la volonté de rentabiliser l'agriculture est certainement une très bonne intention et une orientation raisonnable de la part des Responsables du Burundi et que l'idée de promouvoir et d'encourager le regroupement des Burundi dans des villages pilotes, qui sont des écoles sans bancs, offre plus de chance de succès à cette politique agricole.

Ce vaste programme risque de se solder par des échecs dont les conséquences sont à la mesure des espoirs qu'il aura suscités s'il n'est pas accompagné d'une politique énergétique cohérente et réaliste. Le développement socio-économique du milieu rural du Burundi augmentera la demande sans cesse croissante de l'énergie en général et de l'électricité en particulier. Cette consommation énergétique s'ajoutera à celle des communautés du type différent déjà existantes à travers tout le pays.

Il s'agit des écoles fort peuplées, qui sont groupées autour d'une Eglise catholique ou d'un Temple protestant, des bâtiments administratifs qui abritent les autorités locales, des petits magasins qui vendent des produits de première nécessité, des petites coopératives agricoles ou artisanales qui freinent l'exode vers les villes, des dispensaires ou hôpitaux qui assurent quelques soins médicaux à une population de plus en plus nombreuse .

Certaines de ces agglomérations possèdent des groupes à diesel, générateurs d'électricité.

Un groupe électrogène coûte cher à l'exploitation.

Il faut toujours une certaine maintenance, des pièces de rechange toujours disponibles et un groupe de secours doit être prévu.

Le Gouvernement s'attend à un accroissement annuel total de la consommation énergétique de l'ordre de 8%.

Si même cette prévision est fort optimiste, le Burundi ne dispose pas d'assez d'argent pour y trouver une solution classique. La totalité des produits pétroliers dont le pays a besoin est importée via des chemins dont la sécurité n'est pas toujours garantie. La facture pétrolière est très lourde. Le Burundi a payé presque 7% du total des recettes d'exportations pendant des années 1978-1980 pour s'approvisionner principalement en essence et gas-oil pour assurer le transport dans le pays.

Pour répondre aux besoins en carburant , en huile de graissage, et en asphalte, les dirigeants du pays croient devoir payer environ 26 milliards de FBU en 1990.

Comme il n'existe pas pour le moment des produits de remplacement, il en résulte que les Burundi ne peuvent pas espérer échapper à cette dépense sans cesse croissante.

Devant cette impasse, le Gouvernement a élaboré une politique énergétique qui peut se résumer comme suit :

3. POLITIQUE ENERGETIQUE

En matière de l'énergie, le Burundi s'est assigné trois objectifs :

- 1.- "La fourniture d'énergie en milieu rural"
- 2.- "La réduction de la dépendance extérieure"
- 3.- "La fourniture d'énergie à bon marché pour les activités industrielles et artisanales".

Le texte officiel ci-après révèle les moyens mis en oeuvre pour atteindre ces trois objectifs.

- Pour ce qui est du premier objectif, fourniture d'énergie en milieu rural, deux types d'actions ou programmes ont été retenus.

Tout d'abord, un programme consistant dans l'installation de plusieurs micro-centrales d'une puissance non supérieure à 100 KW, programme qui comprend aussi des travaux d'aménagement et d'adduction d'eau.

Ce programme sera largement financé par des fonds privés (par exemple les missions religieuses) ou des ressources publiques, chacune de ces micro-réalisations représentant un investissement de l'ordre de 10 millions à 15 millions de F.BU. Ensuite, un programme de construction de centrales d'une puissance comprise entre 250 KW et 1300 KW a été arrêté. Les projets composant ce programme concernent la construction des centrales de Muyinga; Kirundo, Bururi, et Ruyigi. A l'exception de la centrale Kirundo, un financement extérieur est demandé.

- La réduction de la dépendance extérieure dans le domaine énergétique a guidé le choix d'un certain nombre de projets qui visent à la création d'un début de réseau intégré alimenté par des centrales d'une puissance allant de 6.000 à 18.000 KW.

Pour la période 1981 - 1985, il s'agit de la centrale de Mugere, dont le financement est assuré, la centrale Rwegura, dont le financement est à trouver, et de la construction du réseau Ngozi - Kayanza (financement assuré). Les centrales de Gitega (qui est entrée en fonctionnement en 1980) et celle de Muramvya (qui doit le faire au cours de 1981), sont des réalisations qui s'inscrivent aussi dans les efforts de réduction de la dépendance extérieure. La création de ce réseau, avec les projets mentionnés plus haut, permettra également d'améliorer la fourniture d'énergie à bon marché pour les activités industrielles et artisanales.

- " Le volume total des investissements prévus pour la période 1981 - 1985 s'établit comme suit :

	1981	1982	1983	1984	1985	TOTAL
Electricité	537,3	1.329,4	1.308,8	1.085,8	1.102,0	5.363,3
Eau (1)	337,2	224,5	73,3	-	-	635,0
TOTAL	874,5	1.553,9	1.382,1	1.085,8	1.102,0	5.998,3

(1) Dans la classification du Ministère du Plan, énergie et eau constitue une seule branche.

- Le total des investissements prévus (projets "eau" non compris) atteint 5.363,3 millions de F.BU pendant la période 1981-1985.

Ce total correspond à la valeur de 12 projets, dont 5 sont entièrement financés. Dans le montant total des investissements prévus (5.363,3 millions de FBU), 605,1 millions sont déjà financés. "

Ces lignes tirées d'un rapport officiel montrent l'orientation de la politique énergétique du Burundi.

La question qui se pose est immédiate : l'électrification des villages au Burundi à partir des centrales hydro-électriques est-elle une solution économique ou en d'autres termes existe-t-il d'autres formes d'énergie renouvelable qui fourniraient une solution accélératrice du développement social et économique des campagnes de ce pays?

L'objet de mon rapport est de répondre à cette question et de montrer qu'il reviendrait moins cher d'installer et d'exploiter d'autres systèmes d'énergie renouvelable tels que énergie de la biomasse, énergie éolienne, énergie solaire thermodynamique, énergie solaire photovoltaïque dans la plupart des centres dispersés dans le pays.

La première démarche simplificatrice de cette étude sera de comparer ces différentes sources d'énergie à une source idéale de l'électricité pour le Burundi.

4. CARACTERISTIQUES D'UNE SOURCE IDEALE D'ENERGIE

Une source idéale d'énergie est celle qui se caractérise par les propriétés suivantes :

1.- Coût d'investissement réduit:

Le Burundi est pauvre et ne dispose pas de beaucoup de capitaux pour s'offrir des systèmes chers à l'achat.

2.- L'installation dans le pays doit comprendre autant que possible des organes fabriqués dans le pays.

Ceci réduit le coût d'investissement et le prix de transport et favorise la technologie locale.

3.- Les frais de l'exploitation et de maintenance doivent être nuls.

Il faut éviter des systèmes qui nécessitent un personnel qualifié pour assurer la maintenance, et il faut que les équipements soient fiables pour éviter de devoir importer et stocker des pièces de rechange.

4. - La source de l'énergie doit être modulaire
c'est-à-dire qu'elle doit pouvoir s'adapter aux besoins sans cesse croissants des utilisateurs.

5. - Le "combustible" (gas-oil, vent, eau, produits de la biomasse, rayonnement solaire) nécessaire à la production de l'énergie doit être disponible en abondance et à un prix raisonnablement bas.

Le tableau I ci-après montre que parmi les sources d'énergie renouvelable que l'on peut préconiser dans les villages au Burundi, aucune ne répond à tous les critères de la source idéale. Cela signifie que la solution optimale est celle qui combinerait certaines de ces cinq sources d'énergie.

TYPE DE SOURCE	Coût d'investissements		TRAVAIL LOCAL		MAINTENANCE	MODULARITE	COMBUSTIBLE		
	Actuel	Tendance	Actuel	Futur			Coût	Disponibilité	Approvisionnement.
Electricité solaire Photovoltaïque	très cher	à la baisse	-support -Assemblage des modules	-support -assemblage des modules -fabricat. modules à partir des cellules importées	Pièce statique: maintenance minimum système fiable	Excellente	Rien	Variation - diurne et - saisonnière	sans problème
Electricité solaire thermique	très cher	+ stabilisé	moyenne- ment faible	moyenne- ment faible	pièces en mouvement personnels qualifiés	assez bonne	Rien	Variation diurne et saisonnière	sans problème
BIOMASSE	bon marché	+ stabilisé	beaucoup	beaucoup	- broyeurs d'ordures - cendriers, brûleurs	bonne	bon marché	+ constante	sans problème
Eolienne	cher	+ stabilisé	assez bien	assez bien	pièces en mouvement	bonne	Rien	variable en vitesse constant en direction	sans problème
Hydraulique	cher	à la hausse	génie civil	génie civil	personnels qualifiés	assez bonne	Rien	variable	pas de problème

Le pays ne dispose pas des moyens financiers pour engager le combat contre la crise énergétique sur tous les fronts. La diversification des sources d'énergie est à considérer comme un objectif à ne pas perdre de vue et à atteindre dans un avenir plus ou moins proche puisque le problème énergétique futur ne s'exprime plus en termes de choix, mais plutôt en termes d'appel à toutes les sources possibles.

Le réseau électrique du Burundi est encore à l'état embryonnaire; un choix judicieux de la forme d'énergie de base à laquelle viendront se raccorder les autres filières est encore possible.

De plus, le coût de plus en plus élevé des produits pétroliers, l'insécurité des voies d'importation font qu'il est grand temps de procéder au remplacement des groupes électrogènes à diesel répandus dans le pays. Certains de ces équipements sont d'ailleurs devenus vétustes.

Mon idée est de démontrer que parmi les usages concevables des énergies solaires, la conversion directe photovoltaïque semble être l'application qui est de loin la plus immédiatement appropriée à l'électrification des villages au Burundi.

En effet, les centrales photovoltaïques sont par nature, modulaires et transportables.

Leur installation et leur entretien ne demandent aucune infrastructure spéciale.

On peut les agrandir au fur et à mesure de l'accroissement de la demande et les déplacer si une autre source d'énergie devient disponible.

Ces caractéristiques les opposent très favorablement aux centrales à turbine, qui pour atteindre des rendements plus élevés, doivent faire appel à des technologies compliquées ou aussi mal maîtrisées que le sodium liquide.

Pour montrer que cette forme d'énergie peut se substituer aux groupes à diesel et à l'énergie hydraulique, je vais évaluer les besoins d'une communauté type et montrer que l'énergie solaire photovoltaïque y répond ^{plus} économiquement.

Le coût encore élevé de cette énergie photovoltaïque implique une économie à chaque usage c-à-d que certaines installations seront collectives.

La collectivité considérée ici sera constituée par 240 élèves internes et 300 élèves externes. Ces élèves sont répartis dans des classes groupées autour d'une Eglise catholique.

Dans ce village vivent continuellement quatre prêtres, 10 religieux et 10 religieuses et une dizaine de ménages d'enseignants laïcs.

L'énergie à fournir servira à l'éclairage de l'église, des appartements, des classes et des dortoirs pour les élèves internes et l'éclairage du village. Elle alimentera des équipements électriques tels que des postes de télévision, des surgélateurs, des chambres froides, un poste de radiocommunication de secours. Elle fournira de l'électricité aux moteurs qui entraînent un moulin à céréales et une pompe d'exhaure de l'eau potable.

TABLEAU II

BESOINS DU VILLAGE TYPE

600 personnes

(240 élèves internes - 300 élèves externes - 4 prêtres -
20 religieux et religieuses - 10 ménages des enseignants
laïcs ayant en moyenne 3 enfants)

1. Eclairage des locaux (4 h/j en moyenne)	
classes, dortoirs des élèves internes et autres	16,560 kWh
- Appartements (2 chambres par prêtre)	0,640 kWh
Une salle à manger commune	0,080 kWh
Une salle de séjour commune	0,080 kWh
Une cuisine commune	0,080 kWh
- Appartements pour 10 religieux	1,600 kWh
Une salle à manger commune	0,080 kWh
Deux salles de séjour communes	0,160 kWh
Une cuisine commune	0,080 kWh
- Appartements pour 10 religieuses	1,600 kWh
Une salle à manger commune	0,080 kWh
Une cuisine commune	0,080 kWh
<i>Deux salles de séjour communes</i>	<i>0,160 kWh</i>
- Dix maisons des enseignants laïcs	1,600 kWh
Eclairage de l'église	1,600 kWh
2. Eclairage du village (12 h)	2,400 kWh
3. 15 Postes de télévision (4 h)	6,000 kWh
4. Chambres froides à 4°C	2,600 kWh
5. Deux surgélateurs	2,600 kWh
6. Poste de radiocommunication de secours	0,400 kWh
7. Moulin à céréales (sorho, maïs, etc ...)	
0,5 kg/pers.	2,540 kWh

8. Eau potable par pompage en 6 heures,
hauteur manométrique de 20 m
30 litres par personne par jour, élèves
externes inclus 2,445 kWh
9. Autres 3,500 kWh

Besoin total en énergie est de 46,97 kWh soit 47 kWh
=====

Le Tableau II donne le détail de la moyenne de la consommation énergétique journalière pour cette communauté type d'environ 600 habitants.

Il est à remarquer que l'éclairage est assuré par des tubes fluorescents dont le rendement est plus élevé que les lampes tungstène.

L'alimentation du tube par un convertisseur DC/AC à 20 kHz améliore la qualité de la lumière.

Le choix de la source à installer dans le village dépendra de trois critères : l'investissement initial, les frais d'exploitation et la durée de vie.

Certaines communautés possèdent un groupe électrogène à diesel que le Gouvernement propose de remplacer progressivement par la distribution de l'électricité fournie par des centrales hydrauliques.

Il convient de comparer ces deux sources d'énergie à la source d'énergie solaire à base photovoltaïque pour l'exemple retenu c'est-à-dire dans le cas des besoins exigeant 47 kWh par jour.

La meilleure option sera celle qui répond économiquement à la demande des utilisateurs. Le calcul des coûts se fera en dollars américains, puisque la monnaie burundaise est à parité fixe avec le dollar américain.

GROUPE ELECTROGENE A DIESEL

HYPOTHESES

Besoin énergétique journalier	47 kWh
Puissance du groupe	4 kW
Taux de charge	78%
Nombre d'heures de fonctionnement par jour	15
Consommation horaire de combustible	1,3 litre
Coût initial par groupe	4.000 \$
Durée de vie (groupe principal + un groupe de secours)	10 ans
Prix d'emballage, de fret, de transit, de taxes, de transport, de montage, etc ... (= 0,5 Prix du groupe)	2.000 \$
Prix d'entretien annuel : 20% du prix du groupe	
Prix de la centrale : 1,6 prix du groupe rendu et monté	
Prix du combustible par an et par groupe et par litre	53 cents

DEPENSE APRES 20 ANS

- Prix de la centrale et de son entretien	54.400 \$
- Consommation totale en 20 ans	142.350 litres
- Prix du combustible en 20 ans	75.446 \$
- Dépense totale en 20 ans	129.846 \$
Quantité d'électricité produite	341.640 kWh
Le prix par kWh	0,38 \$

SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

HYPOTHESES

Besoin énergétique journalier	47 kWh
Heures d'ensoleillement par jour	6 h.
Puissance de crête du panneau	10 kW _C
Prix du module par W _C	8 \$
Prix des circuits électroniques par W _C	1,00 \$
Prix du système de stockage d'énergie par W _C	1,50 \$
Prix du support par W _C	1,00 \$
Frais de transport, transit, taxes, installation, entretien batterie, etc ... par W _C	2,5 \$
 Prix total par W _C installé	 14 \$
Prix total du système complet	140.000 \$
Energie totale consommée en 20 ans	343.100 kWh
Prix par kWh	0,41 \$

Le tableau III donne l'évolution du prix par Watt crête telle qu'il est envisagé par les Américains.

ANNEE	PRIX PAR W _C EN DOLLAR AMERICAIN
1980	11 à 7
1982	2,80
1986	0,70
1990	0,15

TABLEAU III

Cette tendance à la baisse du prix est accompagnée d'une amélioration des performances des cellules photovoltaïques. Les circuits électroniques utilisés dans le système coûteront moins cher, les supports qui sont en acier et en aluminium seront remplacés par des structures en matière plastique ou en bois.

Le prix de transport sera d'autant diminué que les supports seront légers.

L'abaissement du prix des cellules réduira le coût des systèmes de stockage. Il suffira de surdimensionner le panneau solaire pour qu'il puisse encore fournir la puissance suffisante en cas des variations saisonnières de l'ensoleillement.

Le tableau IV donne le coût par Watt crête suivant les différents prix du module du Tableau III

Prix du module par $W_{\text{crête}}$	11 ¢	2,80 ¢	0,70 ¢	0,15 ¢
Prix des circuits électroniques par W_{c}	1	0,5	0,3	0,2
Prix du système de stockage par W_{c}	2	1	0,5	0,3
Prix des supports par W_{c}	1	0,75	0,5	0,5
Frais de transport, taxes, entretien des batteries par W_{c}	2,5	1,5	1	0,5
Prix par W_{c} installé	17,50	6,55	3,00	1,65
Prix par kWh	0,51	0,19	0,09	0,05

CENTRALE HYDROELECTRIQUE

Le Gouvernement du Burundi a décidé de construire une série de centrales hydroélectriques dans le pays.

La capacité totale des sites retenus est évaluée à environ 305 MW. Les barrages régularisent le débit des cours d'eau qui les alimentent et constituent une source d'énergie intarissable.

L'électricité ne doit pas être stockée; il suffit de transformer continuellement l'énergie hydraulique en électricité, quitte à la stocker dans un lac de montage par pompage de l'eau.

Mais les sites favorables sont limités et souvent éloignés des lieux de consommation. Le transport de cette énergie se fait par des câbles coûteux et dont la pose et l'entretien coûtent relativement cher.

Les pertes en lignes sont relativement faibles, 10% sur les lignes à très haute tension et environ 20% sur les lignes à basse tension.

L'énergie électrique d'origine hydraulique ne doit pas être considérée en termes de durée de vie mais en fonction du nombre de personnes qu'elle peut servir.

Le prix de revient en kWh produit dans les grosses centrales est généralement bas. La question est de savoir s'il est économique de relier un centre isolé par une ligne moyenne tension pour répondre à sa demande en énergie.

Le paramètre à considérer ici est la distance qui sépare le consommateur et le lieu de production. Ce facteur s'applique également aux centrales micro-hydrauliques.

HYPOTHESES

Besoin énergétique journalier	47 kWh
Distance du village au lieu de raccordement	50 km
Coût de l'extension du réseau par km	5.000 ₮
Prix de l'électricité à la production par kWh	10 cen
Entretien des lignes et transformateurs	3%
Pertes en ligne	20%
Electricité produite après 20 ans	428.875 kWh
Electricité consommée après 20 ans	343.100 kWh
Prix de revient de l'électricité produite après 20 ans	42.888 ₮
Coût de l'extension	250.000 ₮
Coût de l'entretien de la ligne et transfos	150.000 ₮
Prix total de l'électricité et de son transport	1,30 ₮

Le tableau V donne le prix par kWh pour différentes distances dans l'hypothèse de 47 kWh.

DISTANCE EN KM	PRIX/Kwh EN ₮
50	1,30
40	1,06
30	0,83
20	0,60
10	0,36
5	0,25

TABLEAU V

Ce calcul a été fait en supposant que l'extension de la ligne coûte 5000 ₣/km.

Cette hypothèse est fort optimiste pour le Burundi. Pour électrifier GIHETA à partir du réseau de GITEGA alimenté par le barrage de RUVYIRONZA, les Autorités burundaises ont estimé le coût à 15 Millions de FBU, ce qui équivaut environ à 12.800 ₣ par km (GIHETA est à 13 km de GITEGA).

Cette donnée modifie les résultats du calcul précédent et donne les prix du tableau VI.

DISTANCE EN KM	PRIX / kWh EN ₣
50	3,13
40	2,62
30	2,00
20	1,37
13	0,94
10	0,75
5	0,44

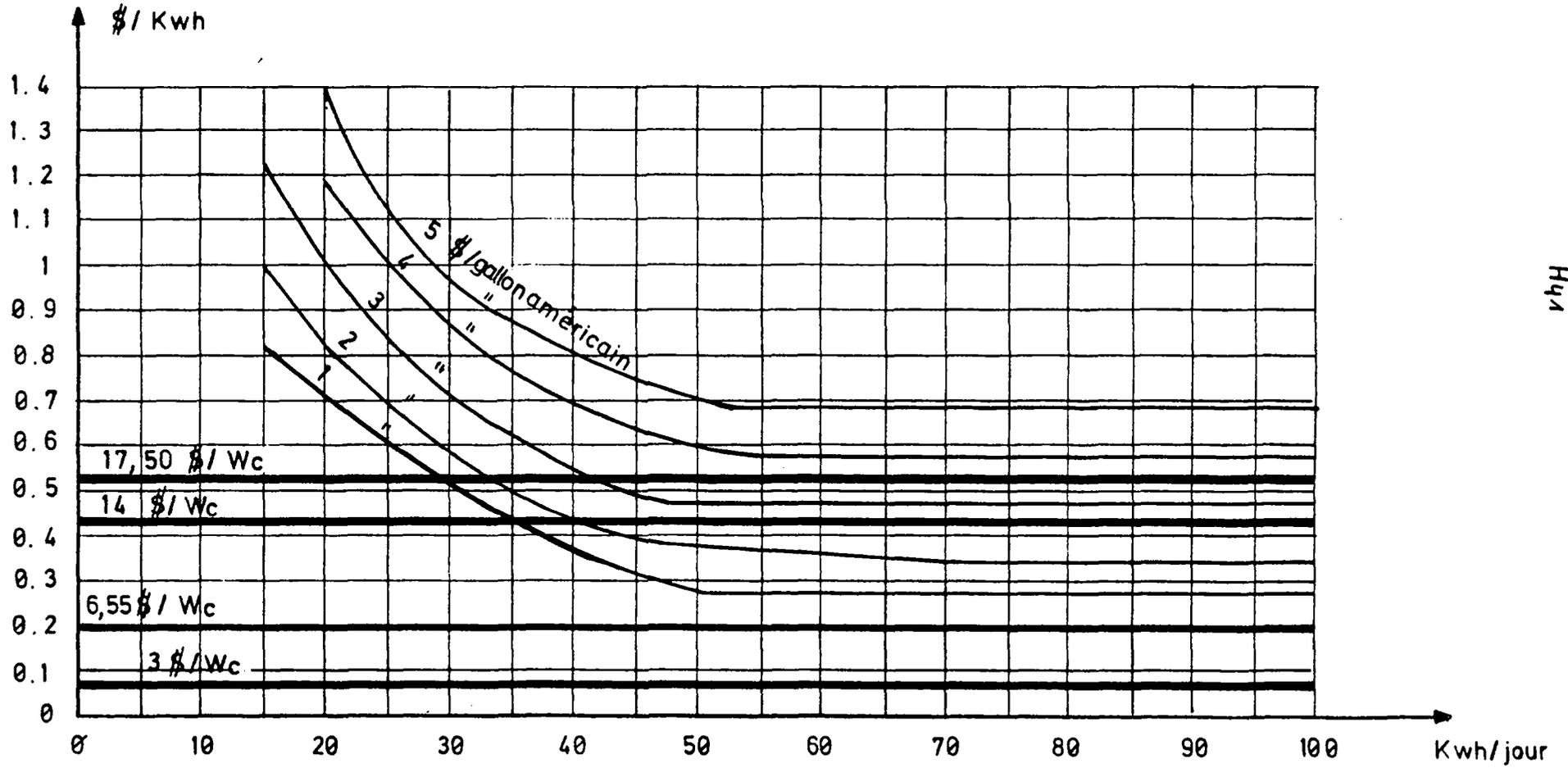
CONCLUSION GENERALE

Les figures 1 et 2 résumant les résultats des calculs. Suivant l'énergie à consommer et le prix du gas-oil, et le prix du Watt crête photovoltaïque, la figure 1 montre la compétitivité des systèmes photovoltaïques. La figure 2 montre dans quel contexte l'électricité d'une centrale hydraulique peut devenir plus chère que celle provenant des panneaux photovoltaïques installés au lieu de la consommation.

La tendance à la baisse du prix du watt crête du module photovoltaïque rend encore cette solution très compétitive.

Comparaison du prix / Kwh

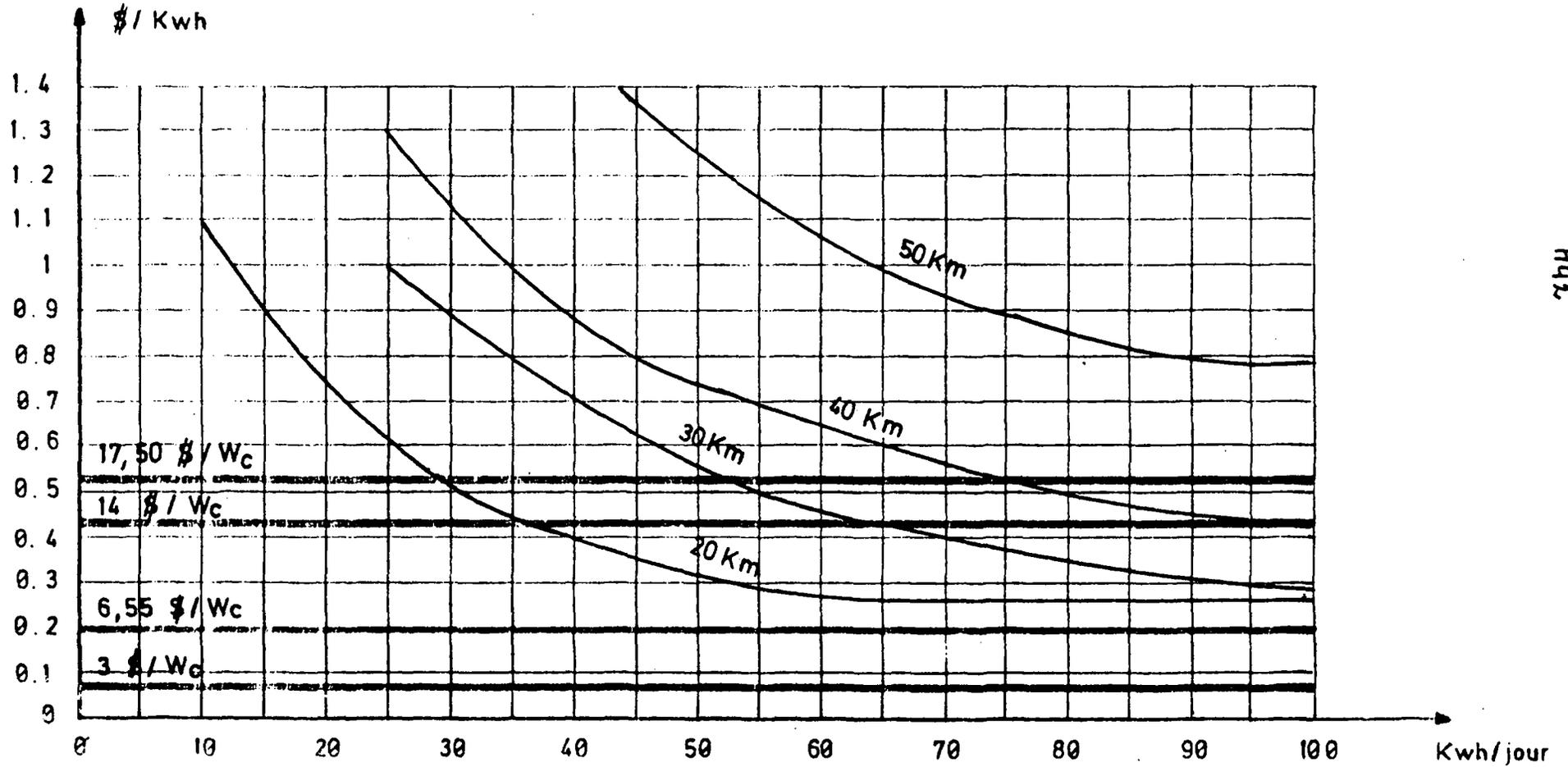
Groupe électrogène à diesel et système photovoltaïque



H₄

Comparaison du prix / Kwh

Extension du réseau et système photovoltaïque



H42

Fig. 2

INSTALLATION DE PRODUCTION D'ELECTRICITE
A PARTIR DE CELLULES SOLAIRES DESTINEE AU
CENTRE HOSPITALIER RURAL DE SIMA-ANJOUAN

Raymond WILLAUME. (1)

I. DESCRIPTION DES PROJETS

- Projet 1. Equipement électrique du logement des médecins (éclairage-ventilation - réfrigération - sonorisation - petits appareils électroménagers).
Ce projet est une démonstration de l'équipement solaire d'une maison individuelle. (Financement privé).
- Projet 2. Equipement du bloc maternité pour l'éclairage et l'alimentation de petits appareils électriques. (Financement A.C.C.T.).
Ce projet pourra être étendu ultérieurement à l'équipement électrique complet du centre hospitalier en se basant sur les résultats acquis.
- Projet 3. Réalisation d'un système d'acquisition de données organisé autour d'un microprocesseur. Ce matériel permettra de mesurer les performances du générateur solaire ainsi que le contrôle informatique de son fonctionnement. (Financement privé).

(1) L'auteur est professeur au lycée de MUTSAMUDU (B.P. 50, MUTSAMUDU), République des Comores.

A titre expérimental, il a monté sur place des installations photovoltaïques, un capteur à eau artisanal, un capteur à haute température et une cuisinière à bois.

II. JUSTIFICATION DES PROJETS

A. Implantation

Sima est une des cinq villes importantes d'Anjouan. Elle est située à 200 m d'altitude et se trouve à 3/4 d'heure de route de Mutsamudu. Dans toute cette région, il n'y a pas de réseau de distribution d'électricité.

L'ensoleillement moyen de l'île est d'environ 5,5 kWh/m²/jour.

- Le projet 1 sera implanté au logement des médecins du centre hospitalier de Sima.
- Le projet 2 équipera la maternité du centre (appartement de la sage-femme, salle d'accouchement et salles communes).
- Le projet 3 sera préparé au lycée de Mutsamudu en vue d'une implantation ultérieure à Sima.

N.B. : Le centre hospitalier possède un ancien groupe électrogène, mais il est régulièrement en panne, et actuellement l'alternateur est inutilisable.

B. Aspect économique

Le choix d'un générateur solaire par rapport à un groupe électrogène se justifie de la façon suivante :

- le groupe électrogène produit l'électricité par mouvement, ce qui entraîne une usure rapide et un entretien constant par du personnel qualifié. De plus, pour le faire tourner, il faut importer des produits pétroliers dont le prix est en constante augmentation.
- Le générateur solaire produit l'électricité sans mouvement, ce qui permet d'espérer une durée de vie très longue avec un entretien réduit. De plus, une fois l'achat effectué le fonctionnement est autonome, l'énergie électrique produite provenant directement du soleil.

C. Aspect social

Le centre hospitalier de Sima dessert une grande partie de l'île d'Anjouan. Actuellement les accouchements, les petites interventions chirurgicales et les urgences s'effectuent avec un éclairage de fortune.

La sage-femme qui réside en permanence à la maternité pourrait utiliser efficacement le matériel. Le réfrigérateur solaire installé à la maison du couple de médecins (volontaires des Nations-Unies) contiendrait les vaccins et autres médicaments qui doivent être stockés à basse température.

D. Aspect pédagogique

L'installation du générateur solaire sera réalisée dans le cadre des études techniques du lycée de Mutsamudu, avec la participation des professeurs et des étudiants de ces sections (mécanique, électricité, bâtiment). Les étudiants seront capables d'effectuer la maintenance du matériel et de réaliser les modifications nécessaires. Ils seront familiarisés avec ces technologies nouvelles et pourront contribuer efficacement au développement de telles installations.

III. MODALITES DE LA REALISATION

A. MATERIEL NECESSAIRE ET PRIX APPROXIMATIF

A.1. Projet 1

1. Panneaux solaires 220 W crête	17.000 F.F.
2. Structure des panneaux	1.000 F.F.
3. Régulateur charge-décharge	1.900 F.F.
4. Armoire frigorifique	2.400 F.F.
5. Transport avion (1 + 2 + 3 + 4)	6.400 F.F.
6. Batteries 12 V 330 AH	2.600 F.F.
7. Transport batteries	2.100 F.F.
8. Onduleur (12 V - 220 V 50 HZ)	880 F.F.
9. 10 réglottes tubes fluor 12 V	2.000 F.F.
10. Ventilateur de plafond à pôles	1.200 F.F.
11. Matériel électrique divers	2.000 F.F.
(cables, appareils de mesure ...)	
12. Transport (8 + 9 + 10 + 11)	2.000 F.F.

Prix total	41.500 F.F.

A.2. Projet 2

1. Panneaux solaires	8.000 F.F.
2. Réglottes pour tubes fluorescents	1.800 F.F.
(24 V 13 W.)	
3. Structure des panneaux	500 F.F.
4. Aménagement du site	500 F.F.
5. Batteries (24 V, 60 AH)	1.200 F.F.
6. Matériel électrique divers (Régulation - protection, etc ...)	3.000 F.F.

Prix total	15.000 F.F.

Les postes 1 et 2 font l'objet de factures proforma.

Les postes 3, 4, 5 et 6 concernent le matériel qui peut être acheté à Anjouan.

A.3: Projec_3

1. Unité centrale	980 F.F.
2. Carte de conversion analogique-digitale et digitale analogique	1.370 F.F.
3. Carte de sortie relais	910 F.F.
4. Carte mère	325 F.F.
5. Lecteur-enregistreur de données	607 F.F.
6. Connecteurs divers	65 F.F.
7. Matériel électronique externe	2.000 F.F.

Total 6.300 F.F.

Documentation sur les 3 projets 2.000 F.F.

La main d'oeuvre et l'entretien seront assurés généralement par les professeurs, les élèves du lycée et le personnel de l'hôpital.

Coût total des trois projets

Projet 1	41.500 F.F.
Projet 2	14.800 F.F.
Projet 3	6.300 F.F.
Documentation	2.000 F.F.

64.600 F.F.

=====

B. DUREE DES TRAVAUX

Les projets 1 et 2 seront réalisés au cours de l'année scolaire 80-81. En ce qui concerne le projet 3, on réalisera l'écriture du logiciel et l'assemblage des modules électroniques externes (horloge temps réel, amplificateurs opérationnels, capteurs, etc ...) au cours de l'année scolaire 80-81.

IV. FINANCEMENT

1. Financement privé

Projet 1	41.500	F.F.
Projet 3	6.300	F.F.
Documentation	2.000	F.F.
<hr/>		
Total	49.800	F.F.

Une partie du matériel nécessaire à ces deux projets se trouve déjà sur place à notre disposition, le reste arrivera au cours des prochains mois aux Comores par frêt aérien ou maritime.

2. Financement A.C.C.T. : pour le projet 2

1ère tranche : deux factures proforma

- panneaux solaires	8.000	F.F.
- réglottes fluorescentes	1.800	F.F.

2ème tranche : pour achat sur place des structures, batteries, etc

3.000 F.F.

3ème tranche : pour le contrôle, la

régulation, etc 2.200 F.F.

Financement demandé 15.000 F.F.

V. DEVELOPPEMENTS FUTURS

Nous espérons étendre le projet 2 aux trois bâtiments du centre hospitalier (maternité, dispensaire, labo-pharmacie), pour l'éclairage mais aussi pour la ventilation et la réfrigération.

Nous envisageons d'établir un projet pour cette extension au cours de l'année scolaire 1980-81, en nous basant sur les résultats obtenus au cours de la réalisation des projets 1 et 2. Nous cherchons un financement pour cette extension.

VI. PROJETS ANNEXES : Production de chaleur

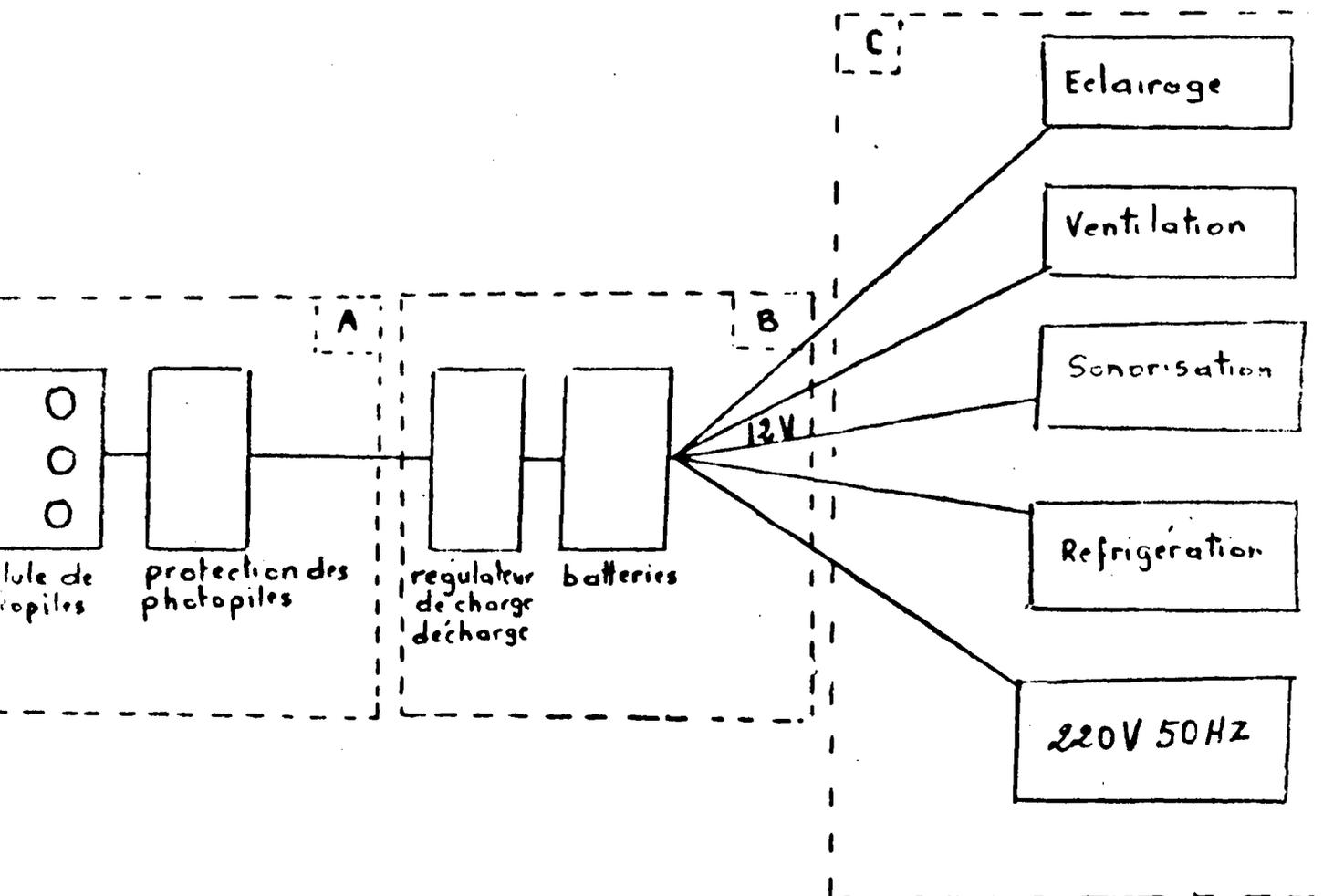
Nous envisageons la réalisation de plusieurs types de chauffe-eau solaire pour la production d'eau chaude sanitaire ainsi qu'un concentrateur cylindro-parabolique qui permettra la production de vapeur d'eau, par exemple pour une cuisinière solaire ou un stérilisateur.

Ces projets ne nécessitent pas de financement extérieur.

ANNEXE 1

Projet n° 1Objectif

Assurer l'équipement électrique d'une maison individuelle non reliée au réseau de distribution électrique à partir de l'énergie électrique fournie par des photopiles.

Schéma de l'installation

Description sommaire de l'installation

A. Production d'énergie électrique

5 modules de photopiles de la firme IDE modèle n° SIS 33/01 de 33 W de puissance de crête chacun ; la puissance totale est donc de 165 W (un dispositif de protection empêche la destruction accidentelle des photopiles).

B. Stockage de l'énergie électrique

L'énergie fournie par les photopiles est stockée dans les batteries de 12 V (un régulateur de charge - décharge empêche la surcharge des batteries et une décharge trop poussée).

C. Utilisation de l'énergie électrique

- 1) Eclairage : 5 tubes fluorescents de 13 W
- 2) Ventilation : un ventilateur de plafond à pales, fonctionnant directement à partir d'une tension de 12 V. ($P \approx 20$ W).
- 3) Sonorisation : une chaîne haute fidélité comprenant un magnétophone à cassettes, un préampli-ampli (2 x 23 W) et 2 enceintes acoustiques (2 x 40 W).
- 4) Réfrigération : un réfrigérateur INDEL-LT 85 à compresseur d'une contenance de 85 litres. Le compresseur étant séparé de l'armoire, il a été possible d'augmenter considérablement l'isolation de celle-ci afin de diminuer la consommation.
- 5) Convertisseur (onduleur) 12 V - 220 V 50 HZ
Puissance maximum 300 W.
Ce convertisseur est protégé en entrée et en sortie contre une surcharge momentanée.

Ce système a été installé au cours de l'année scolaire 80-81 dans mon logement.

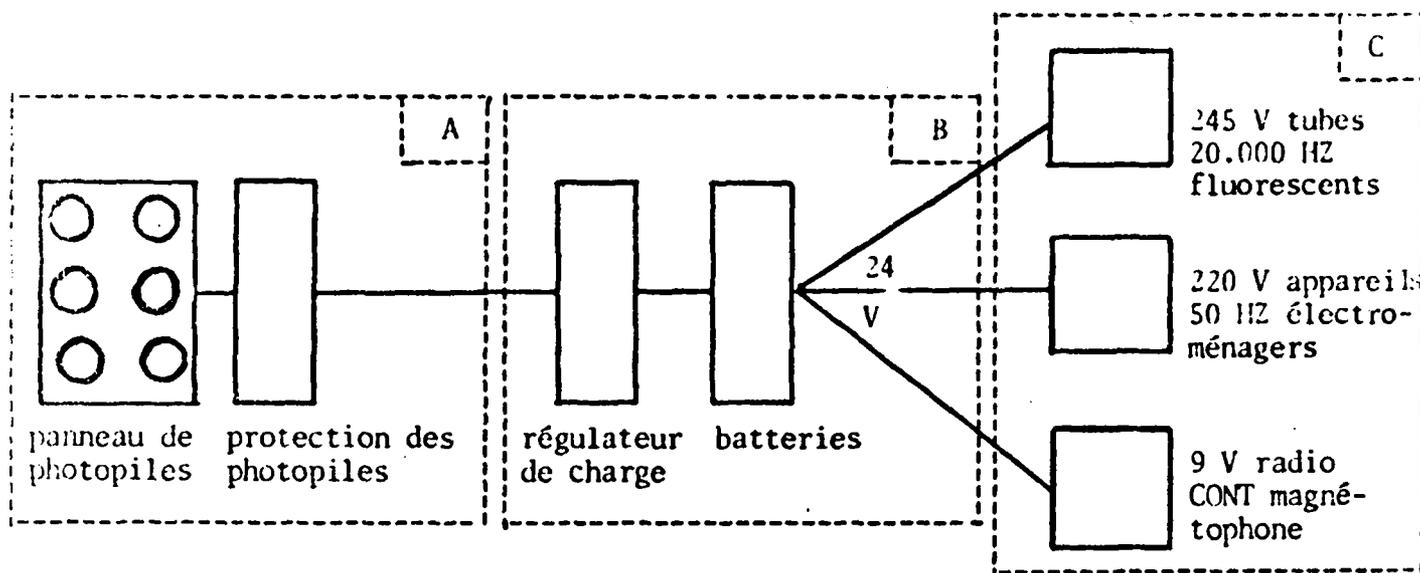
A N N E X E 2

Projet n° 2

Projet d'une installation de démonstration d'utilisation de photopiles

Objectif

Assurer l'éclairage d'une maison individuelle non reliée au réseau de distribution électrique à partir de l'énergie électrique fournie par des photopiles.

Schéma de l'installation

Description sommaire de l'installation

A. Production d'énergie électrique

Six panneaux de photopiles

RTC BP X 47 AN fournissant une puissance totale de crête d'environ 54 Watt.

(Un dispositif de protection à diodes empêche la destruction accidentelle des photopiles).

B. Stockage de l'énergie électrique

La tension de service de l'installation a été fixée à 24 Volt. Elle est fournie par deux batteries de 12 V, 60 AH en série. (Un régulateur de charge électronique empêche la surcharge des batteries).

C. Utilisation de l'énergie électrique

1) Eclairage

4 tubes fluorescents de 13 W

1 tube fluorescent de 8 W

1 tube fluorescent de 20 W ou 40 W

L'éclairage par fluorescence a été choisi de préférence à l'éclairage par lampes à incandescence à cause de son rendement lumineux plus élevé ; chacun des tubes est alimenté par un convertisseur transformant la tension des batteries de 24 V en une haute tension nécessaire au fonctionnement du tube.

(L'énergie électrique moyenne fournie par les photopiles est d'environ 170 WH par jour, ce qui permet d'alimenter un tube de 13 W pendant environ 10 heures ou deux tubes de 13 W pendant 5 heures, etc ...).

2) Alimentation de petits moteurs

On utilise un convertisseur 24 V continu - 220 V alternatif, 50 HZ permettant d'alimenter le moteur de petits appareils électroménagers jusqu'à une puissance de 300 Watt.

3) Alimentation de radio ou magnétophone

Un dispositif de conversion.

24 V continu - 9 V continu permet de remplacer les piles nécessaires au fonctionnement de ces appareils.

Coût du matériel : environ 10.000 F.F.

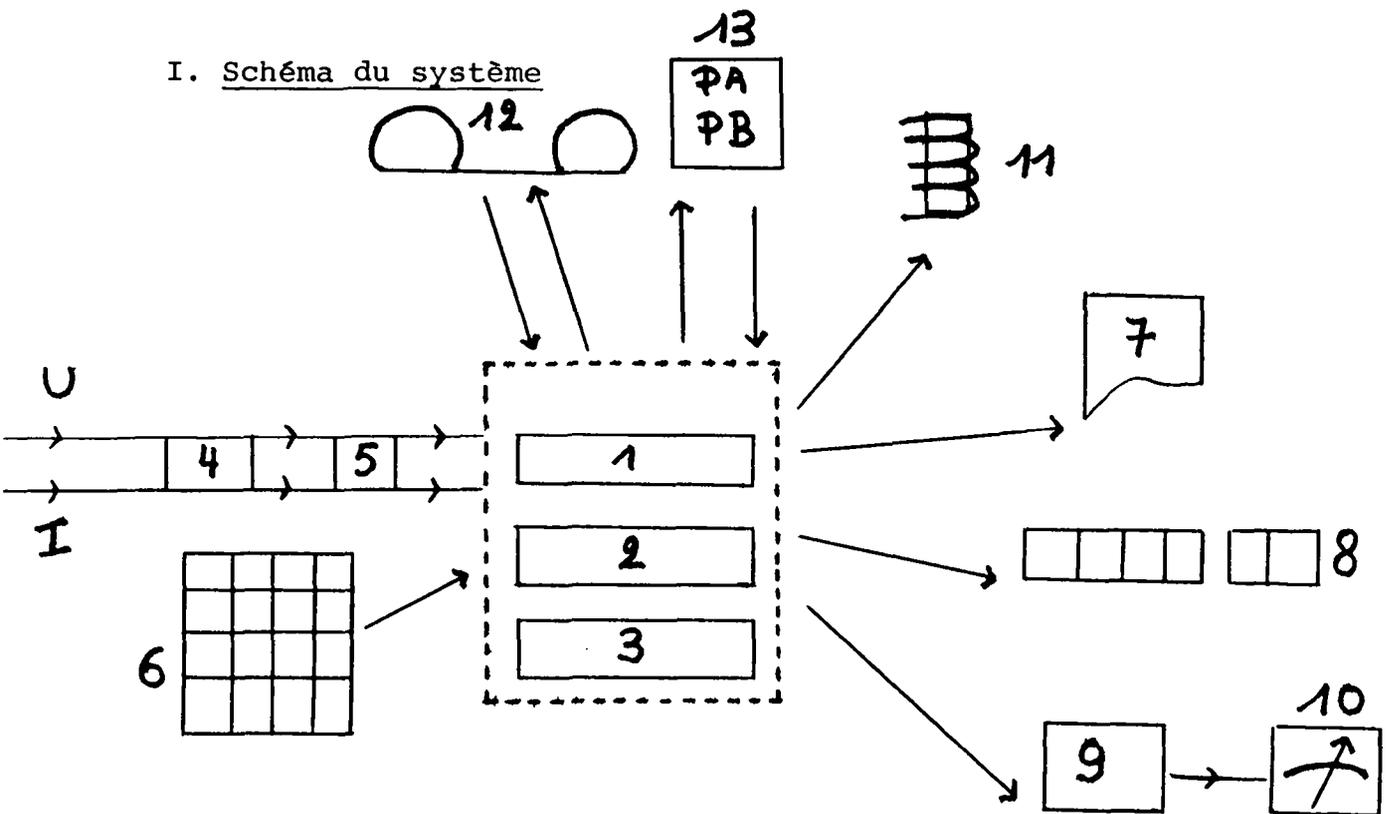
N.B. : les spécifications précédentes sont provisoires et peuvent être modifiées pendant l'installation qui aura lieu au cours de l'année scolaire 1979-1980.

ANNEXE 3

Projet n° 3

Systeme d'acquisition de données
organisé autour d'un microprocesseur

I. Schéma du système

a) Unité centrale

1. microprocesseur SCIMP à 8 bits
2. mémoires mortes pour le moniteur et la gestion canette
3. mémoires vives de 512 octets

b) Organes d'entrée

6. clavier hexadécimal : permet d'entrer les programmes et les données
4. adaptateur électronique
5. convertisseur analogique-digital à 16 voies : permet de transformer une tension en un nombre binaire de 8 bits qui peut être traité par le microprocesseur.

c) Organes de sortie

7. imprimante pour sortir les résultats des mesures sur papier
8. afficheurs lumineux permettent de connaître le contenu de la mémoire correspondant à une adresse donnée
11. Relais : une carte de 27 relais permet de commander différents systèmes suivant le résultat du traitement
9. convertisseurs digital-analogique (4 voies) fournissent une tension proportionnelle à un nombre binaire
10. voltmètre

d) Organes d'entrée-sortie

12. magnétophone : permet d'enregistrer le contenu des mémoires sur une cassette (organe de sortie) , ou de transférer le contenu d'une cassette dans les mémoires (organe d'entrée). Cet appareil permet de sauver les programmes se trouvant en mémoire vive sur une cassette.
13. ports d'entrée-sortie : permettent de tester des états logiques (entrée) ou de sortir des tensions logiques (sortie). Il y a deux ports de 8 bits : le port A et le port B.

II. Mesure de l'énergie électrique fournie par le générateur solaire

1. Principe

La puissance électrique fournie par le générateur solaire est égale au produit de la tension U par le courant I fourni. Ces deux grandeurs varient continuellement, suivant les conditions météorologiques, et il est possible d'effectuer manuellement cette mesure au long d'une journée.

Ce programme exécuté par l'ordinateur effectue une mesure de U et une mesure de I environ toute les $1/10$ sec. Le produit de UI est additionné aux résultats précédents. Au bout d'environ 13 minutes, le résultat final est écrit par l'imprimante.

Ce résultat est proportionnel à l'énergie fournie pendant les 13 minutes ; on peut donc tracer un histogramme de l'énergie fournie au cours de la journée. (voir figure).

Le voltmètre (10) indique l'énergie fournie depuis le début de la journée (intégrateur).

2. Mesure de I et de U

On capte la tension aux bornes du shunt de l'ampèremètre qui mesure le courant fourni I : cette tension est proportionnelle au courant I . Cette tension est amplifiée par l'adaptateur électronique (4) pour arriver dans la gamme (0-5,12 V), qui est la gamme permise des tensions d'entrée du convertisseur analogique-digital (5).

La tension U est ramenée à la gamme (0-5,12 V) par l'adaptateur (4).

Le convertisseur analogique-digital (5) comporte 16 voies dont deux seulement sont utilisées.

La sortie du convertisseur fournit un nombre binaire de 8 bits proportionnel à I ou U , et qui peut être traité par le microprocesseur.

3. Mesure intégrale de l'énergie fournie

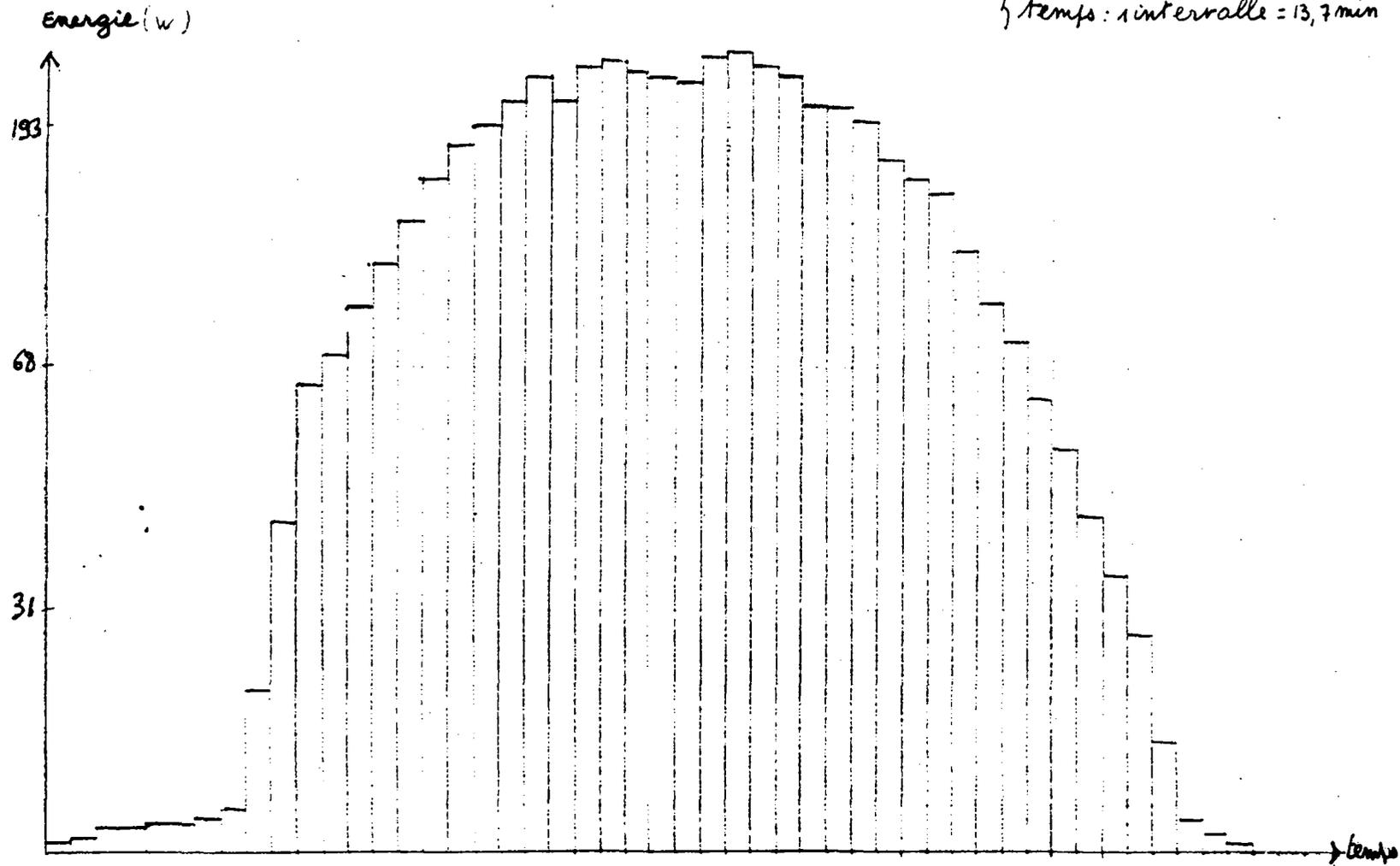
Le résultat des mesures de puissance est cumulé dans un compteur C2 qui est initialisé au moment du lancement du programme. Ce compteur contient donc un nombre proportionnel à l'énergie électrique, fournie depuis le lancement du programme.

Le nombre binaire contenu dans C2 est transformé en une tension proportionnelle par un convertisseur digital-analogique (9), et est affichée sur un voltmètre (10). L'aiguille du voltmètre permet donc de mesurer l'énergie fournie depuis le lancement du programme, et on peut graduer le voltmètre en Watt heure.

MARDI 7 JUILLET 81

CALIBRATION

ENERGIE : 1 gd = 0,62W
temps : 1 intervalle = 13,7 min



H58

- EN= 800
- EN= 800
- EN= 800
- EN= 800
- EN= 802
- EN= 804
- EN= 807
- EN= 802
- EN= 845
- EN= 857
- EN= 869
- EN= 883
- EN= 893
- EN= 105
- EN= 113
- EN= 124
- EN= 136
- EN= 139
- EN= 143
- EN= 151
- EN= 154
- EN= 154
- EN= 160
- EN= 162
- EN= 165
- EN= 164
- EN= 159
- EN= 168
- EN= 161
- EN= 163
- EN= 162
- EN= 155
- EN= 168
- EN= 155
- EN= 150
- EN= 146
- EN= 139
- EN= 130
- EN= 121
- EN= 112
- EN= 102
- EN= 091
- EN= 068
- EN= 034
- EN= 009
- EN= 007
- EN= 006
- EN= 006
- EN= 005
- EN= 005
- EN= 003
- EN= 002

-n°48

Energie fournie à Mutsamudu, le 7/7/81

Mesure n°1: énergie fournie par le générateur
 pendant 13,7 minutes,
 de 6H(43,7)min. à 6H(43,7+13,7)min.
 càd à 6H(57,4)min.
 ou 6H57min24sec

Etalonnage/: 83 correspond à 51,7 W
 donc 1 " " à 0,62 W

EN= 883
 ↓
 51,68 W
 10/03/39

n°2
 n°1

4. Impression de l'énergie fournie pendant le temps t_0

On a câblé un interface entre l'imprimante NIP18 OLIVETTI et le microprocesseur SC/MP grâce à la RAM I/O INS 8154 qui comprend deux ports d'entrée-sortie et 128 octets de mémoire vive.

Les signaux nécessaires à la commande de l'imprimante sont générés par le port A (PA0 à PA7) utilisé en sortie, PBO recevant le signal de sortie synchro venant de l'imprimante. Les caractères à imprimer sont stockés, après transcodage, dans une tolle au début de la mémoire vive, le programme d'impression occupant le reste de la mémoire.

Après un nombre fixé de mesures correspondant à un temps t_0 (par exemple 8192 mesures correspondent à environ 13 minutes) le contenu du compteur est remis à 0. On peut donc tracer l'histogramme de l'énergie fournie au cours de la journée et établir des statistiques. (cfr. plus haut).

5. Etalonnage du système

Les nombres écrits par l'imprimante ou lus sur le voltmètre sont proportionnels à l'énergie électrique. On mesure la constante de proportionnalité en faisant passer un courant constant sous une tension constante, pendant le temps t_0 : on peut alors calculer facilement l'énergie fournie (voir figure).

N.B. : ce système a été installé au cours de l'année scolaire 80-81 dans mon logement.

III. Extensions futures

Il n'a pas été possible, au cours de l'année scolaire 80-81, d'exploiter complètement le système par manque de temps. On peut imaginer de nombreuses extensions dans le domaine de la mesure et de la commande.

A. Mesure

- 1) Le convertisseur analogique-digital comporte 16 voies, dont 2 seulement sont actuellement utilisées (pour la mesure de U et I). Les autres voies peuvent être utilisées pour mesurer d'autres grandeurs analogiques : l'intensité du rayonnement solaire, la température de l'eau du réservoir du chauffe-eau, la tension des batteries, la consommation de divers appareils : frigidaire, éclairage, etc ...
- 2) Les ports d'entrée-sortie inutilisés peuvent tester des contacts : nombre d'ouvertures de la porte du frigo, temps d'utilisation d'un appareil, alarmes, etc ...

B. Commande

- 1) La carte de 27 relais permet de commander un grand nombre d'appareils. Par exemple la protection des batteries est actuellement assurée par un montage électronique fixe, qu'on ne peut pas modifier ; elle pourrait être assurée par un programme qui teste la tension des batteries, et suivant la valeur, commande l'ouverture des relais. Ce système est beaucoup plus souple que le précédent, car il est modifiable facilement : il suffit de modifier le programme. Ce programme pourrait aussi, suivant la valeur de la tension, couper sélectivement certains appareils de façon à assurer une fourniture minimum d'énergie pour l'éclairage par exemple ("graceful degradation").
- 2) Un seul des 4 convertisseurs digital-analogique est actuellement utilisé. Les autres pourraient commander des servo-moteurs, un enregistreur graphique, un oscilloscope, etc ...

Remarque

L'horloge qui rythme la prise de mesures est stimulée par le logiciel. Un système plus efficace comporterait une horloge externe commandant le système d'interruptions du microprocesseur. Cette horloge a été construite et fonctionne mais n'a pu être commutée au microprocesseur par manque de temps. L'utilisation d'interruptions permet d'augmenter considérablement la puissance de traitement du microprocesseur.

Conclusion

Il nous semble que l'utilisation d'un microprocesseur est indispensable pour les mesures et la commande d'un générateur solaire de forte puissance, car il permet facilement, par programme, de changer les grandeurs mesurées et les consignes de commande.

A N N E X E 4

Production solaire d'eau
chaude sanitaireI. Introduction

La totalité de l'eau chaude sanitaire utilisée à Ajouan provient de chauffe-eau électriques. L'eau chaude produite à partir de l'énergie électrique conduit à un gaspillage énergétique inacceptable pour un pays qui doit importer des produits pétroliers pour alimenter les centrales électriques (il faut environ 4KWh thermiques (gasoil) pour produire 1KWh électrique que l'on transforme ensuite en énergie thermique dans le chauffe-eau).

Le chauffe-eau solaire constitue une solution valable au problème de l'eau chaude sanitaire aussi bien pour les usages particuliers (maisons individuelles) que pour les usages collectifs (hôtels, dispensaires, etc ...). Actuellement on se contente d'importer (au prix fort) des chauffe-eau électriques fabriqués à l'étranger. L'adoption du chauffe-eau solaire présente de nombreux avantages :

- 1°) d'après les études faites, le prix de revient de l'eau chaude fournie par un chauffe-eau solaire en Afrique est au moins deux fois moins élevé que pour un chauffe-eau électrique ;
- 2°) diminution de l'importation des produits pétroliers
- 3°) les composants d'un chauffe-eau solaire pourraient être assemblés au Comores par des artisans locaux, ce qui favoriserait le développement de l'emploi.

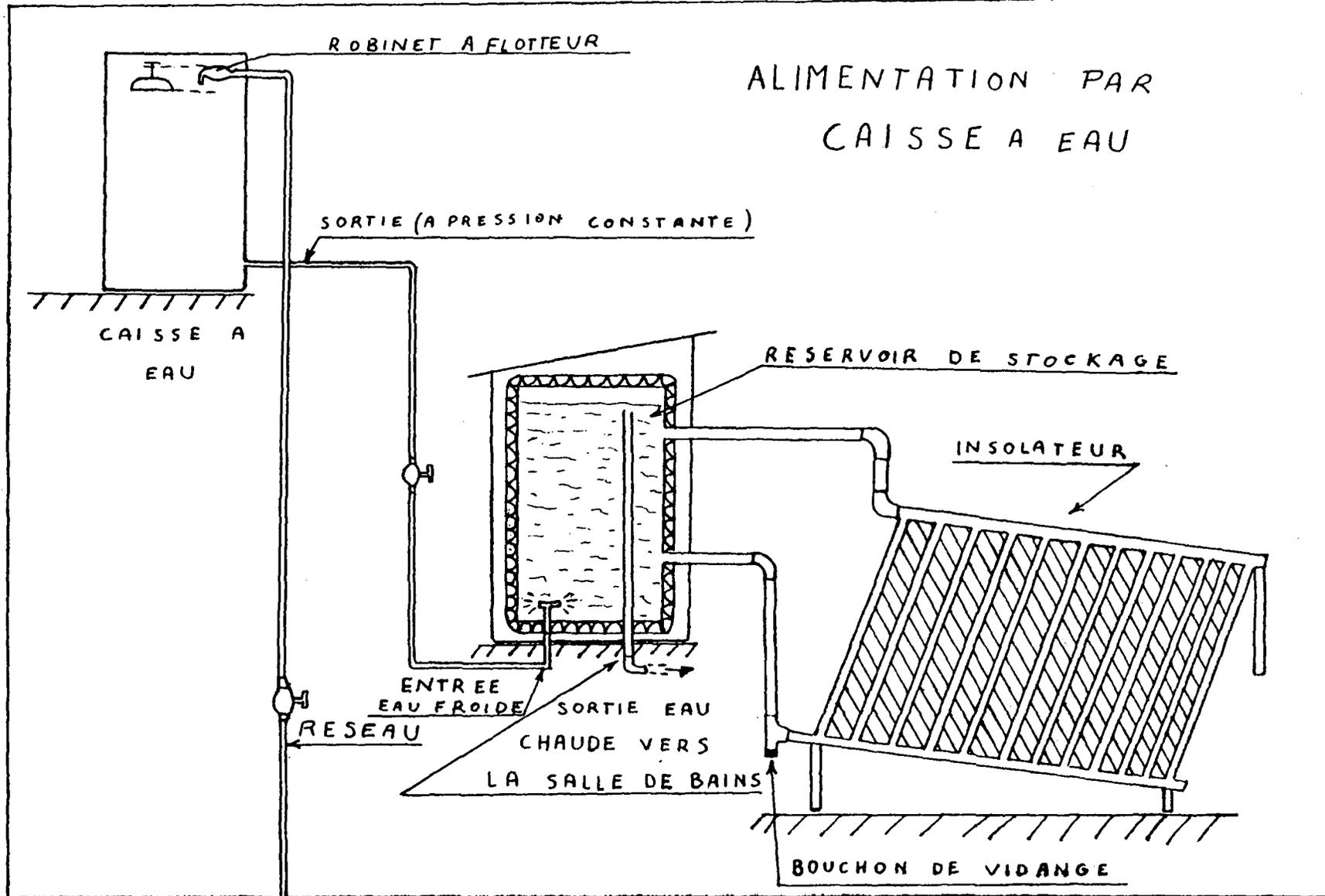
2. Projetsa) Année scolaire 78-79

Chauffe-eau solaire avec circulation d'eau forcée par une pompe commandée par un thermostat différentiel. Il a donné toute satisfaction au cours de l'année scolaire. Ce type de chauffe-eau s'adapterait particulièrement bien aux installations importantes à usage collectif (hôtels, dispensaires, etc ...).

b) Année scolaire 80-81

Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon). Ce projet est en cours de réalisation (février 81). Il s'adapterait particulièrement bien aux usages individuels : il ne nécessite pas d'alimentation électrique, de pompe et de dispositif électronique.

ALIMENTATION PAR CAISSE A EAU



Le chauffe-eau comprend un absorbeur plan formé d'un ensemble de tuyaux parallèles, soudés sur de la tôle peinte en noir. L'absorbeur est relié à un réservoir calorifugé contenant 200 litres d'eau par 2 tuyaux. Une circulation d'eau s'établit quand l'absorbeur est chaud. L'eau sort par le tuyaux situé en bas du réservoir, se réchauffe en traversant l'absorbeur, et rentre dans le réservoir par le tuyau situé en haut du réservoir. Sous l'absorbeur se trouve un isolant qui empêche la transmission de chaleur vers le bas. On n'a pas installé de couverture vitrée au-dessus de l'absorbeur, car la température de l'eau produite sans vitre est suffisante pour la salle de bain. Le chauffe-eau fonctionne depuis le mois d'avril, et il a assuré d'une façon continue la production d'eau chaude entre 40°C minimum et 56°C maximum. Le réservoir étant isolé, la température reste suffisante pendant la nuit et le matin.

A N N E X E 5

Cuisson solaire des
aliments

I. Introduction

La cuisson des aliments représente une proportion importante des besoins énergétiques des Comoriens. Elle est assurée en grande partie par la combustion du bois. Les besoins en bois de chauffe deviennent de plus en plus difficiles à satisfaire, à cause de l'augmentation de la population et de la déforestation. Le foyer traditionnel servant à la cuisson est formé de trois pierres disjointes, posées à même le sol et supportant une marmite. On considère que 5 à 10 % seulement de la chaleur fournie par le bois sert effectivement à chauffer les aliments : la plus grande partie de la chaleur est emportée par l'air.

II. Projets (Année scolaire 80-81 et suivantes)

- a) Construction de plusieurs modèles de cuisinières au bois permettant de contrôler (et donc de diminuer) la quantité d'air alimentant la combustion du bois. Et ainsi d'améliorer le rendement de la cuisson. Il est indispensable que ces cuisinières soient fabriquées uniquement avec des matériaux locaux (argile par exemple), et d'une construction très simple pour pouvoir être adoptées par la population.

Il s'agit de remplacer le système traditionnel de cuisson formé de 3 pierres sur lesquelles repose une marmite par une cuisinière de faible prix construite en argile et munie d'une cheminée ; un clapet règle le tirage. Cette cuisinière permet :

- a) de supprimer la fumée à l'intérieur de la cuisine;
- b) de diminuer l'effort de préparation des plats, les marmites se trouvant à un niveau élevé;
- c) de diminuer la consommation de bois en réglant la quantité d'air alimentant la combustion du bois.

Un premier modèle a été construit et testé pendant quelques semaines.

Un deuxième modèle a été construit en corrigeant les imperfections du premier, et en tenant compte des exigences des ménagères comoriennes. Il semble fonctionner convenablement et il a été mis à la disposition d'une famille comorienne pendant les vacances scolaires 80-81.

Il est prévu de vérifier régulièrement s'il est effectivement utilisé.

Le prix total ne dépasse pas 15.000 FCFA et on pourrait descendre en-dessous de 10.000 FCFA en simplifiant certains composants.

b) Construction d'une cuisinière avec capteur solaire

Il s'agit de produire de la vapeur d'eau ou de l'huile à haute température pour chauffer le récipient contenant les aliments. Il faut donc produire une température plus élevée que pour l'eau chaude sanitaire. Deux procédés sont possibles :

- 1°) capteur à concentration avec un miroir cylindro-parabolique ;
- 2°) capteur plan avec plusieurs vitrages.

L'avantage de ces deux procédés est de ne pas nécessiter un approvisionnement en bois.

Le premier procédé permet d'atteindre une température élevée, mais le capteur n'est sensible qu'au rayonnement direct du soleil, et il est nécessaire de l'orienter fréquemment vers le soleil.

Le second procédé nécessite une construction très soignée (étanchéité, isolation), et la température atteint difficilement 100°. Cependant, le capteur est sensible au rayonnement direct et au rayonnement diffus, et ne nécessite pas d'orientation.

Une cuisinière avec capteur solaire nécessite une technique beaucoup plus complexe qu'une cuisinière au bois, et sera plus difficilement adoptée par la population : il faudra réserver son usage aux collectivités.

A N N E X E 6

La distillation solaire
des fleurs à parfum

I. Introduction

Une partie des exportations des Comores est constituée des huiles essentielles provenant de la distillation des fleurs, notamment l'ylang-ylang et destinées à la fabrication des parfums.

Un des procédés utilisés consiste à distiller un mélange de fleurs et d'eau dans un alambic. L'alambic est chauffé avec du bois ou du gasoil. A l'heure actuelle, l'augmentation très importante du prix du gasoil, la raréfaction du bois rend ce procédé non rentable, ce qui menace gravement une partie de l'économie des îles.

II. Projets (Année scolaire 80-81 et suivantes)

Nous nous proposons de remplacer le bois ou le gasoil par la chaleur fournie par un capteur solaire. Des études préliminaires sont en cours. Si les résultats sont positifs nous construirons un prototype de distillateur solaire à échelle réduite de façon à tester ses performances.

Le principe est le même que pour le chauffe-eau précédent, mais avec :

- a) une isolation plus importante
- b) une couverture vitrée
- c) un échangeur de chaleur qui permet de chauffer un récipient pour cuire des aliments ou distiller un mélange des fleurs à parfum et d'eau sous pression réduite. En effet, la distillation des fleurs à parfum se fait habituellement à la pression atmosphérique, la température d'ébullition est alors d'environ 100°C. Cette température est très difficile à obtenir avec un chauffe-eau plan. Nous avons essayé de distiller sous un vide très médiocre (avec une trompe à eau), et la température d'ébullition descend à 65°C : on pouvait atteindre cette température avec un chauffe-eau plan avec une couverture vitrée.

Un prototype a été construit, mais il n'a pas été possible de l'essayer entièrement, par manque de temps. Un premier essai a permis d'atteindre une température de plus de 70°C.

Pompages solaires au Mali

Projet des Iles de Paix

Résumé de l'intervention de Monsieur Lefevre.
ingénieur, Bureau Courtoy.

1. La région de Tombouctou a une pluviométrie annuelle de 150 mm. Les cultures se font dans le lit du fleuve Niger. 75.000 habitants, dont 35.000 sédentaires vivent sur place. C'est cette région qui a été choisie pour accueillir une "Ile de Paix".
Quatre personnes sont sur place depuis 1973 et, depuis lors, les dépenses s'élèvent à 50 millions de francs belges par an.

2. Premier projet

Depuis mai 1978, une pompe photovoltaïque de 1 kW crête fonctionne près de Tombouctou. Elle irrigue 1 hectare de palmiers dattiers introduits de Mauritanie : les palmiers locaux avaient disparus complètement en 1973 suite à des viroses et à la sécheresse.

Un puits-réservoir de 4 x 4 mètres sur 5 mètres de profondeur a été creusé.

- La grande dimension du puits est due à ce que la nappe est peu importante, et permet, en cas de panne de la pompe, de continuer l'approvisionnement en eau par des moyens traditionnels.

- Aucune panne n'a été déplorée jusqu'à ce jour.

3. Deuxième projet : Baureur Inali

- Baureur Inali est un village situé sur la rive gauche du Niger, à 25 km à l'Est de Tombouctou. On y accède par la piste entre avril et juillet, et par le fleuve le reste de l'année.

- Une des activités agricoles de ce village de 1.100 habitants, est la culture des tomates qui sont séchées et pillées, avant d'être vendues dans toute la région.
Ce sont les femmes du village qui s'occupent de cette production.

- Objectifs du projet

- 1) Alimenter le moulin (7,5 kVA) qui moule les tomates
- 2) irriguer les cultures (la nappe est à 10 mètres)
- 3) électrifier la maternité du village
- 4) prévoir un stockage d'énergie de 5 jours pour la maternité et 3 jours pour l'irrigation des tomates.

- Etat du projet

- . Une méthode de séchage amélioré a été mise au point .
A l'origine, les tomates étaient coupées en deux et mises à sécher sur des nattes posées sur le sol.
L'humidité relative étant inférieure à 20 %, le fruit est sec en deux jours, mais souvent incrusté de sable.
Ensuite les tomates sont pillées et vendues.

Actuellement, les tomates sont placées sur un séchoir surélevé, pour la protection contre le sable. Elles sont ensuite pillées et mises dans des sacs en plastique, fermés par soudure.

- . Un puits a été creusé par la population locale
- . Les cellules et le système électrique sont installés
- . Un moteur de 90 CV est attendu.

4. Troisième projet : Tinagalach

Tinagalach est l'endroit, à 120 km au nord de Tombouctou, où les nomades veulent installer leur centre administratif. Y existent déjà un puits, une école, un dispensaire, un magasin à vivres.

Le projet est d'y creuser un puits de 62 mètres avec exhaure solaire.

Le projet est en négociation. Le coût du système de pompage installé sera de 6 à 7 millions de francs belges.

COTA

SEMINAIRE DU 7-9 au 11-9-1981

L'ENERGIE SOLAIRE ET L'APPROCHE BIOCLIMATIQUE
DU BATIMENT.

UNE ETUDE DE CAS : "Le Centre de Formation Agricole
de Nianing " au Sénégal.

O. DELLICOUR ; Architecte, consultant UNESCO

1. APPROCHE BIOCLIMATIQUE DU BATIMENT : quelques définitions.

La voie bioclimatique ou passive se définit par opposition à la voie technologique;

Bioclimatisme : principe de conception architecturale visant à utiliser au moyen de l'architecture elle même, les éléments favorables du climat en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique.

Technologisme : tendance à intégrer à une architecture, un ensemble de techniques d'hélio-ingénierie destinés à satisfaire les besoins en chauffage ou en climatisation, indépendamment de la réaction propre de l'architecture.

Lorsque l'on parle d'énergie solaire la tendance consiste le plus souvent à appliquer des installations solaires (hélio-ingénierie) à des constructions ordinaires. Ces techniques reviennent à considérer, comme n'importe quel autre système de chauffage ou de climatisation, l'espace habitable comme un milieu fermé indépendant de la structure qui l'enveloppe et dont on satisfait les besoins en confort par des moyens mécaniques.

Or, cette technologie non seulement est coûteuse (investissement en capital ce qui n'est pas approprié aux PVD) mais en plus ses performances techniques et économiques sont encore aléatoires. Ajoutons à cela une fiabilité dans le temps très réduite et un degré de technicité souvent hors de portée des utilisateurs ce qui ne fait qu'augmenter la dépendance visàvis de l'extérieur.

L'approche bioclimatique c'est au contraire ne compter que sur ses propres ressources, c'est se concentrer sur l'enveloppe habitable et se poser la question ; comment assurer par des dispositions architecturales (structure et éléments architecturaux complémentaires) le maximum de confort en dépensant le minimum d'énergie... Une bonne partie de ce confort peut en effet être assurée par la forme du bâtiment, son orientation, ses matériaux et la typologie de construction qui en résulte... Lorsque ceux ci ont été choisis en fonction de conditions climatiques données. L'étude de cas présentée en est un exemple.

Il s'agira donc ici de l'utilisation de l'énergie solaire par des voies passives et cette démarche fait appel à des notions fondamentales comme ; le confort thermique, l'effet des facteurs climatiques, et la thermique du bâtiment.

2. RAPPEL DE NOTIONS THEORIQUES SUR LE CONFORT THERMIQUE.

Le confort thermique n'est pas déterminé par un seul paramètre qu'est la température de l'air mais dépend de plusieurs facteurs et principalement des éléments suivants :

1. Amplitudes des T° de l'air
2. Humidité de l'air
3. Mouvement de l'air (vitesse)
4. Rayonnement solaire incident + intensité (par extension ; flux de radiation de l'environnement immédiat)

A l'exception de l'intensité du rayonnement solaire, les valeurs moyennes de ces facteurs climatiques pour un site donné sont disponibles par le traitement des données météorologiques.

En ce qui nous concerne, les facteurs 1. et 2. sont difficiles à influencer sans recours aux moyens mécaniques. Mais en intervenant sur les deux autres il est possible d'améliorer sensiblement la sensation de confort par la conception du bâtiment. (3. et 4. = champ d'action possible)

La sensation de confort étant une notion relative, il n'y a pas de valeur unique et absolue des conditions hygrothermiques de confort mais plutôt une zone de confort. Plusieurs auteurs ont tenté de définir cette "zone" parmi lesquels V. Olgyay ; la figure suivante montre la représentation des conditions de confort repérée par rapport à la température sèche de l'air et à l'humidité relative.

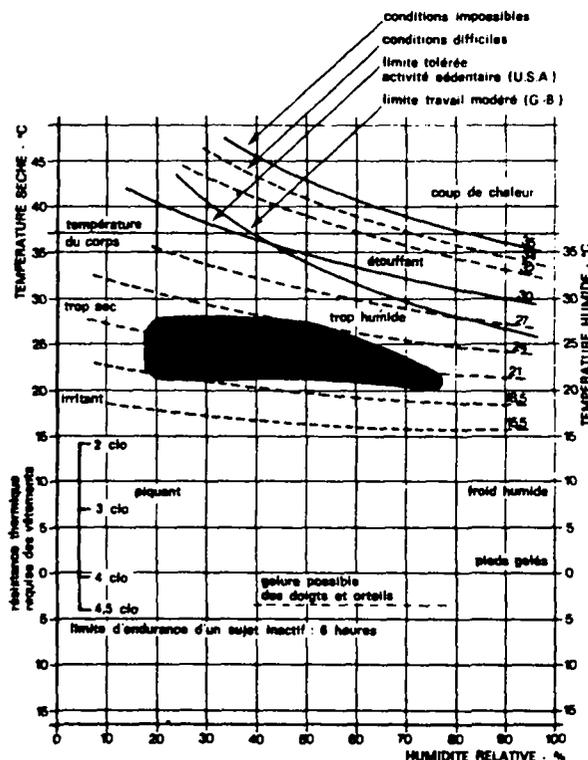


Figure 1 : ZONE DE CONFORT THERMIQUE SELON OLGYAY. Qualification des ambiances en dehors de la zone et effet des ambiances inconfortables sur le corps ; résistance thermique requise des vêtements (en unités Clo) ; limites des conditions de chaleur en fonction de l'activité.

Dans une autre représentation, plus opérationnelle pour le constructeur, Olgay donne autour de la "zone de confort" les conditions à satisfaire pour ramener l'ambiance dans les conditions de la zone de confort. Ce graphique donne un niveau de rayonnement, une vitesse d'air ou une humidification nécessaires lorsque l'on s'écarte de la "zone".

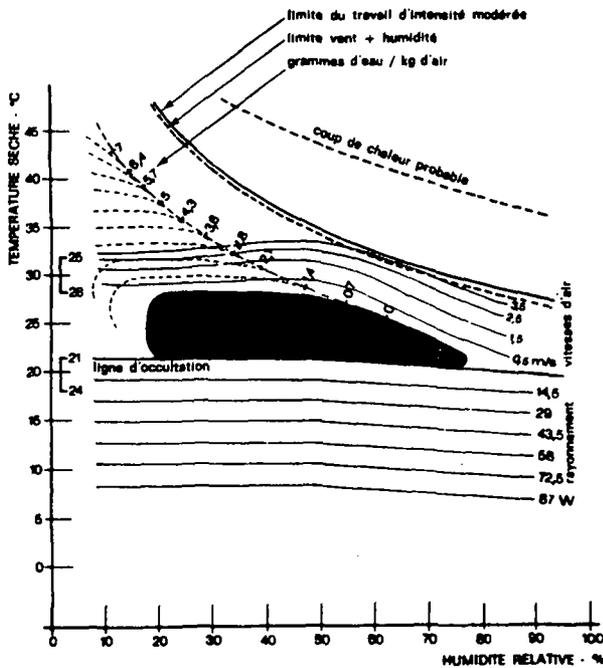


Figure 2 : CONDITIONS A SATISFAIRE POUR REINTEGRER LA ZONE DE CONFORT SELON OLGAY. Représentation des ambiances thermohygrométriques nécessitant une action sur la température radiante, sur l'humidité de l'air et sur la vitesse de l'air, ainsi que sur l'occultation des ouvertures.

Du point de vue bioclimatique, le concepteur d'un bâtiment peut influencer principalement sur la température des parois & la ventilation naturelle.

La ventilation naturelle sera fonction principalement de l'orientation par rapport aux vents dominants et du dimensionnement des ouvertures. Tandis que les températures moyennes de rayonnement des parois dépendent de l'inertie thermique de la construction.

3. NOTION D'INERTIE THERMIQUE.

Le principe de l'inertie thermique d'une paroi est que, si elle reçoit sur une de ses faces un flux d'énergie, elle l'accumule et ne le restitue sur l'autre face que plus tard. Ce déphasage s'accompagne également d'un amortissement de l'onde thermique, c'est-à-dire d'une diminution de son amplitude ce qui est fondamental pour le confort. L'onde thermique se présente sous la forme d'une sinusoïde (figure 3). Une inertie thermique suffisante du bâtiment réduit (amortit) les oscillations de température de l'air dans les locaux tant à l'échelle de l'alternance jour-nuit qu'à l'échelle d'une insolation passagère. Son effet consiste à réguler l'écoulement des flux de chaleur extérieurs dont le débit varie entre la nuit et le jour, afin qu'à l'intérieur de très faibles variations soient perçues.

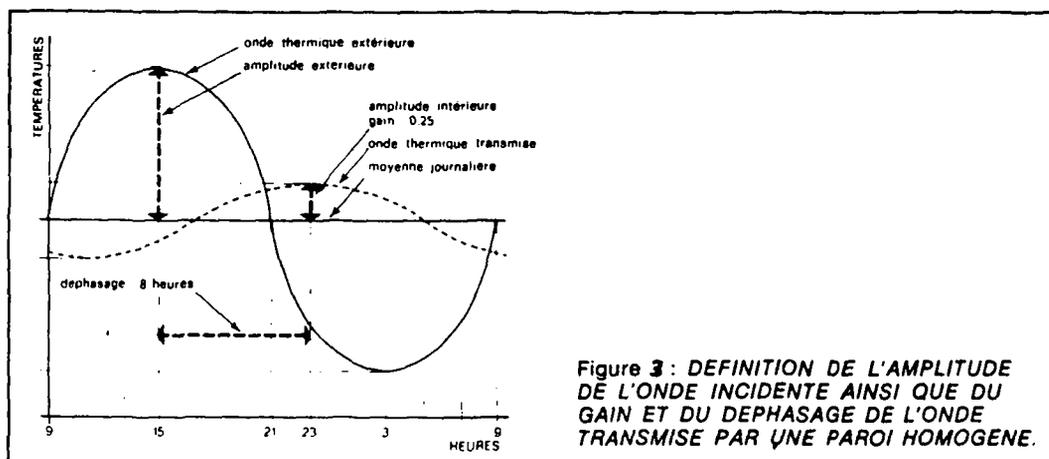
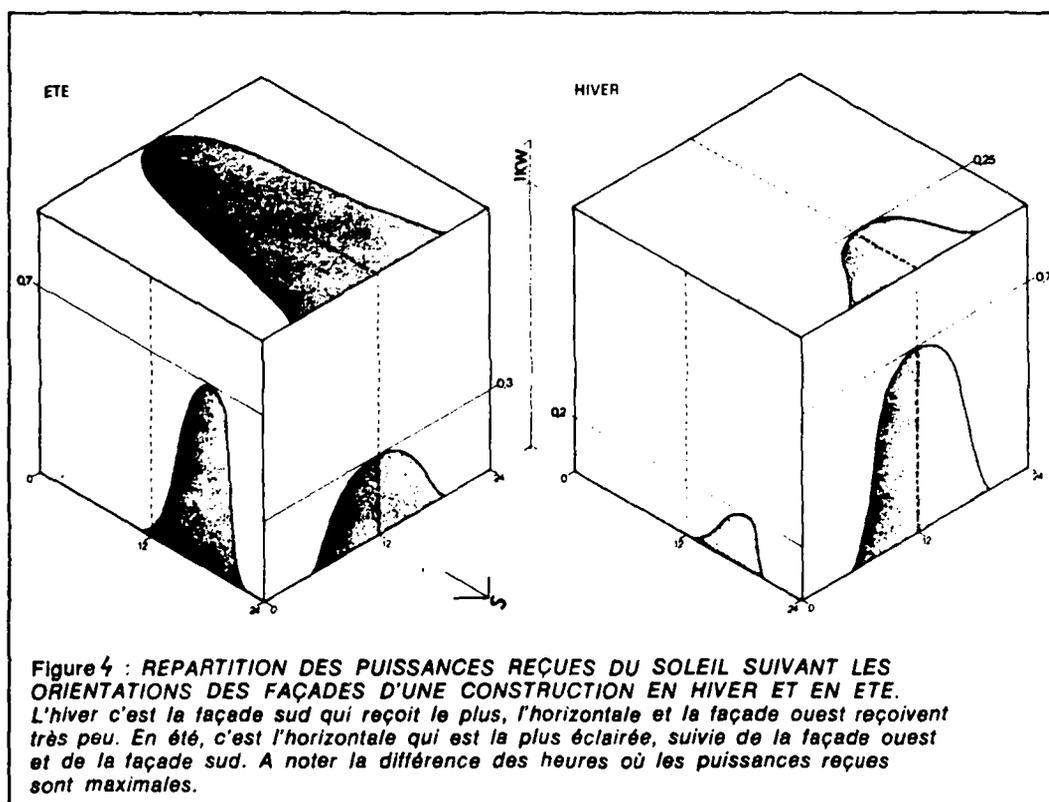


Figure 3. Amortissement de l'onde thermique.

Le gain et le déphasage caractérisent une paroi soumise à un régime thermique de forme sinusoïdal. La réponse globale de la construction vis-à-vis des seuls phénomènes de conduction thermique sera la synthèse des réponses de chacune de ses parois. (fig.4.)



4. PRESENTATION DE L'ETUDE DE CAS.

"Centre de Formation Agricole de Nianing" au SENEGAL.

Programme : formation théorique et pratique dans le domaine des cultures maréchaîres et du petit élevage.

Effectif : 64 stagiaires - 9 enseignants.

Bâtiments : salles de cours - services - admin. et logements.

Maitre de l'ouvrage : CARITAS - Sénégal.

Etudes et réalisation : UNESCO :- BREDA Dakar.

Années de construction : 1976 - 77.

- Extraits du rapport "Vers une meilleure utilisation des ressources locales en construction"
BREDA - Dakar - 1978.

4.1 FACTEURS CLIMATIQUES SUR LE CONTINENT AFRICAÏN ET LEURS EXIGENCES

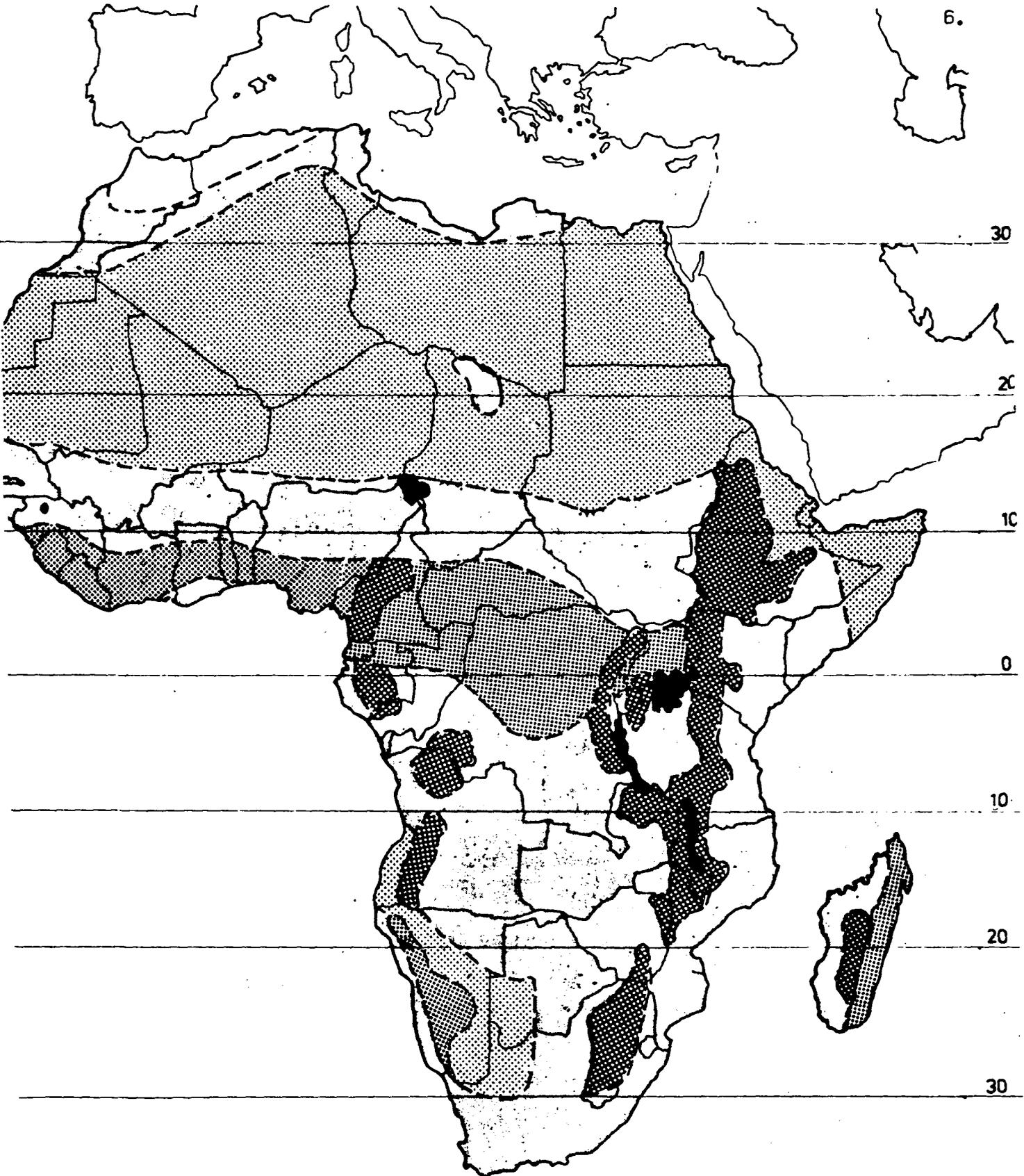
En se basant sur la température de l'air avec ses variations diurnes et annuelles et l'humidité relative, il est possible de classifier le continent Africain en types généraux de climat.

Cette distinction intéresse directement les constructeurs non seulement parce qu'elle détermine différentes sources d'inconfort, mais aussi, parce que, liée à la géographie, elle détermine des différences dans les ressources locales, dans les matériaux utilisables pour la construction.

Pour les principes de constructions illustrées par le prototype de Nianing, on peut dire de façon générale, qu'ils intéressent la ceinture aride et semi-aride du monde. Pour le continent Africain, c'est la zone qui s'étend de part et d'autre du tropic du Cancer, entre les latitudes 15° Nord et 35° Nord (voir figure 5).

Cette zone grossièrement définie, regroupe plusieurs types de climats qui présentent des caractéristiques climatiques principales similaires intéressant la construction. On y rencontre principalement un climat continental chaud et sec avec des précipitations faibles d'où les 4/5 de la zone sont constitués par des steppes désertiques ou semi-désertiques, arides ou extrêmement arides, (ce qui limite d'office les ressources en matériaux de construction).

.../...



CLASSIFICATION DU CONTINENT AFRICAIN EN TYPES GENERAUX DE CLIMATS

-  CLIMAT CHAUD & SEC
-  CLIMAT COMPOSE OU DE SAVANE
-  CLIMAT CHAUD & HUMIDE
-  CLIMAT TROPICAL D'ALTITUDE

FIGURE 5

4.1.2

Ramener aussi les 4/5 de la superficie à un seul type de climat serait une généralisation exagérée. En particulier, la bordure Sud de la zone est difficile à déterminer vu qu'en réalité la zone de discontinuité entre ce climat continental sec et le climat maritime humide n'est pas fixe mais est sujette à un mouvement Nord-Sud une fois par an, ce qui explique dans certains pays comme le Sénégal, l'alternance de deux saisons dans l'année; ce sont les climats composés ou de savane.

La figure 6 montre comment la ligne fictive de séparation entre l'air continental (Sahara) et l'air humide maritime (Atlantique) suit un mouvement vers le Sud en Janvier étendant l'influence de l'air sec continental presque jusqu'à la côte, et en Juillet, vers le Nord jusqu'à une latitude près des 20° Nord.

Cette alternance de saison humide et sèche dans les climats composés ou de savane pose un problème particulier pour la construction. En effet, les exigences de ces deux types de climat peuvent sembler contradictoires. En climat chaud et humide, le confort intérieur dépendra dans une large mesure de la manière de maîtriser - 1) la circulation de l'air, -2) les sources de radiation de chaleur.

Ce climat exige une ventilation transversale permanente (plan ouvert, grande ouverture, structure relativement légère pour éviter l'accumulation de chaleur le matin). Par contre, en climat chaud et sec, la conception du bâtiment devra tirer avantage de l'écart considérable qui existe entre les températures diurnes et nocturnes (plans compacts avec petites ouvertures et possibilités de fermeture), structure plutôt massive (Isolation par accumulation). Ainsi, les caractéristiques générales du climat à retenir pour la construction dépendront de la durée et de l'intensité de chacune des saisons. En général, à l'intérieur du Sénégal, les exigences de la saison chaude et sèche prédomineront sur celles de la saison humide (hivernage). Cette dernière étant beaucoup plus courte (3 mois sur 12), ce qui n'implique sur le plan de la conception que certaines modifications du plan de base prévu pour climat chaud et sec.

La construction pour ce groupe climatique doit pourvoir une capacité thermique pour retarder la transmission de chaleur, pour la saison sèche, durant la journée, de l'extérieur vers l'intérieur, et durant la nuit, de l'intérieur vers l'extérieur. La composition en plan doit être modérément compacte avec cour intérieure, tout en prenant avantage des vents dominants durant la saison chaude et humide.

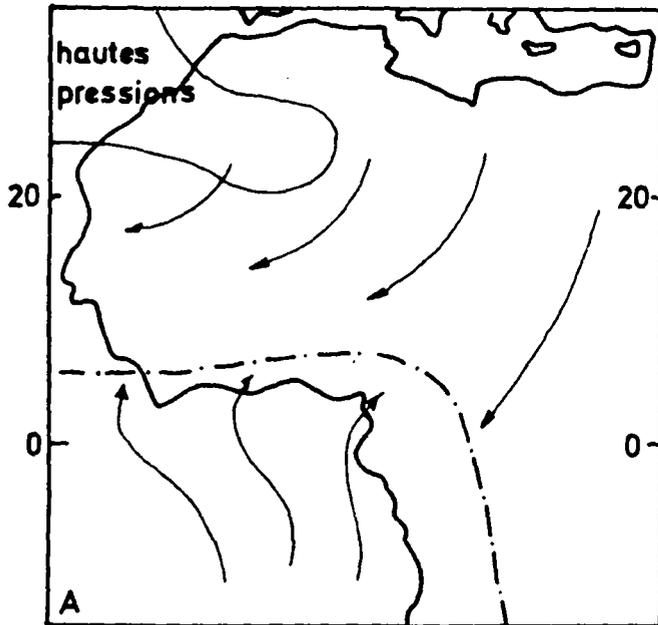


FIGURE 6 A

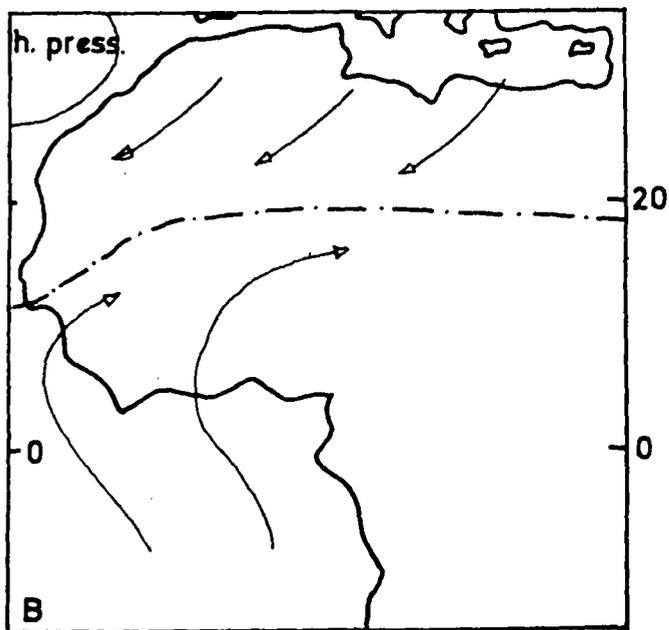
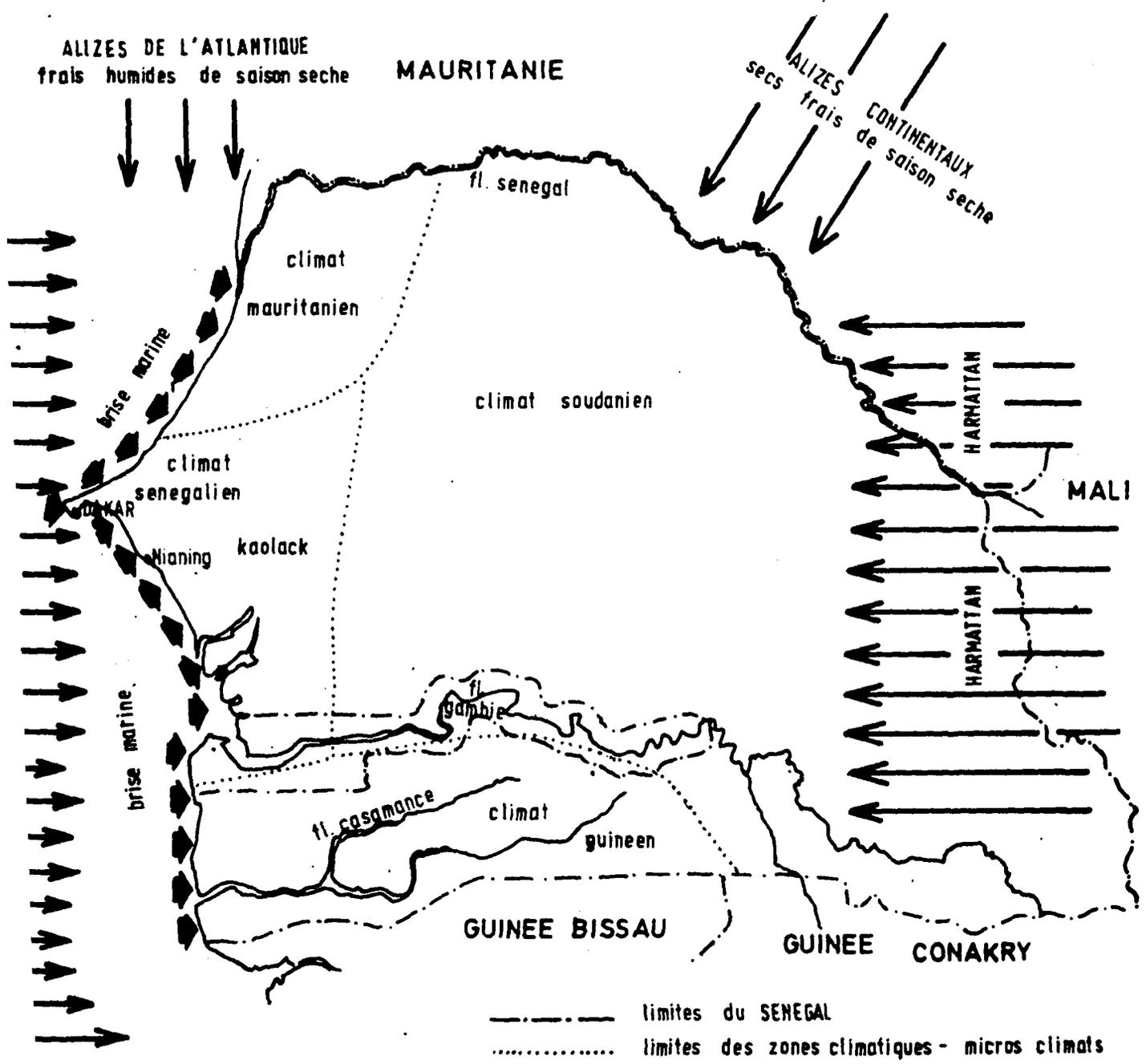


FIGURE 6 B

POSITION RELATIVE DE LA "SURFACE DE DISCONTINUITÉ"
 ENTRE AIR SEC CONTINENTAL ET AIR HUMIDE MARITIME
 A) EN JANVIER B) EN JUILLET

Influences du climat.



source pascal GALDI IUT Dakar "l'habitat rural au SENEGAL"

FIGURE 7.

4.2 DONNEES CLIMATOLOGIQUES POUR LE SENEGAL

En annexe II on trouve les données climatiques pour la ville de Kaolack, située à 110 kms Sud-Est de Nianing et pour Dakar, située à 60 kms Nord-Ouest de Nianing. (Voir figure 6 pour les influences du climat au Sénégal).

4.3 MICRO-CLIMAT DE NIANING

Une distinction doit être faite entre macro et micro-climat, toutes les considérations qui précèdent relèvent du macro-climat. Il détermine les grands groupes climatiques au niveau des régions, c'est la base sur laquelle le micro-climat peut être évalué.

Le micro-climat est celui du site même, de son environnement immédiat. -Il dépendra surtout de facteurs géographiques-. Plusieurs facteurs contribuent aux conditions spécifiques du micro-climat. Dans le cas de Nianing, la présence de la mer influence assez bien le climat. Surtout en saison sèche, le micro-climat (en comparaison du climat continental sec) est plus humide, avec des écarts diurnes moins grands, mais aussi une température maxima moins élevée. Durant la journée, à partir de 15 heures, un vent frais souffle de la mer. Durant la nuit, un vent chaud et poussiéreux souffle de l'intérieur vers la mer (voir figure 7).

4.4 NOTION DE CONFORT

4.4.1 La construction doit protéger ses habitants des contraintes physiques que leur impose l'environnement. De l'étude des données climatiques au Sénégal, il résulte que les principaux facteurs d'inconfort sont pour les constructions :

- 1) la chaleur et le rayonnement solaire
- 2) l'humidité de l'air à certaines périodes (hivernage)
- 3) le froid en Décembre et Janvier
- 4) vents violents avec pluies battantes en hivernage
- 5) vents de sable.

4.4.2 Les facteurs 1), 2), 3) sont intimement liés à la notion de confort thermique. Ce dernier dépendra de 4 conditions essentielles de l'environnement :

.../...

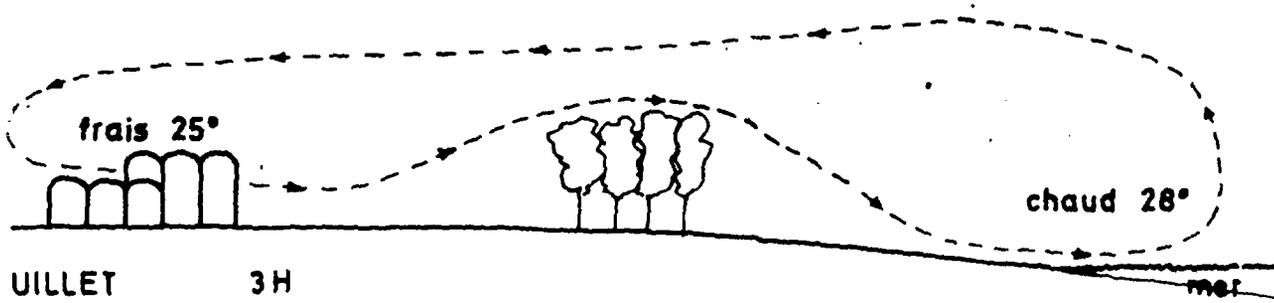


FIGURE 8 A

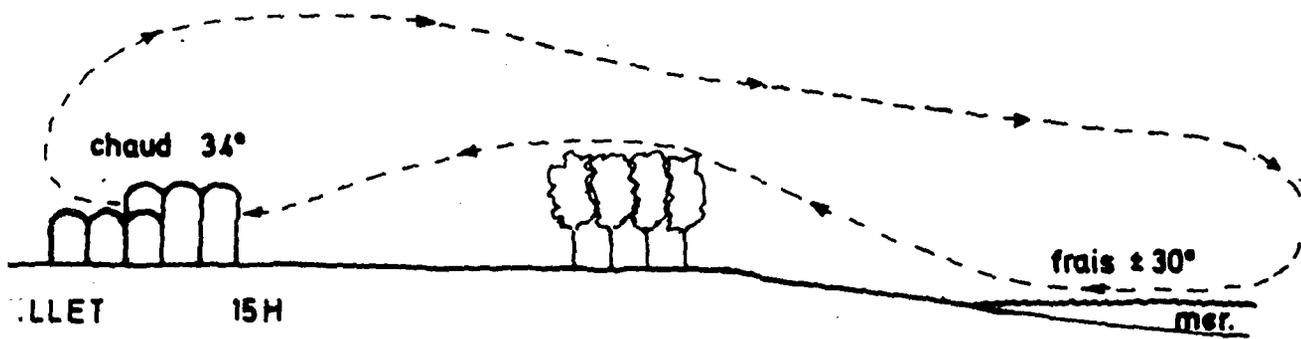


FIGURE 8 B

- 1) la température de l'air.
- 2) l'humidité de l'air
- 3) le mouvement de l'air
- 4) la radiation thermique.

La température de l'air et l'humidité sont difficiles à influencer sans recours à l'intervention des moyens mécaniques. Mais en agissant sur les deux autres, il est possible d'améliorer sensiblement la sensation de confort par la conception du bâtiment. En effet, le mouvement d'air rafraîchit le corps sans abaisser la température ambiante uniquement par convection et évaporation de la transpiration. Il sera favorisé par une bonne orientation par rapport aux vents dominants et par le traitement des ouvertures. Quant aux effets de la radiation, ils sont dosés par une bonne orientation par rapport aux angles solaires et la capacité thermique du matériau utilisé.

4.4.3 Il est possible de représenter graphiquement cette sensation de confort et les différents facteurs qui l'affectent.

Le "schéma bio-climatique" (9) décrit la zone de confort en relation avec la température de l'air et l'humidité relative. En dehors de cette zone on devra agir sur les autres facteurs physiques, le mouvement d'air, la ventilation, l'ensoleillement, la radiation thermique et l'évaporation de l'humidité absorbée.

La superposition du schéma de Olygay avec le schéma tenant compte des conditions locales moyennes pour Kaolack Indique qu'il faudra, la nuit, favoriser la radiation thermique pour les mois de Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril, et la ventilation pour les mois de Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre et Novembre (voir figure 9). Le jour, fournir une bonne isolation thermique et protection contre les vents secs et chauds pour les mois de Mars, Avril, Mai et la ventilation pour le reste de l'année (humidité) (voir figure 10).

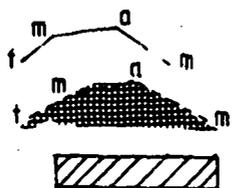
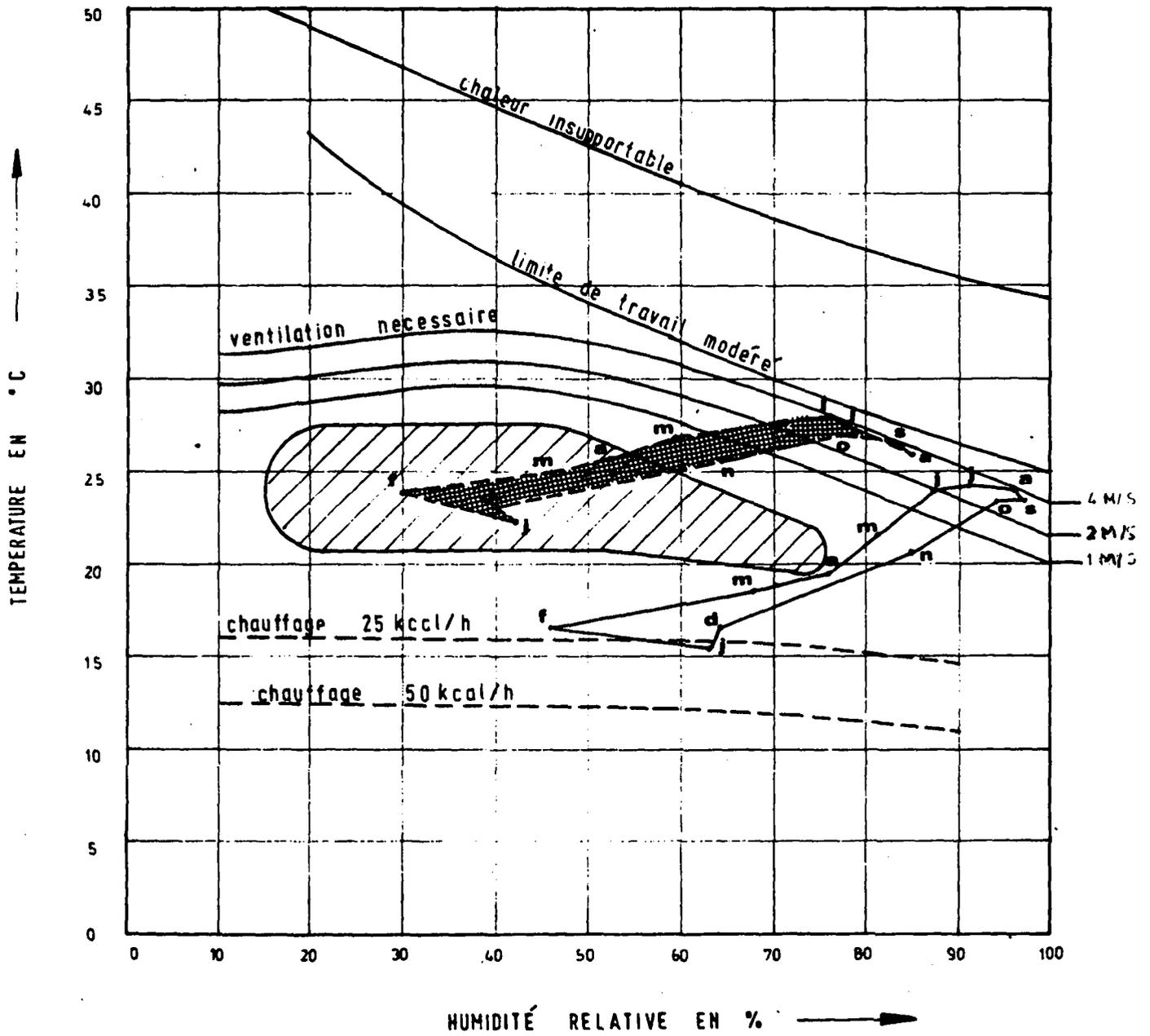
4.5 INERTIE THERMIQUE

La différence qui existe entre les conditions bio-climatiques diurnes et nocturnes pose ici un problème particulier en saison sèche. On souhaiterait se protéger contre le rayonnement thermique pendant la journée et au contraire, de favoriser ce rayonnement pendant la nuit afin de réchauffer l'atmosphère.

.../...

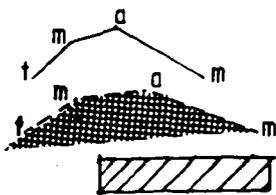
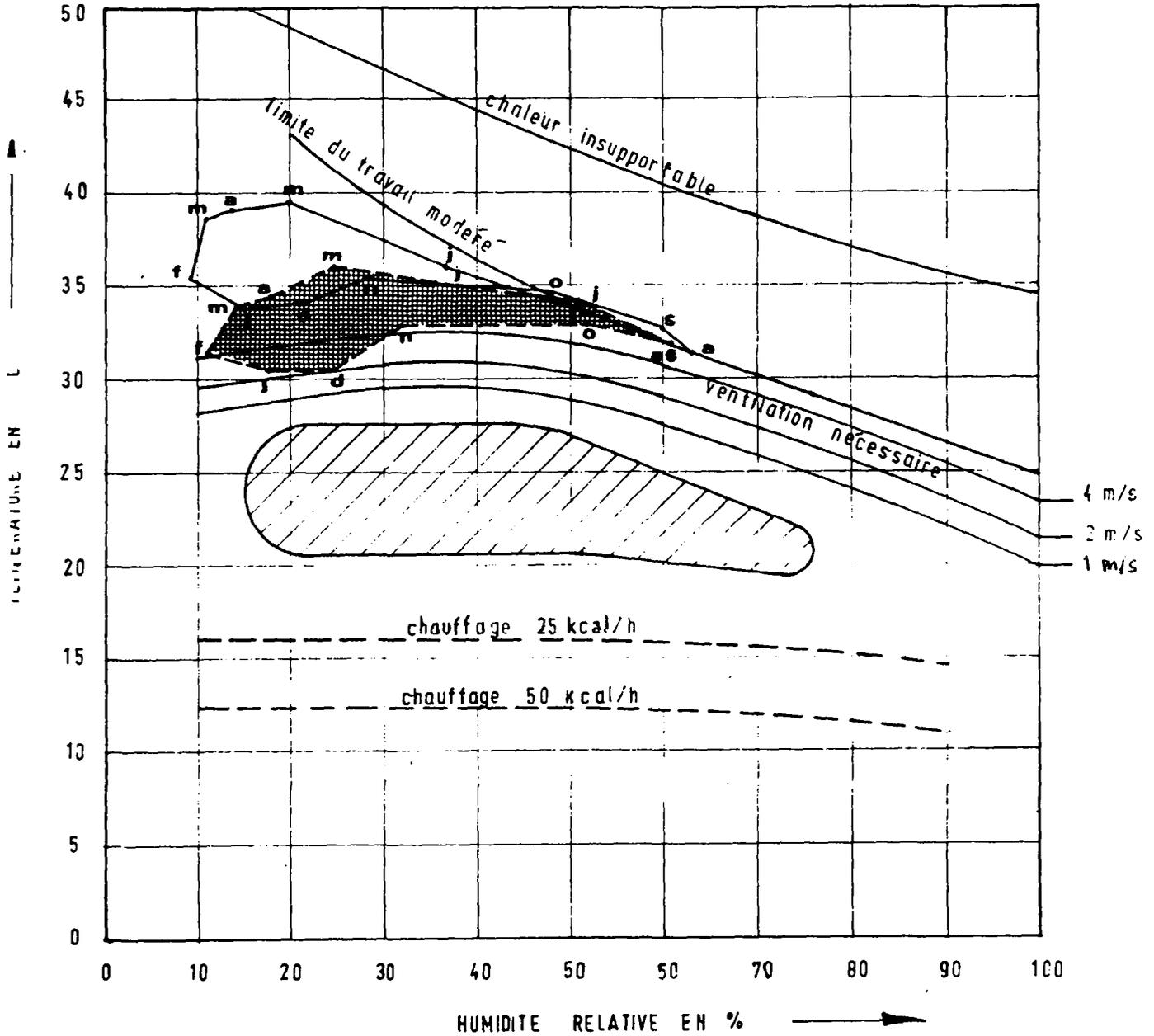
(9) "Bioclimatic approach to architectural regionalism"
V. Olygay Princeton 1963.

CONFORT PENDANT LA NUIT



climat naturel
 climat protégé dans la maison
 zone de confort sans ventilation

CONFORT PENDANT LA JOURNÉE



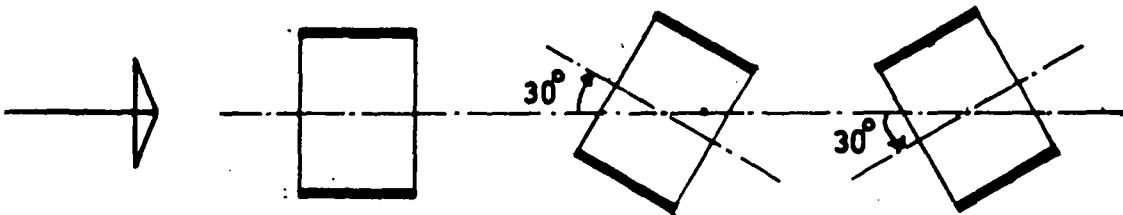
climat naturel
 climat protégé dans la maison
 zone de confort sans ventilation

Dans de telles circonstances, le meilleur isolant sera celui qui emmagasinerà une grande quantité de chaleur pendant la période d'échauffement et qui la restituera ensuite (isolation par accumulation).

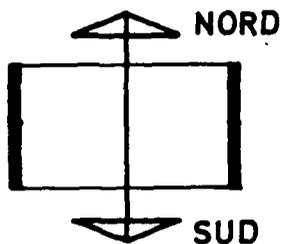
Les figures 9 et 10 montrent l'influence de l'inertie thermique d'un bâtiment dont les murs et la toiture sont de 15 cm d'épaisseur en terre stabilisée sur le climat à l'intérieur du bâtiment en comparaison avec le climat naturel à l'extérieur (voir calcul de l'inertie thermique en annexe I).

4.6 ORIENTATION ET CLIMAT A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT

Il y a parfois contradiction entre la nécessité d'orienter l'axe longitudinal et les ouvertures du bâtiment perpendiculairement à la direction des vents dominants (spécialement en saison humide) et celle d'éviter la pénétration directe du soleil dans le bâtiment aux heures les plus chaudes. On a alors recours à une solution de compromis jouant sur une tolérance de 30° par rapport à la direction des vents dominants en saison chaude.

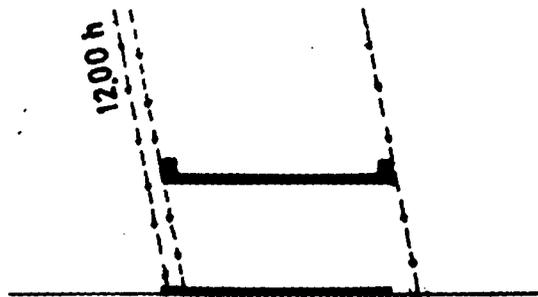


Dans les zones tropicales, l'altitude du soleil est telle que la façon la plus économique de protéger les façades principales (ouvertes) est de les orienter Nord-Sud (c'est-à-dire l'axe longitudinal dans la direction Est-Ouest).



En effet, la façade Sud (ou Nord) sera celle exposée aux heures les plus chaudes de la journée mais avec un angle d'incidence des rayons solaires très grands, vu qu'à cette période (12 heures) le soleil se trouve au point le plus haut de sa trajectoire.

.../...



Toutefois, "l'angle d'incidence" des rayons solaires change constamment suivant le mouvement de la terre par rapport au soleil, et la bonne orientation du bâtiment ne sera pas suffisante pour éviter la pénétration des rayons solaires pendant les périodes de surchauffe.

Les "diagrammes d'angles solaires" (8) déterminent les angles solaires critiques correspondant aux positions extrêmes du soleil (21 Juin et 21 Décembre lorsque le soleil se trouve sur l'un des tropiques).

Les diagrammes présentés en annexe III donnent les angles critiques à considérer pour la latitude de 14° Nord (Dakar) et les heures de 7 heures à 17 heures couvrant la journée solaire.

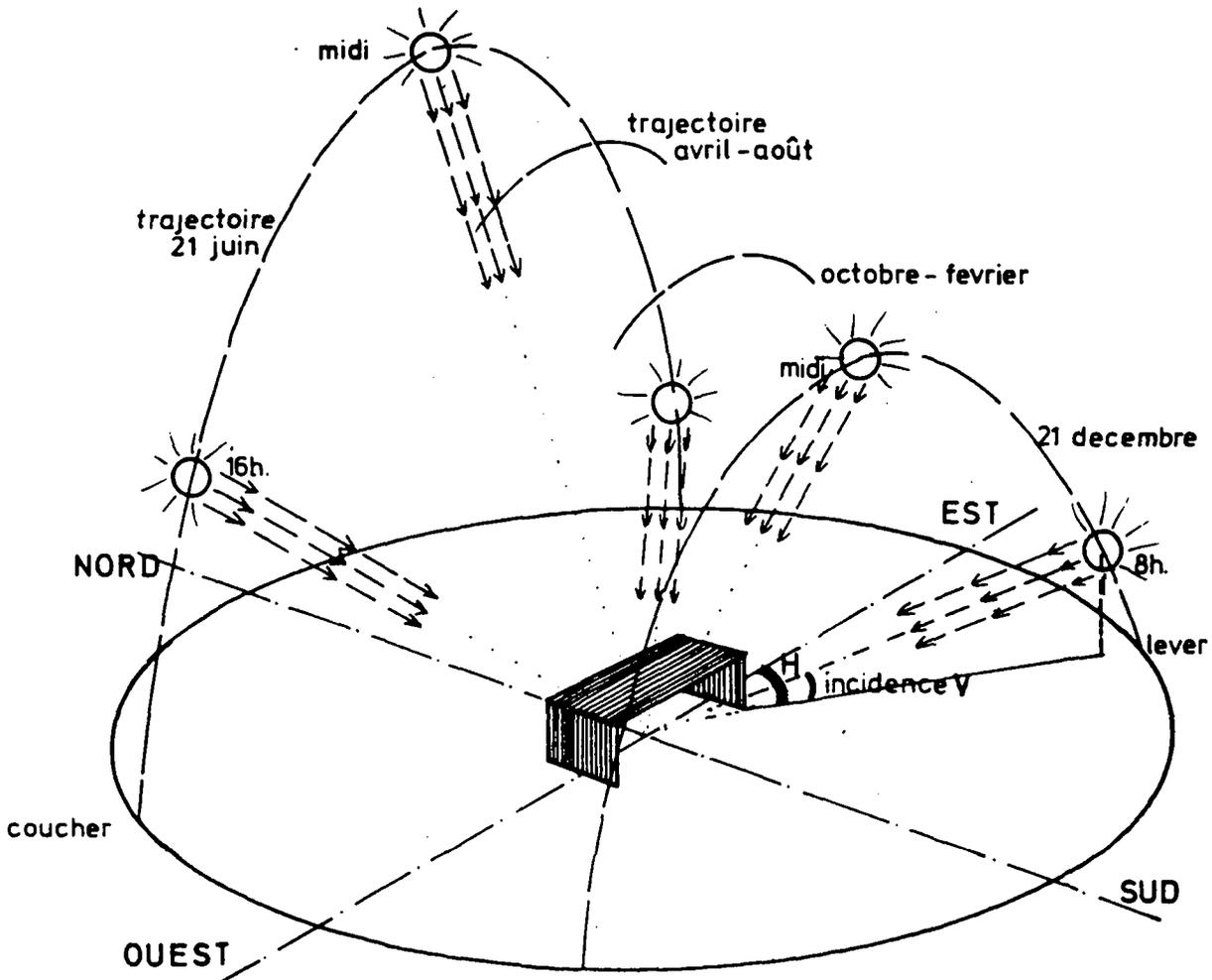
4.7 L'ORIENTATION ET L'ECLAIRAGE A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT

Les activités dans une salle de classe exigent un très bon niveau d'éclairage, notamment, suffisamment de lumière pour bien pouvoir lire de distance ainsi qu'une bonne répartition de la lumière sans qu'il y ait de forts contrastes qui fatiguent les yeux et diminuent la concentration sur le travail.

Ce qui est évident si l'on est amené à choisir une orientation de compromis pour capter les vents dominants, il faut alors avoir recours à des moyens architecturaux qui auront pour fonction d'éviter le rayonnement direct tout en permettant le passage de la lumière et de la ventilation transversale en saison humide (crous, pare-soleil, claustra, etc...). Le choix et la conception de ces "moyens nécessitent une étude précise des angles solaires d'incidence.

(8) voir "Protection solaire" Bussat, Sonderberg, Beyrouth 1971

LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL

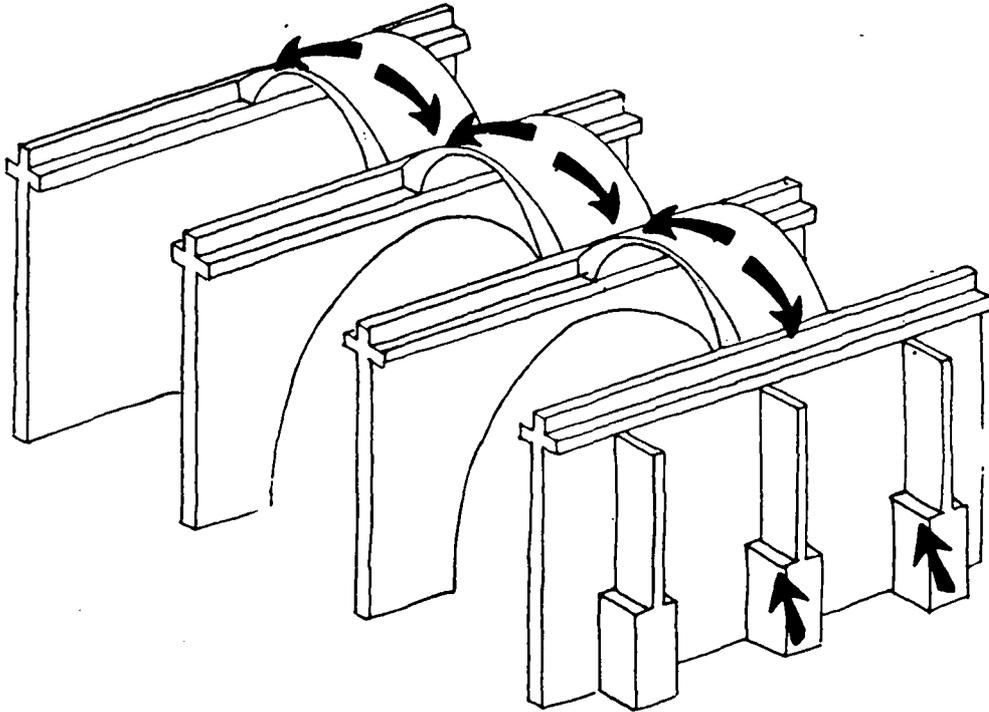


Il importe d'empêcher la pénétration directe du soleil pendant les heures les plus chaudes. Le dessin montre pourquoi on conçoit des pare-soleil pour arrêter le rayonnement le 21 Juin et le 21 Décembre.

Deux angles doivent particulièrement être considérés : l'angle V (hauteur verticale du soleil au-dessus de l'horizon) et l'angle H (angle horizontal entre la direction du soleil et l'axe Est-Ouest).

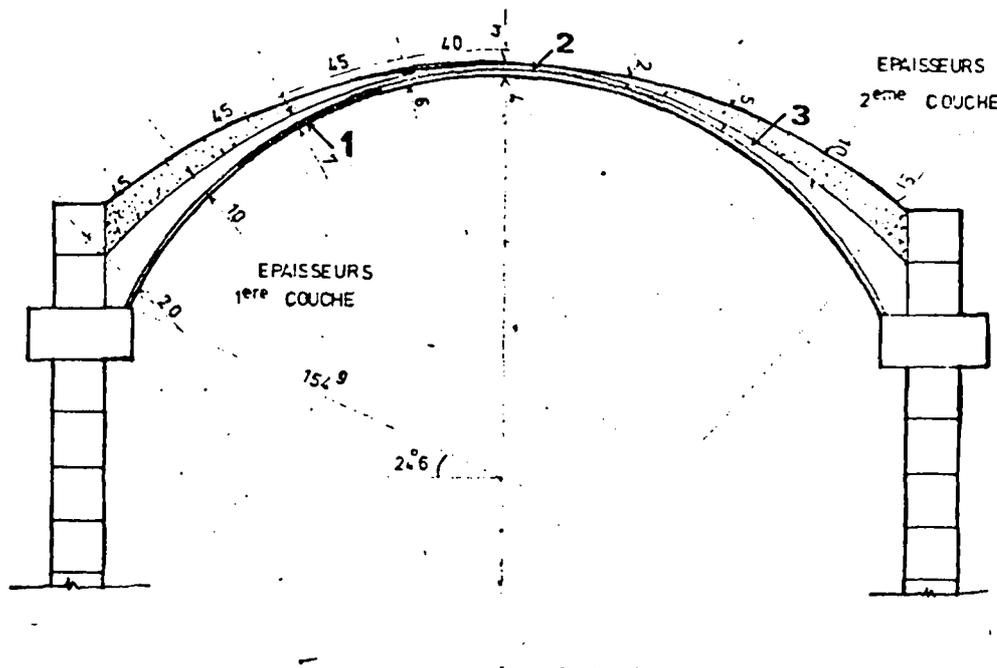
- réf. Rapport sur la construction scolaire N° 2
Bureau Régional de l'Unesco pour l'Education
en Asie.

Principe constructif.



Composition de la toiture.

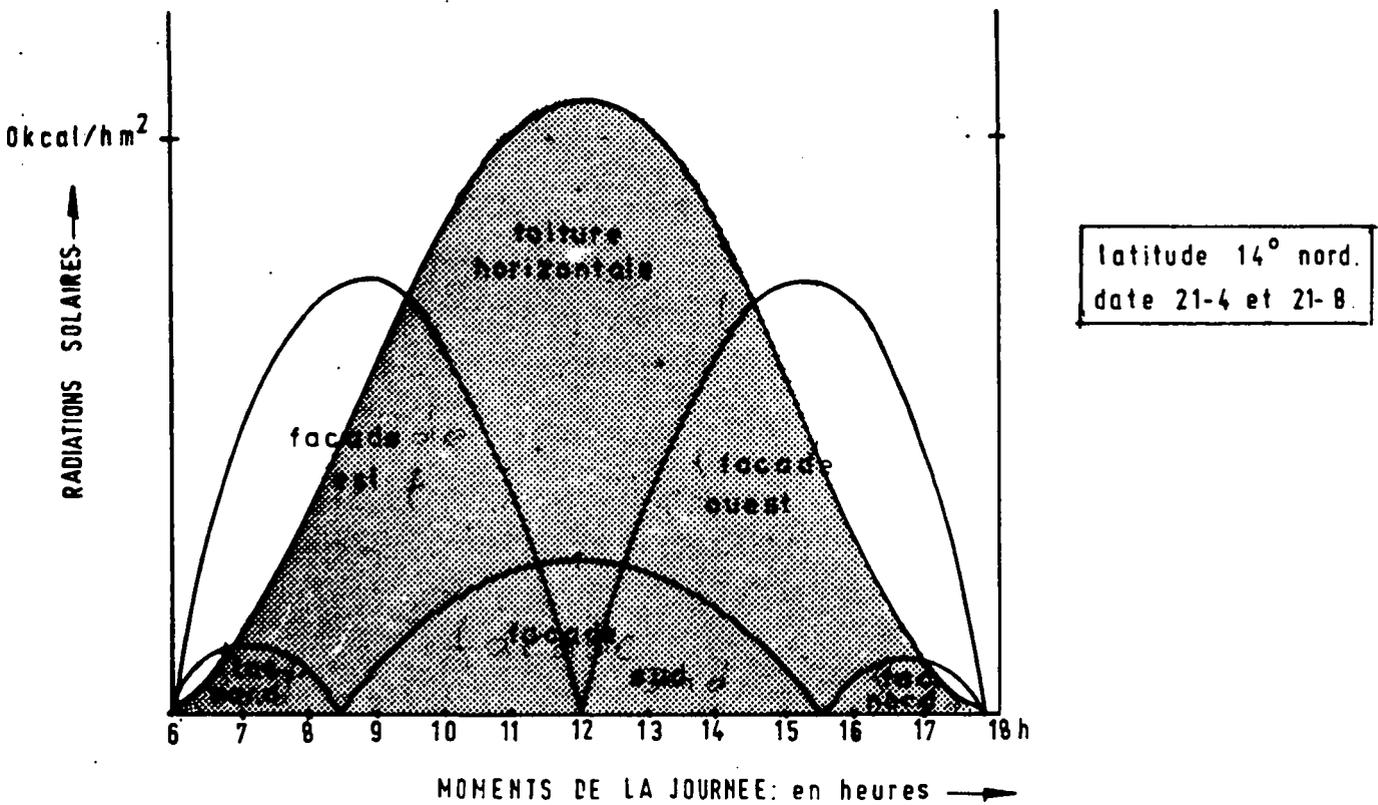
1. coffrage en tiges de mil
2. treilli de poulailler
3. mortier maigre (9% ciment)



CALCUL DE L'INERTIE THERMIQUEExemple de calcul de l'influence de l'inertie thermique ou confortHYPOTHESES :

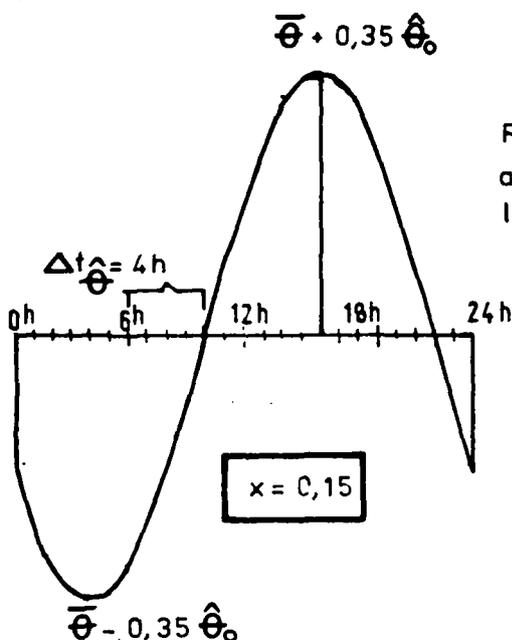
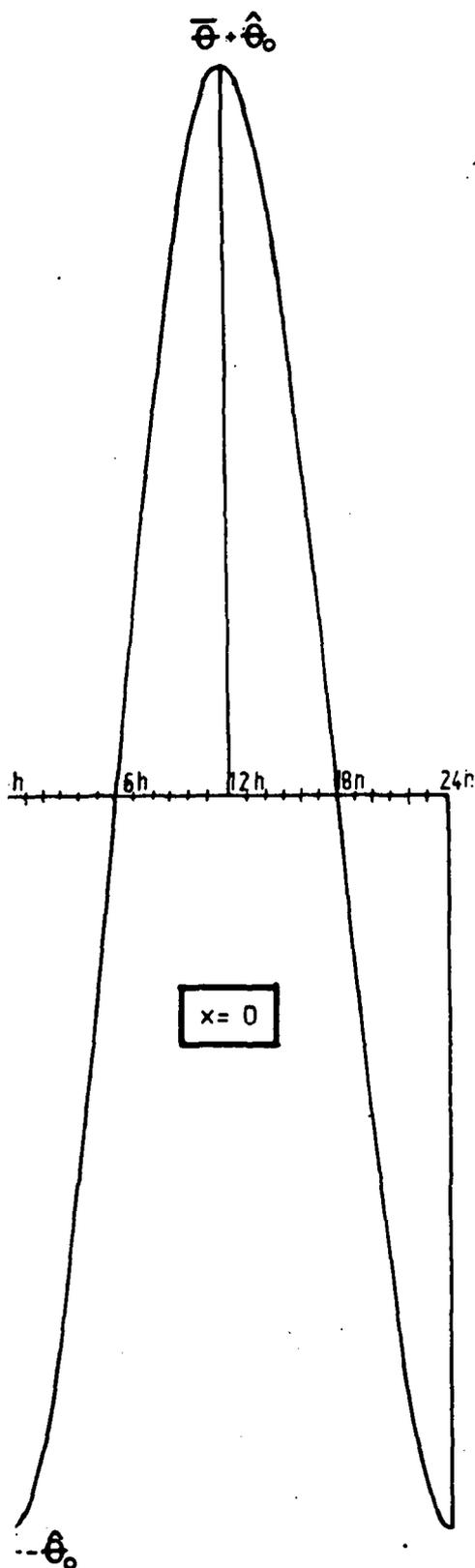
1. On considère un bâtiment dont la surface des façades ($4 \times S$) est quatre fois plus grande que la surface (S) de la toiture ;
2. la quantité d'énergie solaire absorbée par les quatre façades équivaut à celle absorbée par la toiture (voir graphique annexe I₁ page 2) ;
3. la température maximale de la surface extérieure de la toiture est à 50°C plus élevée que la température moyenne mensuelle ;
4. la température maximale des surfaces extérieures des façades est la moyenne entre la température de l'air et celle du rayonnement solaire ;
5. la température minimale de la surface extérieure de la toiture est plus basse que celle de l'air à cause du rayonnement froid du ciel pendant la nuit. Si l'humidité relative est moins de 70%, la baisse de la température sera dans l'ordre de 10°C ; si l'humidité relative est plus élevée, on calculera avec une baisse de la température de 5°C ;
6. la température minimale de la surface extérieure des façades est égale à la température de l'air ;
7. la température dans le bâtiment est égale à la moyenne des températures des 6 surfaces intérieures du bâtiment (sol, mur et toiture), voir tableau annexe IV page 4 ;
8. l'épaisseur des murs et de la toiture est de 15 cm. Le graphique page IV₃ montre l'inertie thermique pour une surface en béton armé de 15 cm d'épaisseur. Le retard de la fluctuation de la température est de 4 heures. La fluctuation de la température de la surface intérieure n'est que 35 % de la fluctuation à l'extérieur.

x graphique (annexe I₁ page 3) : (gc. 42 Toegepaste Bouwfysica T.H. Delft-Pays-Bas)

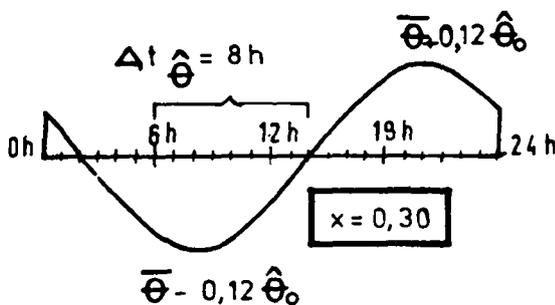


Le graphique représente la radiation solaire par m² qui atteint les différentes surfaces extérieures d'un bâtiment à une latitude de 14° Nord pendant les journées du 21 Avril et 21 Août.

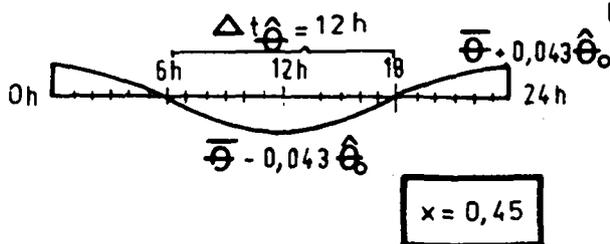
En comparant les surfaces des graphiques pour les façades et la toiture on peut conclure qu'un m² de la toiture reçoit autant de radiation solaire que la somme d'un m² de chaque façade.



Retard: 4h
amortissement de l'amplitude 65%



Retard: 8h
amortissement de l'amplitude 88%



Retard: 12h
amortissement de l'amplitude 96%

BETON ARME:

$\lambda = 1,86 \text{ w/m.k}$

$\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$

$c = 1050 \text{ J/kg.k}$

$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} = 7,38.$

(coefficient de diffusion de chaleur)

x = profondeur de penetration de la chaleur (\approx epaisseur)

t = heure (temps)

source: gc 42 T.H. Delft- PAYS-BAS

CLIMAT A KAOLACK (SENEGAL)

	Climat				Climat protégé				Remarques sur le confort	
	\bar{T}_x	\bar{U}_n	\bar{T}_n	\bar{U}_x	\bar{T}'_x	\bar{U}'_n	\bar{T}'_n	\bar{U}'_x	Jour	Nuit
Janvier	34	15	15 ⁵	63	30 ⁵	18	22 ⁵	42	Faible ventil.	Confort
Février	35 ⁵	9	16 ⁵	46	31 ⁵	11	24	30	Ventil.	Confort
Mars	38 ⁵	11	18 ⁵	68	34	14	25	46	Chaleur Sèche	Confort
Avril	39	14	19 ⁵	76	34 ⁵	18	26 ⁵	52	Chaleur Sèche	Confort
Mai	39 ⁵	20	21 ⁵	81	36	25	27	59	Chaleur Sèche	Faible Ventil.
Juin	36	37	24	87	35	38	28	76	Ventil. Chaleur	Ventil.
Juillet	33 ⁵	52	24 ⁵	91	34	51	27 ⁵	78	Ventil. T. chaude	Ventil.
Août	31 ⁵	63	24	96	32	61	26	85	Ventil. Chaleur	Ventil.
Septembre	32 ⁵	60	23 ⁵	97	32	61	26 ⁵	83	Ventil. Chaleur	Ventil.
Octobre	34 ⁵	48	23 ⁵	94	33	52	27	77	Ventil. Chaleur	Ventil.
Novembre	35 ⁵	28	20 ⁵	85	33	32	25 ⁵	64	Ventil.	Faible Ventil.
Décembre	34	21	16 ⁵	62	30 ⁵	25	23	40	Faible Ventil.	Confort

\bar{T}_x = Moyenne mensuelle des températures diurnes maximales

\bar{T}_n = Moyenne mensuelle des températures nocturnes minimales

\bar{U}_x = Moyenne mensuelle de l'humidité diurne minimale

\bar{U}_n = Moyenne mensuelle de l'humidité nocturne maximale

$$\bar{T}'_x = \frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2} + \frac{\left(0,5 \times 0,35 \frac{\bar{T}_x - \bar{T}_n}{2} + 0,5 \times 0,35 \times 0,25 \times 50\right) \times 4S' + 0,35 \times 50}{6S' \times S'}$$

$$\bar{T}'_n = \frac{\bar{T}_x + \bar{T}_n}{2} - T$$

.../...

ANGLES SOLAIRES

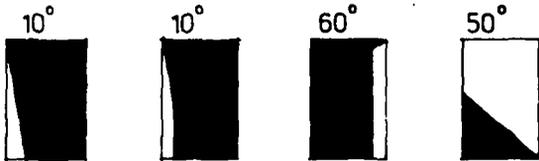
L'ETUDE D'ENSOLEILLEMENT

ANGLES SOLAIRES CRITIQUES DU 22 JUIIN (TEMPS CHAUD)

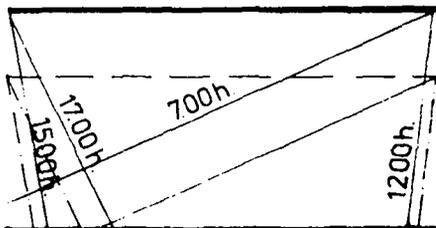
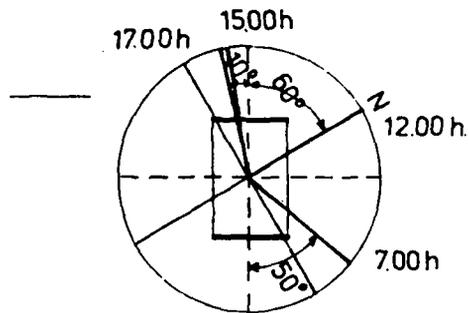
17.00h. 15.00h. 12.00h. 7.00h.



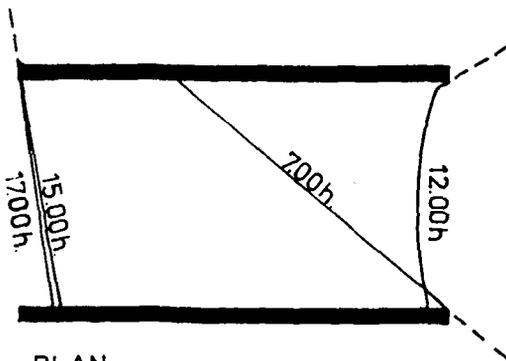
ANGLES VERTICAUX.



OMBRES HORIZONTALES



COUPE



PLAN.

heures solaires: 7.00h. et 15.00h.

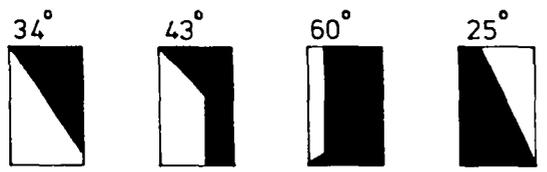
heures locales correspondantes: 8.00h et 16.00h

ANGLES SOLAIRES CRITIQUES DU 22 MARS/SEPTEMBRE

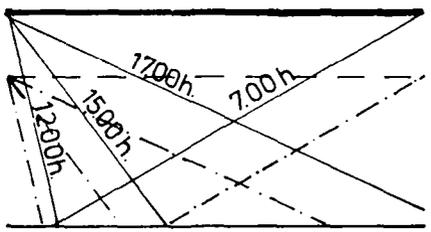
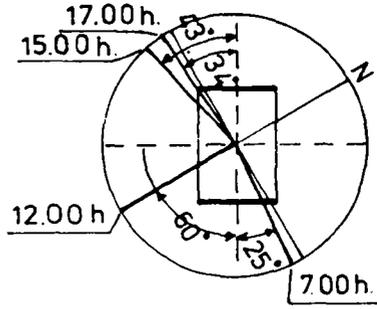
17.00h. 15.00h. 12.00h. 7.00h.



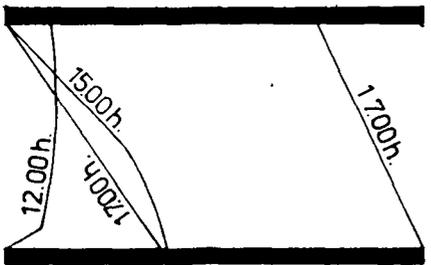
ANGLES VERTICAUX



OMBRES HORIZONTALES



COUPE



PLAN.

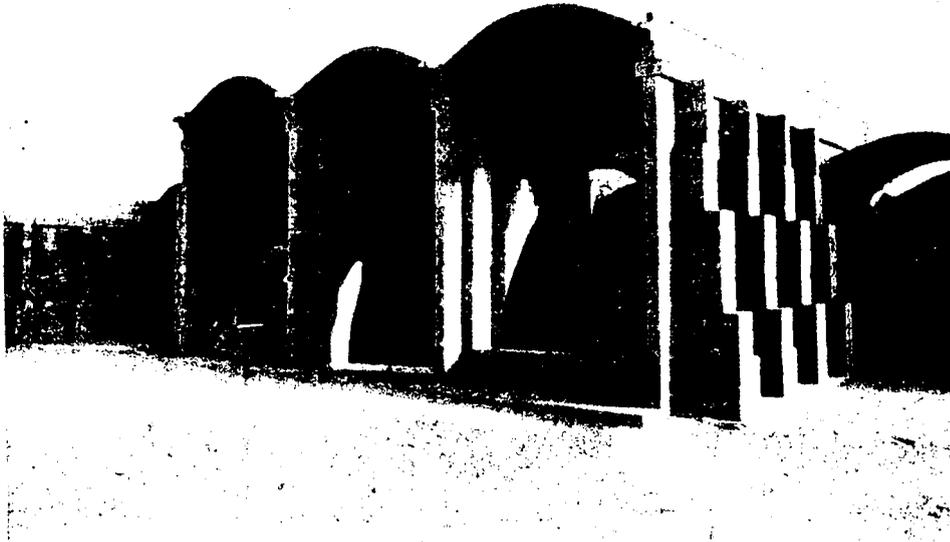


Photo 8 Façade Nord du Pinth

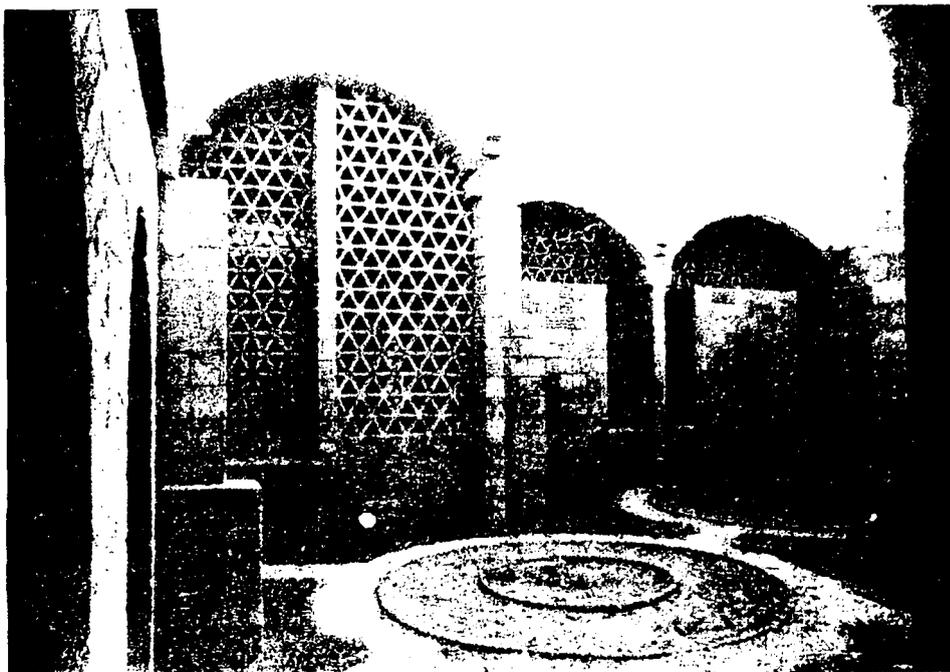


Photo 9 Façade Nord de la Bibliothèque

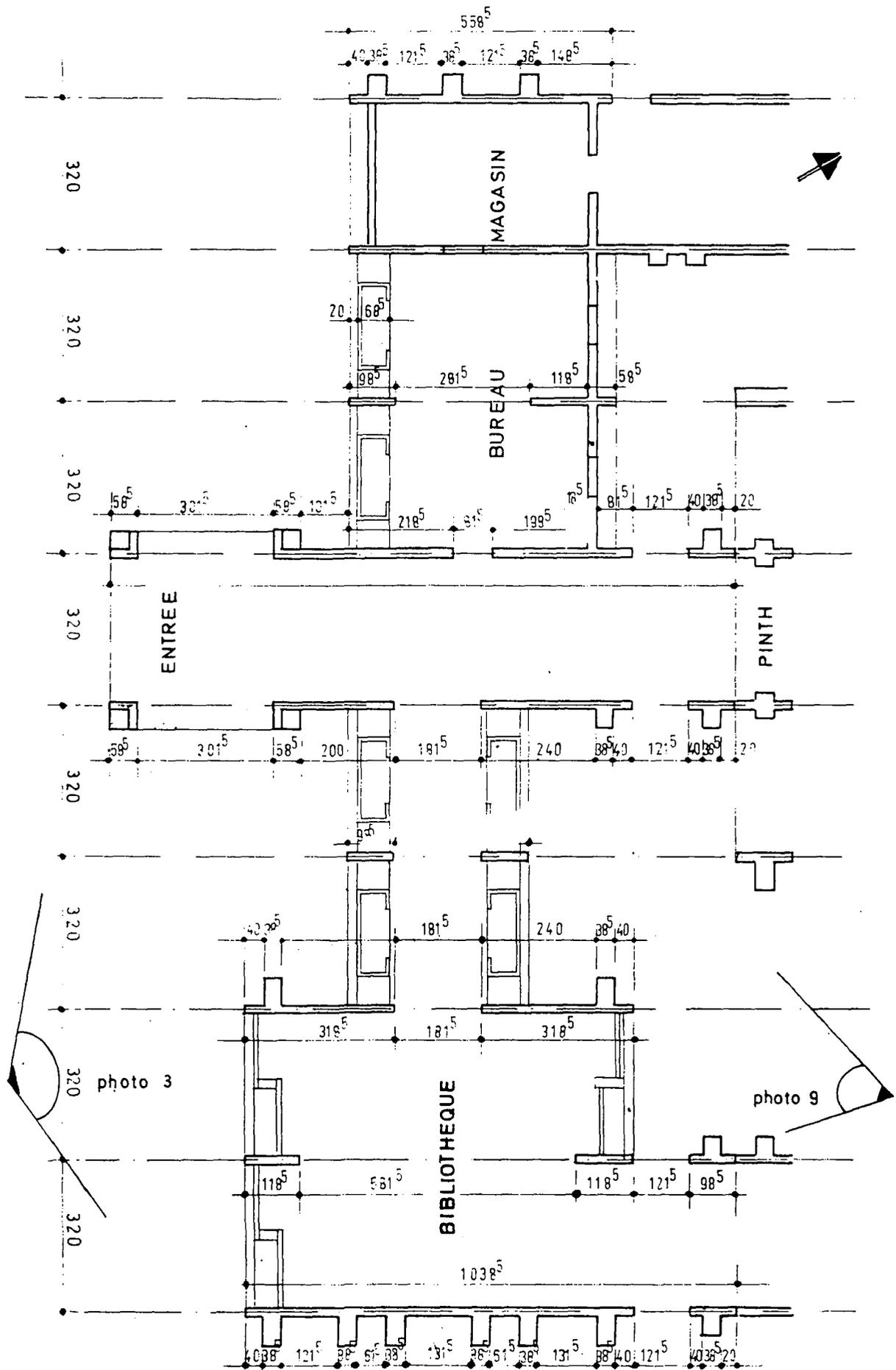
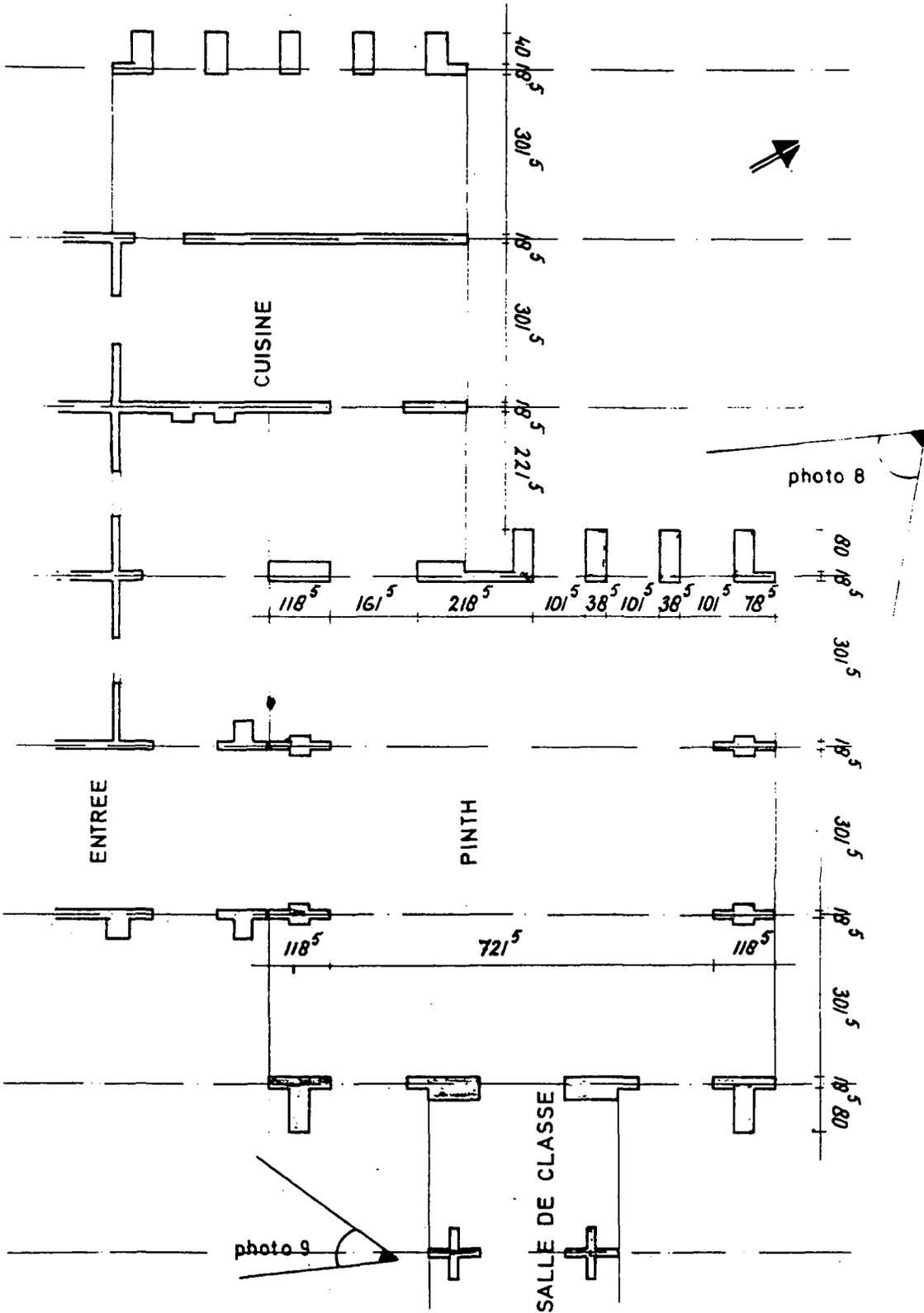




Photo 6 Façade des logements des étudiants qui donne sur la cour



Photo 7 Façade des logements des étudiants à l'extérieur



Bibliographie:

Vers une meilleure utilisation des ressources locales en construction-UNESCO-Dakar,1978-Dellicour,El Jack,Pasma, De Walick

Archi bio-Ed.Parentheses,1979-J-L Izard,A Guyot

La construction en climat chaud-collection Techniques Américaines-CRET-D.H.K. Lee

Bioclimatic approach to architectural regionalism-V.Olgay-Princeton 1963

Protection Solaire-UNESCO,Beyrouth 1971-Bussat,Sanderberg

CRATERRE

CENTRE DE RECHERCHE
ET D'APPLICATION - TERRE

Les Rivaux, Haut-Brié
F-38320 Eybens
Grenoble, France
(76) 89.61.67

186 Dreef
B-1900 Overijse
Bruxelles, Belgique
(02) 687.96.58

Apertado Postal 399
Huancayo
Pérou

CENTRE FOR THE RESEARCH
AND APPLICATION OF
EARTH TECHNOLOGY

CENTRO DE INVESTIGACION
Y APLICACION - TIERRA

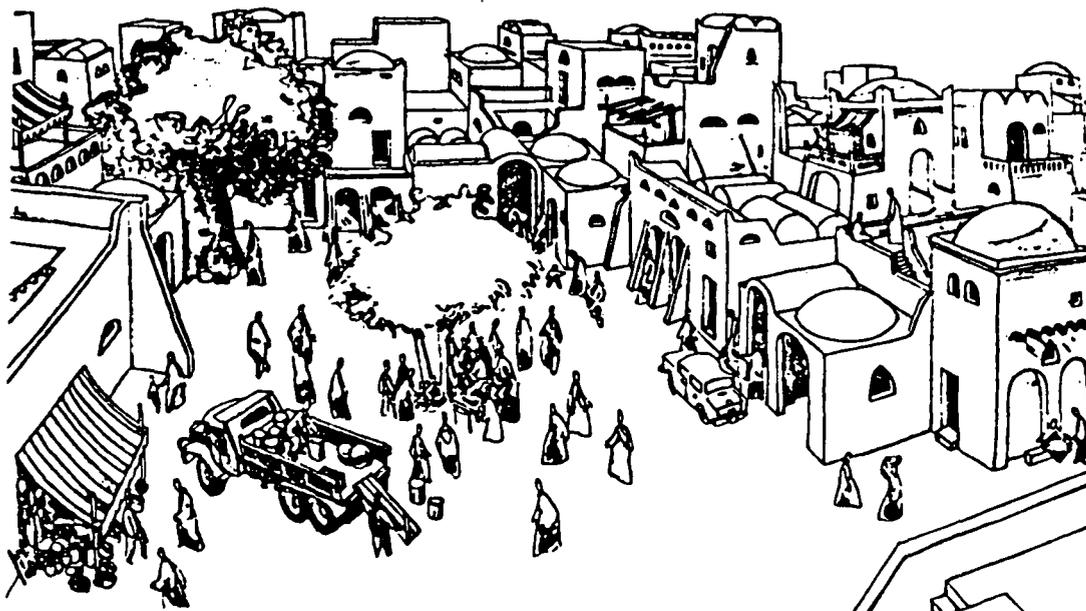
TERRE MIQUE

QUELQUES DOCUMENTS PRESENTES AU STAGE
COTA D' OPHEYLISSEM

H.HOUBEN, ing.tech.

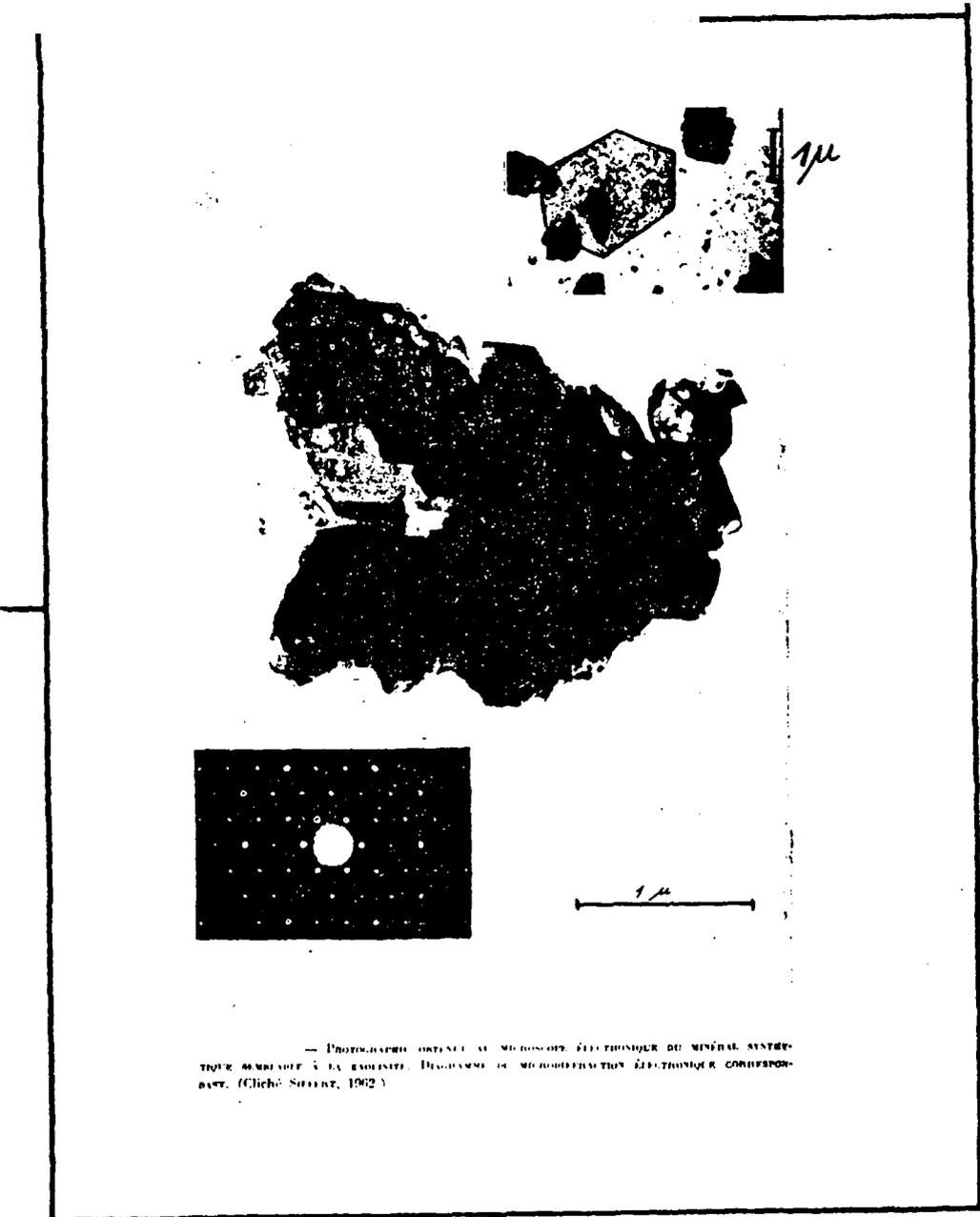
Les figures sont extraites du document provisoire
de "TERRE MIQUE", de H.Penicauđ, arch. et H.Houben,
ing. tech., à paraître début 1982.

SUR TERRE : 4.500.000.000
DANS TERRE : 1.500.000.000
30% POPULATION MONDIALE.



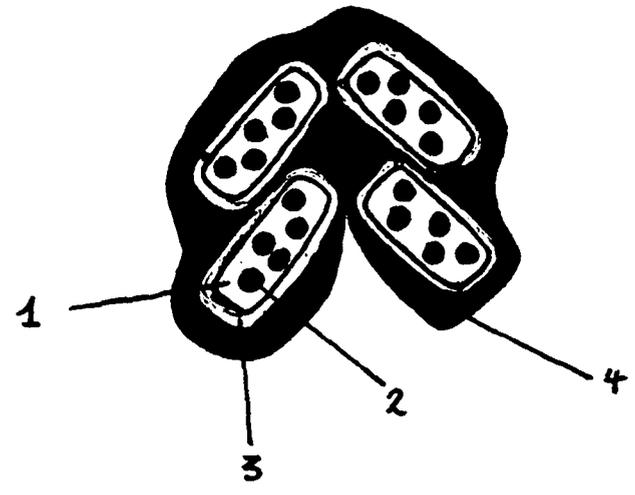
INFORMATION < 1% LIT. MAT. CONSTR. MURS.

Trente pourcents de la population mondiale vit dans des habitations en terre.



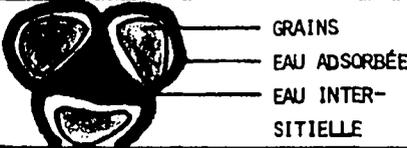
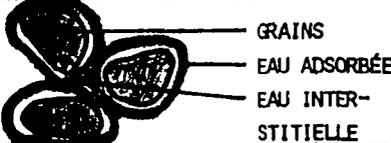
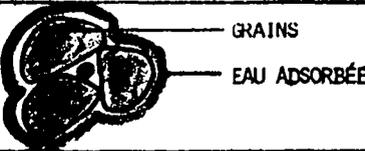
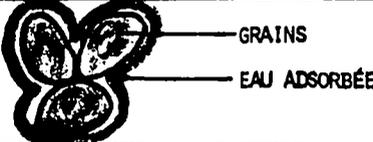
Ref. Millot, G. Géologie des argiles. Masson et Cie. 1964.

L'argile se distingue du limon et du sable par sa granulométrie plus fine.



- 1 GRAIN MINERAL
- 2 EAU DE STRUCTURE
- 3 EAU ADSORBÉE
- 4 EAU DE SOLUTION

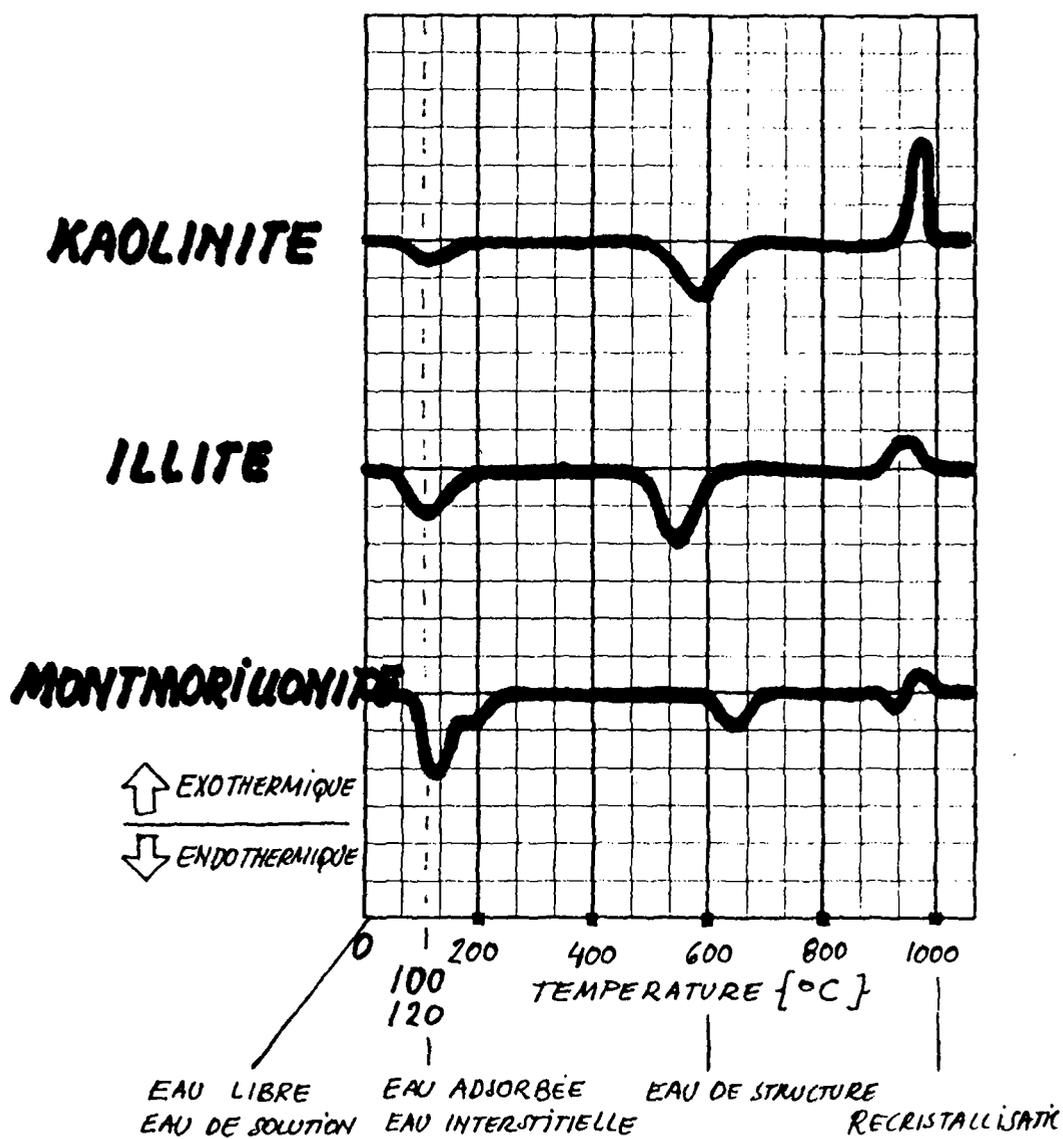
L'eau dans le sol est
 du type "libre" (disparaît à 100°C) 3-4
 "de structure"
 (disparaît à 600°C) 2
 "de recristal-
 lisation" (disparaît
 à 1000°C). 1

L'ETAT DE LA TERRE	FRONTIERE	SYMBOLE
DISPERSION 		
FLUIDE 		
	LIMITE DE LIQUIDITE	L L W L
PLASTIQUE 	LIMITE D'ADSORPTION	L A W A
	LIMITE DE PLASTICITE	L P W P
SOLIDE AVEC RETRAIT 		
	LIMITE DE RETRAIT	L R W S
SOLIDE SANS RETRAIT 		

La terre peut être à l'état liquide, plastique ou solide d'après la quantité d'eau qu'elle contient.

ATD

ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE



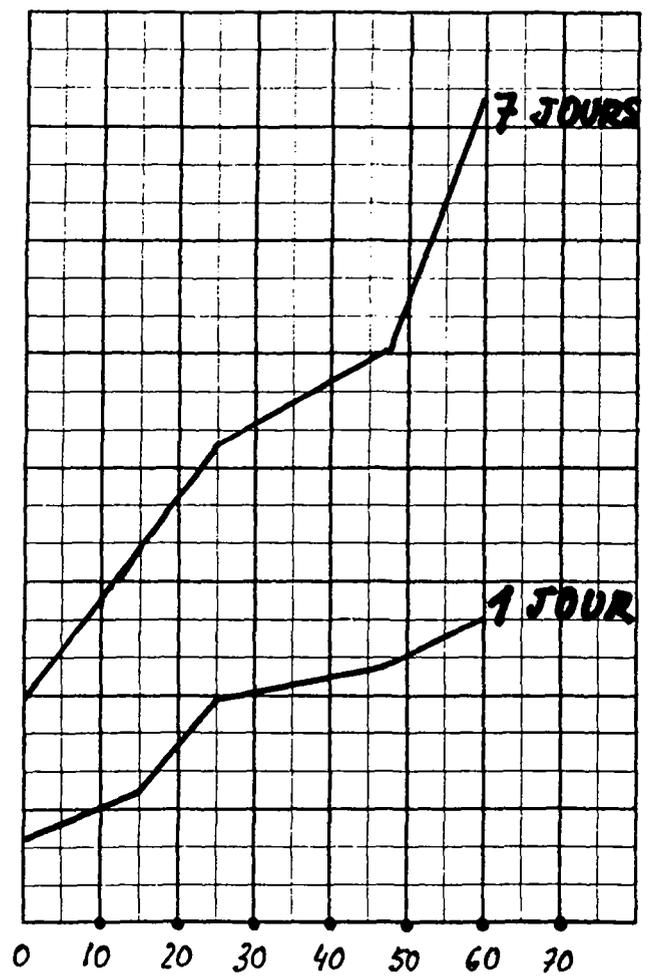
1 GR D'ARGILE A 10°C/MIN

Il existe 3 types d' argile de stabilités différentes: la kaolinite (tres stable), l' illite (assez stable) et la montmorillonite (peu stable)

PORTANCE DE LA TEMP. DE SECHAGE.

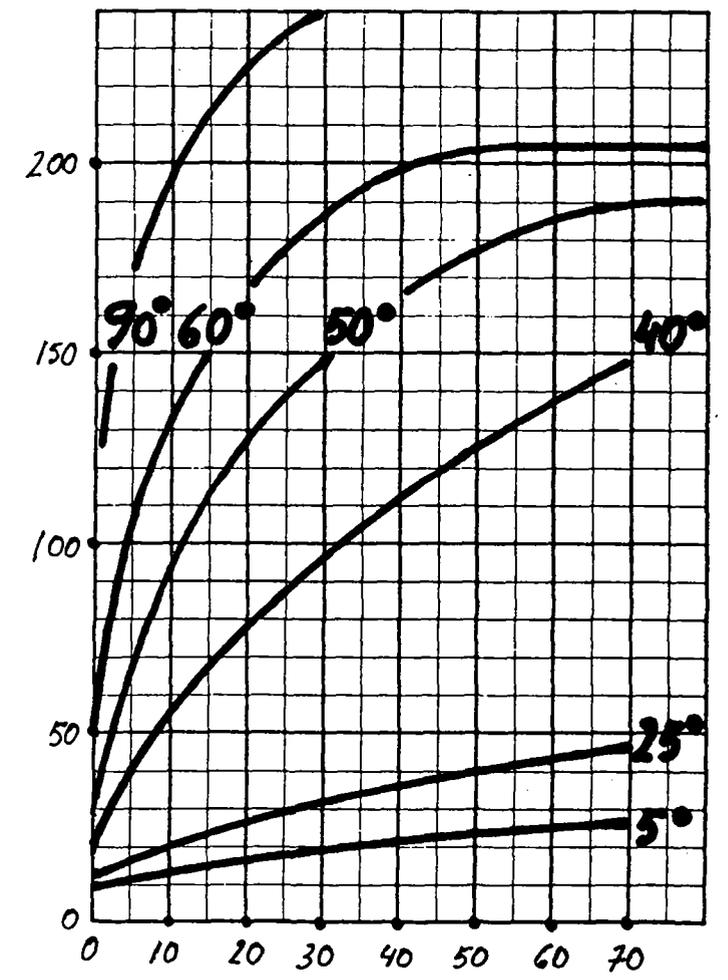
IMPORTANCE DE LA TEMP. DE SECHAGE

RESISTANCE A
LA COMPRESSION
{ kg/cm² }



TEMPERATURE DE SECHAGE (°C)
STAB. CIM. 10%

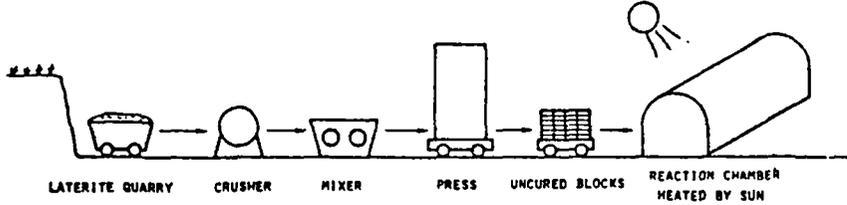
RESISTANCE A
LA COMPRESSION
{ kg/cm² }



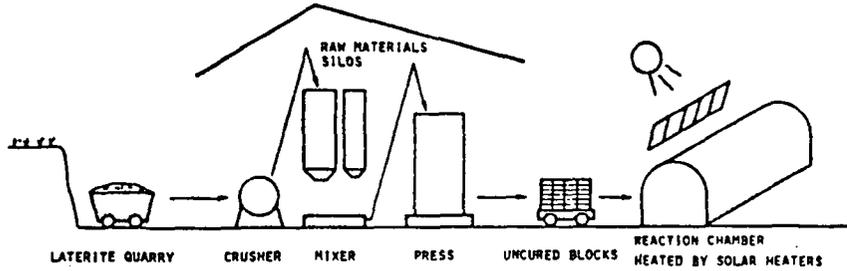
TEMPS DE SECHAGE { JOURS }
STAB. CH. 8%
AMBIANCE HUMIDE H.R.

Les briques crues doivent d'abord être séchées quelques jours (3) à l'ombre. Ensuite, elles sont séchées au soleil. La température de séchage est très importante pour les briques stabilisées au ciment et doit être la plus haute possible (± 60°C)

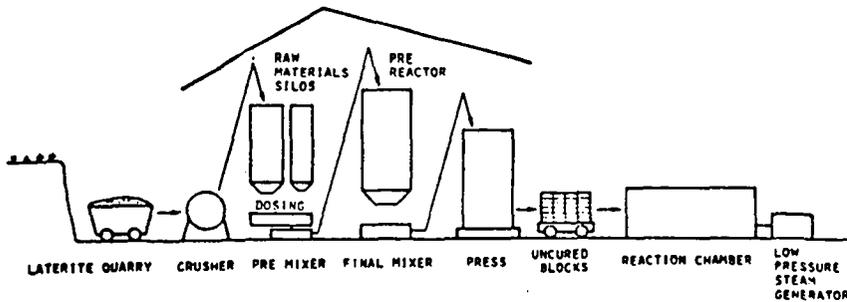
A. MOBILE BLOCK PRESS. PRIMITIVE CRUSHING, MIXING AND CURING



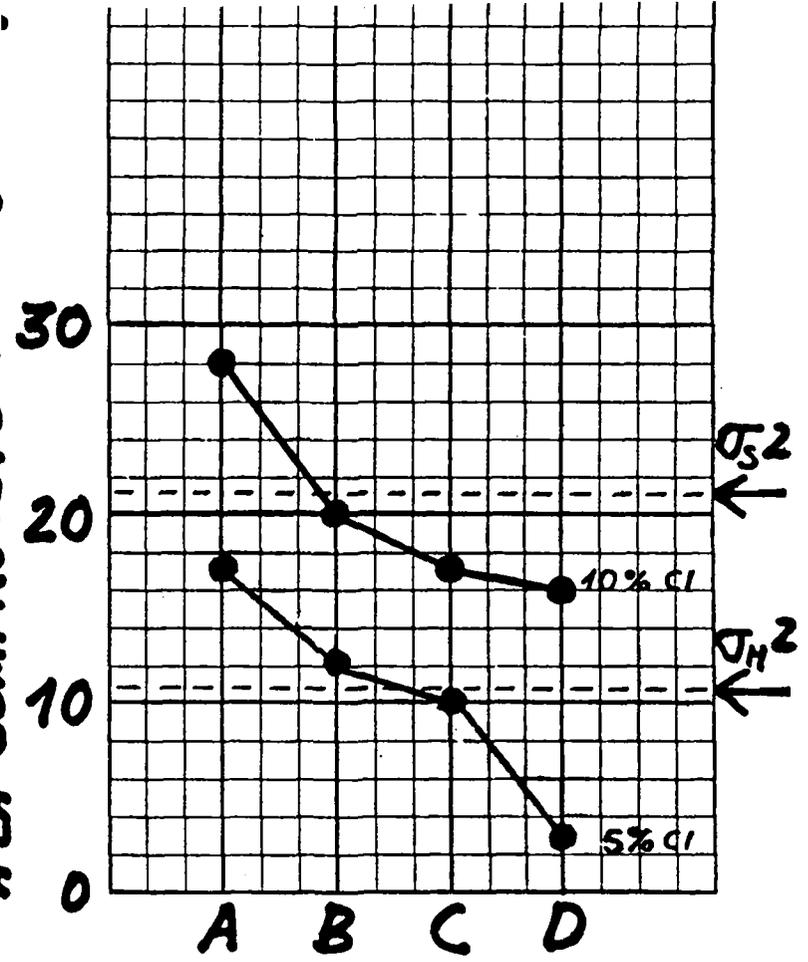
B. STATIONARY ROTARY PRESS. MORE INDUSTRIALIZED CRUSHING, MIXING AND CURING



C. STATIONARY AUTOMATIC PRESS. FULLY AUTOMATIC PRODUCTION



RESISTANCE HUMIDE A LA COMPRESSION $\{ \text{kg/cm}^2 \}$

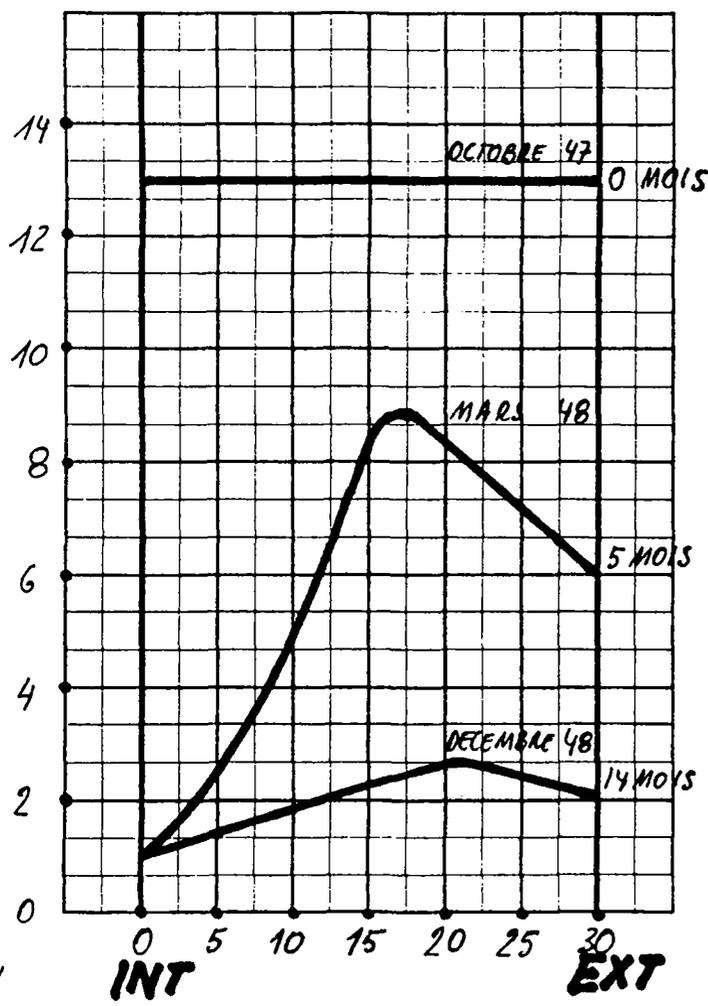


QUALITE DE SECHAGE

A A 100% H.R.
 B SOUS FEUILLE PLASTIQUE
 C A L'OMBRE
 D AU SOLEIL

-de concentrer la chaleur
 -d' emprisonner l' humidité dans la matière pour pouvoir la transférer au ciment.
 La bâche reste 8 jours, ensuite les briques sont exposées 28 jours au soleil.

TENEUR EN EAU DU MUR { % POIDS SEC }



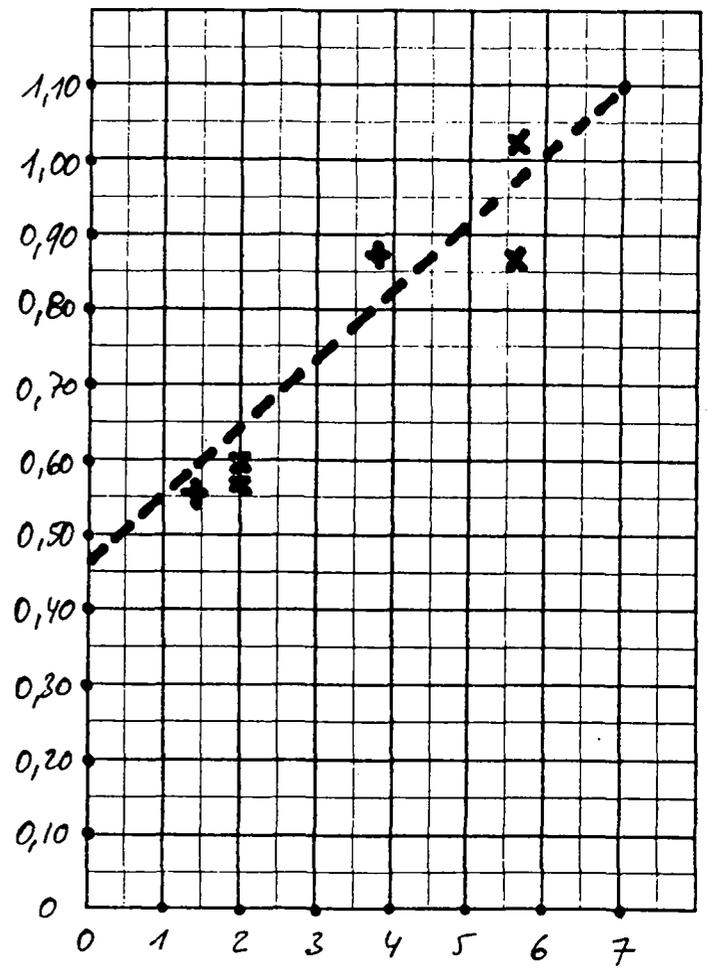
SASKATCHEWAN
CANADA

CONSTRUCTION
OCTOBRE 1947

POINT DU MUR
{ CM DE L'INTERIEUR }

MUR EN PISE FIN

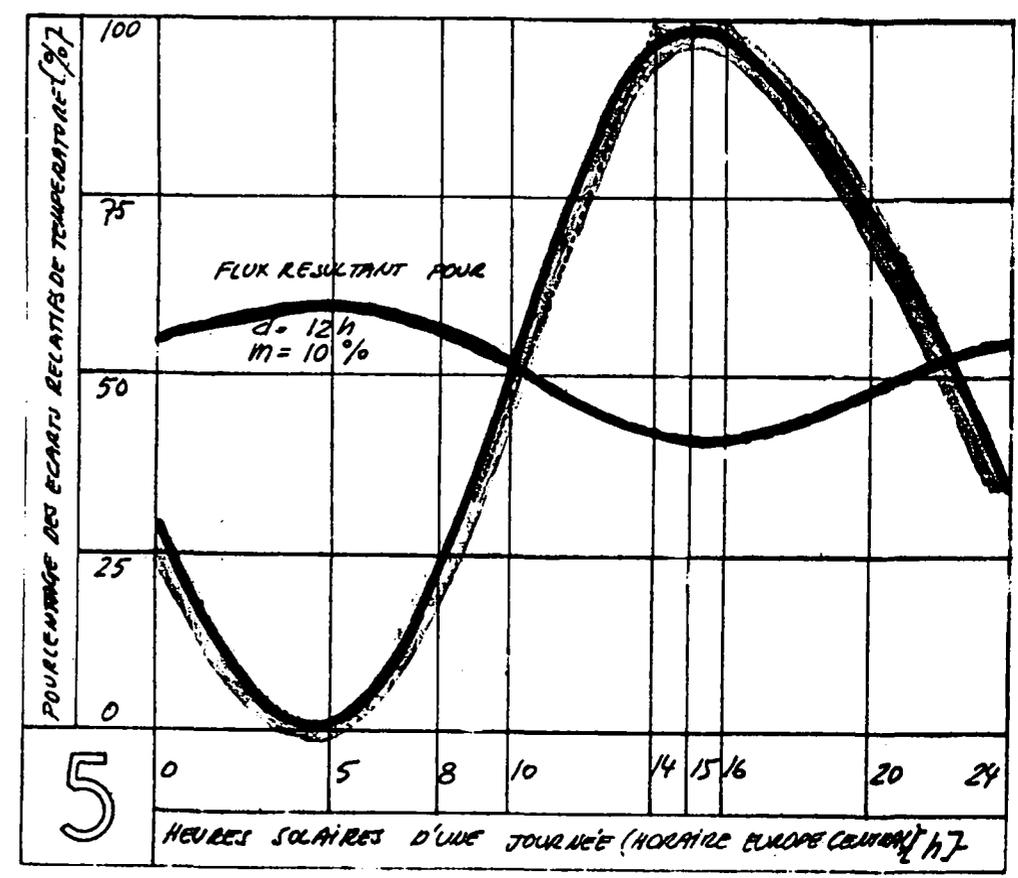
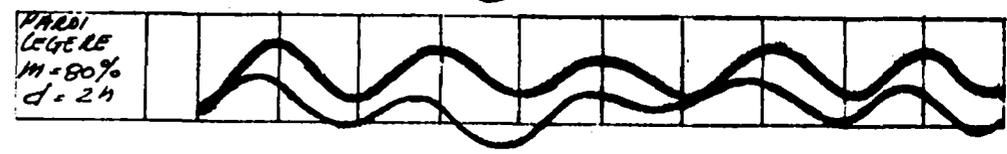
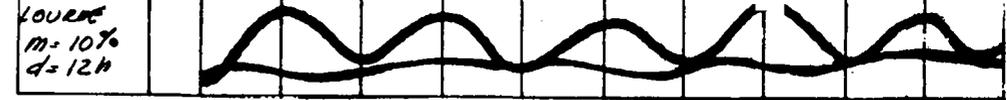
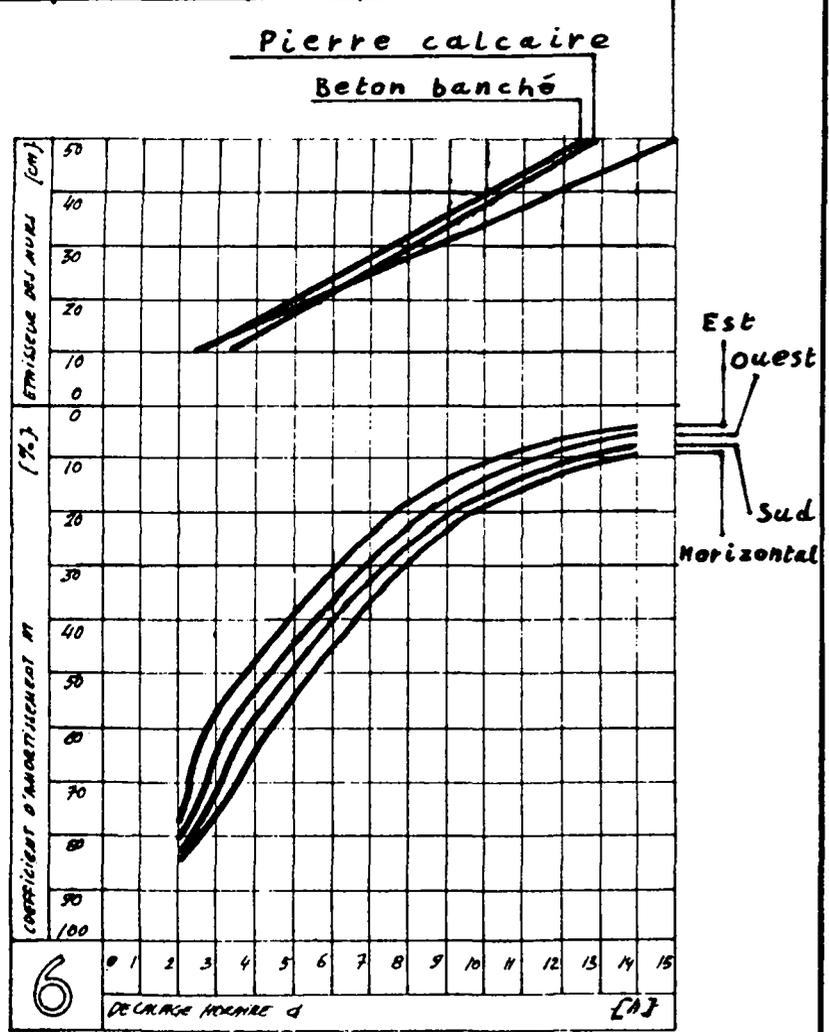
CONDUCTIVITE λ { kcal/h.m.°C }



TENEUR EN EAU MOYENNE
{ % POIDS SEC }

MUR EN PISE FIN.

Brique cuite pleine, beton de terre stabilisee



Oh I

Houben, H. Le confort thermique. CPRA. Fiche tech. FPT 008. 1973.

$$m = \frac{\text{Variation de température à l'intérieur de l'habitat}}{\text{Variation de température à l'extérieur de l'habitat}} \times 100$$

coefficient d'amortissement m mesure l'amplitude de la réduction des variations de température.

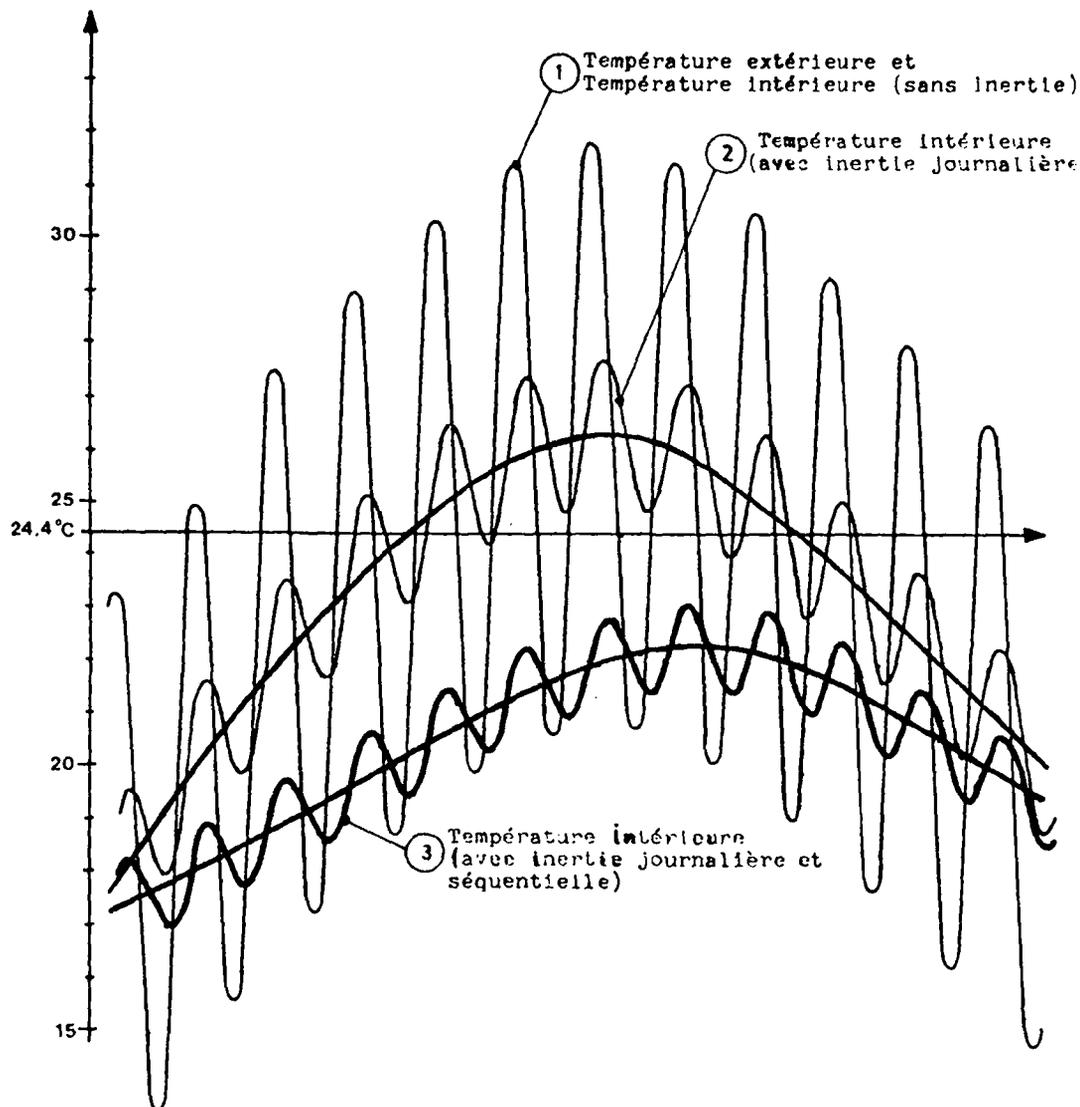
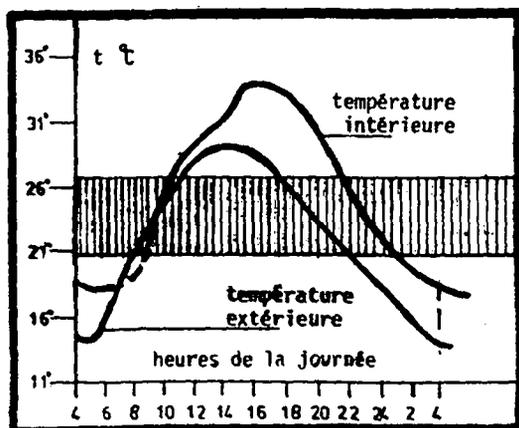
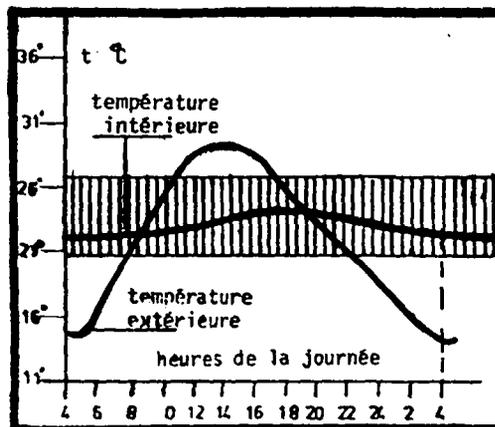


FIGURE 6. Influence de l'inertie sur l'évolution de la température intérieure au cours d'une séquence chaude.

LE CONFORT THERMIQUE

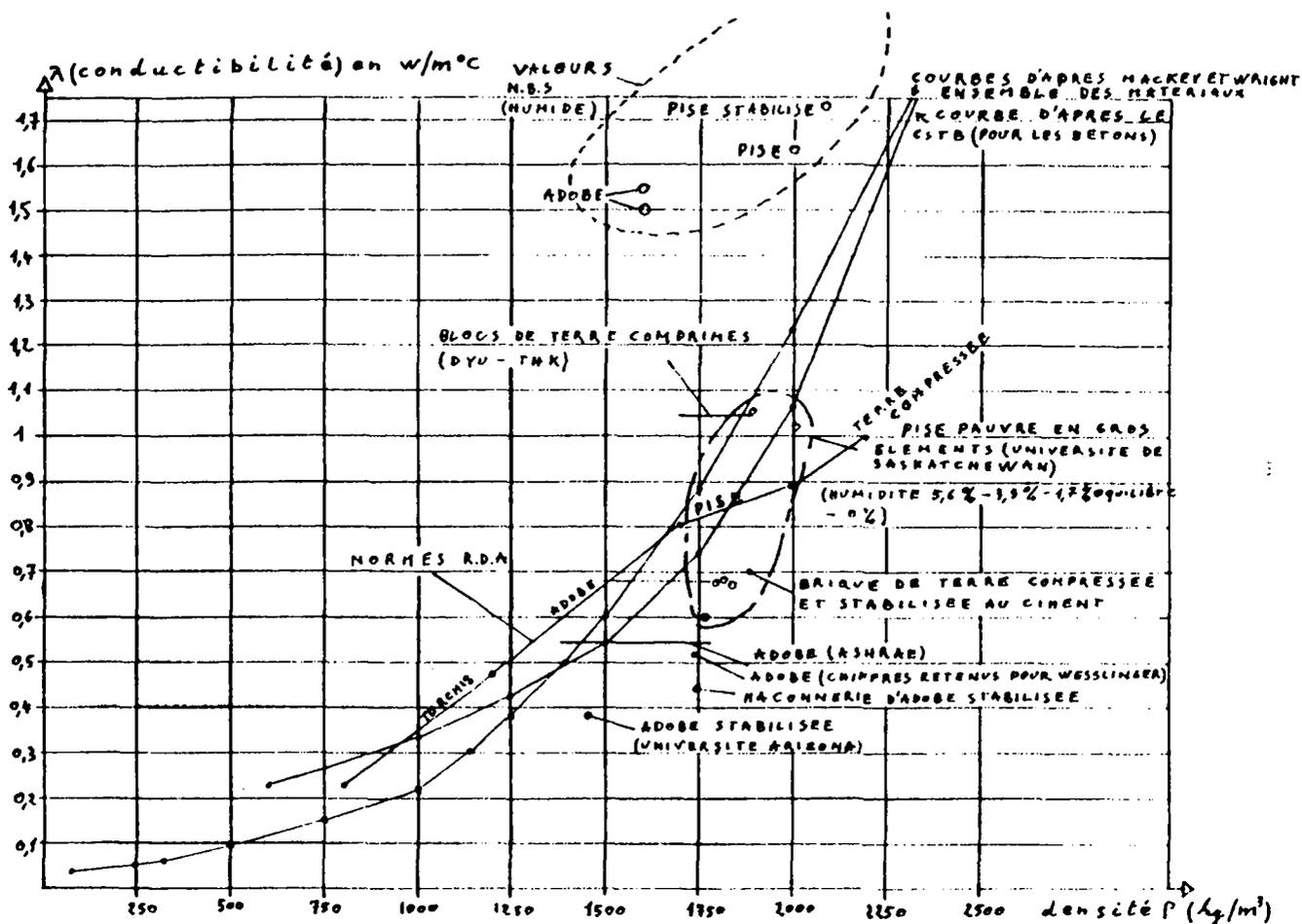


MAISON EN CIMENT



MAISON EN BANC

Le décalage horaire exprime le retard de l'augmentation (diminution) de température à l'intérieur de l'habitat, par rapport à l'extérieur, dû à l'isolation du mur.



En ce qui concerne la conduction, on peut classer les différentes formes d'utilisation de la terre le long d'une courbe de λ (conductivité) croissante en fonction de la densité apparente. (cette courbe est d'ailleurs très proche de celle des bétons).

Cette courbe correspond à la conductivité du matériau en humidité d'équilibre moyenne sous nos climats (essais allemands), de l'ordre de 4% en volume.

Les variations de la conductivité avec l'humidité sont importantes (prises dans les normes allemandes égales à 12% pour 1% de variation du taux d'humidité en volume) ; ainsi pour un matériau parfaitement sec, cette conductivité pourrait être réduite de 40%, et pour un matériau qui atteindrait un taux d'humidité volumique de 12% elle serait augmentée de 60% environ.

L'humidité des matériaux, dépendant de la température et essentiellement de l'humidité relative, peut varier entre 1% l'été et 12% l'hiver, en technique terre traditionnelle. Ces variations sont plus ou moins prononcées suivant l'hygroscopicité du matériau et celle de ses revêtements.

Sur la courbe donnée, on peut reporter les densités approximatives suivantes :

adobe \approx 1500 kg/m³

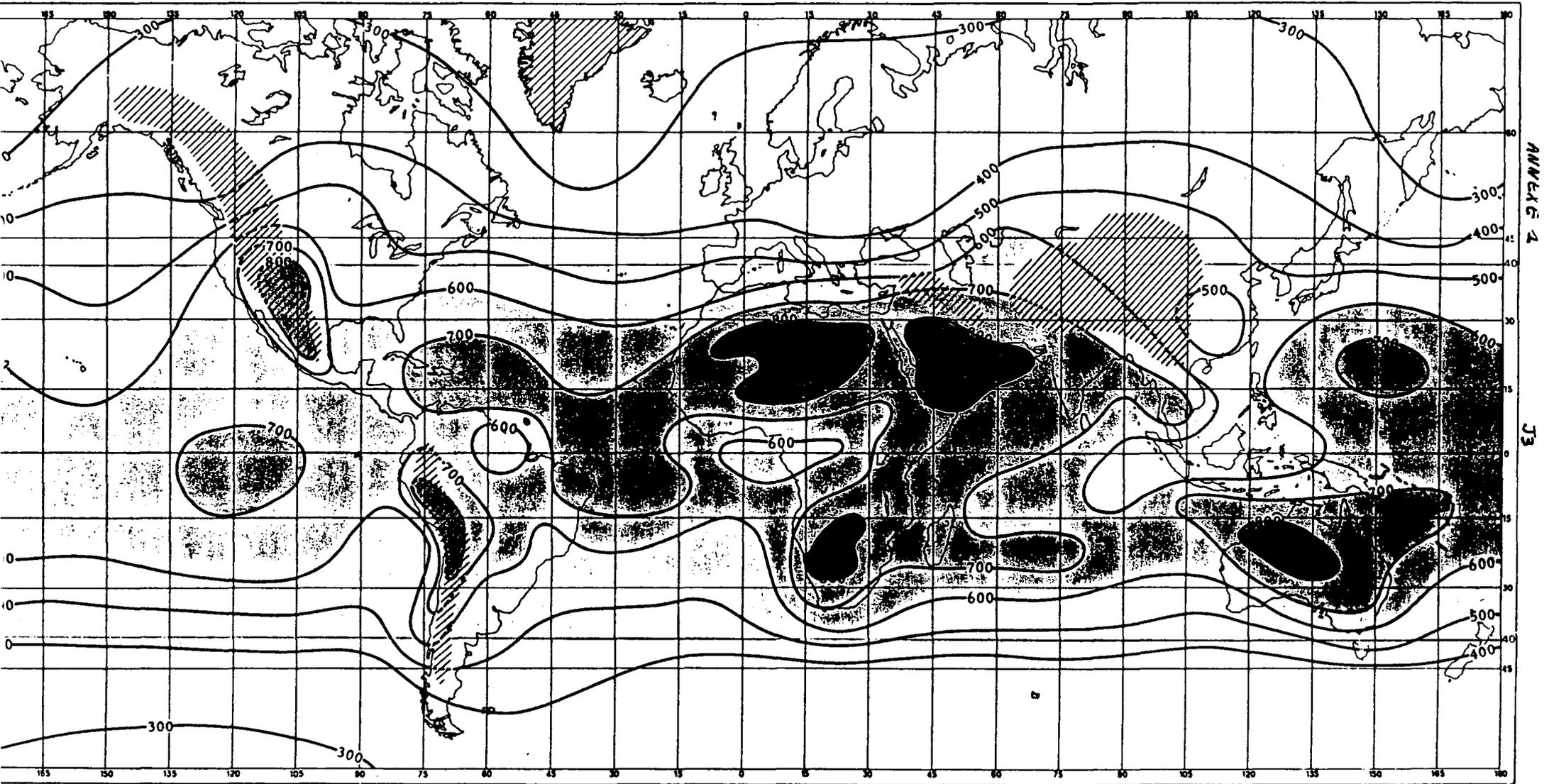
pisé \approx 1800 kg/m³

blocs de terre compressés \approx 2000 kg/m³

Le point de la courbe à 800 kg/m³ correspond en fait à un mélange terre-paille très riche en paille.

ANNEXES

carte d'ensoleillement du monde



OFFICE BELGE DU COMMERCE EXTERIEUR

World Trade Center
Boulevard Emile Jacqmain 162
1000 BRUXELLES
Tél. 02/219.44.50
Telex 21502

BELGISCHE DIENST VOOR DE BUITENLANDSE
HANDEL

World Trade Center
Emile Jacqmainlaan 162
1000 BRUSSEL
Tel. 02/219.44.50
Telex 21502

Réf. 111/1981-1

SOURCES D'ENERGIE NON CONVENTIONNELLES

Zonne-energie - Energie solaire

Firma's/Firmes

Produkten/Produits

1. S.I.S. S.A.
(Société Industrielle Solaire)
Route de Ciney
Zoning Industriel
5430 ROCHEFORT
Tel. : 084 - 21 37 71

- 1) Capteurs solaires thermiques plans et à concentration
- 2) Systèmes complets de production d'eau chaude
- 3) Ingénierie de systèmes thermiques ou photoélectriques

Bureau :
Avenue de Tervueren 98
1040 BRUXELLES
Tel. : 02 - 734 98 84

- 1) Thermische zonnecollectoren
- 2) Volledige systemen voor warmwaterproductie
- 3) Engineering van thermische of foto-electrische systemen

2. ACV INTERNATIONAL N.V.
Kerkplein 39
1610 SINT-PIETERS-LEEUEM
tel. 02/376.11.35
telex : 25265

- SOLAR BOILERS

3. LAUFFER FRERES S.A.
Rue Resistance 26
4530 OUPEYE HERMALLE-SOUS-
ARGENTEAU
Tél. : 041/793142
Télex : 41513

- Set de récupération de l'énergie solaire pour la production d'eau sanitaire en particulier
- Materieel voor de recuperatie van zonne-energie speciaal voor de productie van warm water voor sanitaire doeleinden.

4. ENE S.A.
Energies Nouvelles et Environnement
Avenue van der Meerschen 188
1150 BRUXELLES
tél. 02/771.13.28

- 1) Ingénierie de systèmes photoélectriques
 - 2) Fabrication des modules photovoltaïques
 - 3) Système de pompage photovoltaïque
 - 4) Capteurs plans
- 1) Engineering van foto-electrische systemen
 - 2) Fabricage van foto-electrische systemen
 - 3) Foto-electrische pompsystemen
 - 4) Vlakke collectoren

5. MASSER S.A.
Département Industrie
Rue de Birmingham 104
1070 BRUXELLES
Tél. 02/523.20.30
Télex : 22 870

- Fabrication d'un système solaire, qui permet une économie d'énergie dans le secteur bâtiment.
- Fabricage van een systeem van zonne-energie waardoor in de sector huisverwarming energie kan worden bespaard.

6. GLAVERBEL S.A.
DIVISION DE ROUX
Rue de Gosseles 60
6160 CHARLEROI
Tél. : 071 - 35 00 10
M. PLUMAT

- Récupération à plaques de verre Verres spéciaux pour capteurs solaires plans. Etude et fourniture d'installations. Fabrication de capteurs solaires plans.
- Terugwinning van warmte door middel van speciale beglazing. Speciale beglazing voor vlakke zonnepanelen, concentratoren. Fabricage van vlakke zonnepanelen. Studie en levering van installaties.

8. A.T.R.A.C. S.A.
Avenue de Tervueren 98
1040 BRUXELLES
tél. 02/734.65.82 -

- Solar energy use for heating
- Photovoltaic applications
- Building heating and air conditioning
- Building equipment (electrical installations, lighting, water treatment, etc.).

9. PORTAL S.A.
Rue des Deux Gares 120
1070 BRUXELLES
tél. 02/521.00.46
tél. : 26 764

- Capteurs solaires à intégrer dans les toitures selon un procédé de profils aluminium à vitrage sans mastic.
- Zonnepanelen in te bouwen in daken naar een procédé van aluminium profielen voor kitloze beglazing.
- Solar captors to be integrated in roofs following a process of aluminium profiles for puttyless glazing.
- Sonnepaneele ein zu bauen in Dächer nach einem Verfahren von Aluminium Profilen für kitlose Verglasung.

ANNEXE 2

54

10. SOLAIRCO SPRL
Rue du Dragon 74
1640 RHODE-ST-GENESE
Tel. : 02/537.83.06
- Fabrication capteurs solaires - Bureau d'études - installations d'énergie solaire et toutes applications héliotechniques
 - Fabricage van zonne-collectoren - studie-bureau - installaties voor het opvangen van zonne-energie en alle toepassingen van zonne-energie.
11. TRACIONEL
TRACIONEL ENGINEERING
Division de la Société de Traction et d'Electricité S.A.
Rue de la Science 31
1040 BRUXELLES
tél. 02/513.78.90
234 41 11
téléx : 21 514
- Etudes d'avant-projet de centrales électriques héliothermiques d'une puissance unitaire de 500 kWe des types à collecteurs centralisés et à collecteurs distribués.
 - Studie van voorontwerpen van helio-electrische centrales met een gezamenlijk vermogen van 500 kWe van de types "centrale collector" en "gespreide collectoren".
 - Etudes de conception et de réalisation de centrales électriques héliothermiques à caractère industriel.
 - Studie en ontwerp van industrielle helio-electrische centrales.
 - participe avec des constructeurs belges de panneaux solaires à la conception de bâtiments assurant leurs propres besoins énergétiques en régime autarcique.
 - Samenwerking met de Belgische constructeurs van zonne-collectoren voor het ontwerpen van gebouwen met zelfvoorziening in energie.
12. SUNE SPRL
Société pour l'Utilisation des Nouvelles Energies
Rue des Pages 163
6332 SOMBREFFE BOIGNEE
tél. 071/88.83.86
- Fabrication de capteurs solaires thermiques
 - Fabricage van thermische zonne-collectoren
13. MAT-KLOCKNER S.A.
Rue de Stalle 105
1180 BRUXELLES
tel. 02/376.51.20
téléx 24 462
- Collecteurs solaires
 - Zonne-collectoren
14. SUN-MART PVBA
(HELIOTECHNIC)
Blekerijstraat 73 A
9000 GENT
tel. 091/23.96.33
- Sun-Mart pannel-constructeur
 - Constructeur de panneaux Sun-Mart
15. E.N.I. N.V.
Kontichsesteenweg 25
2630 AARTSELAAR
tel. 031/87.40.81
telex : 31 598
- Ontwikkeling van elektrische generator werkend met zonne-energie (Productie wordt aangevat in de loop van het jaar 1980)
 - Développement d'un générateur électrique fonctionnant à l'énergie solaire (production prévue en 1980).
16. SADACEM (AFDELING CHAMEBEL) N.V.
B.P. 3
1801 VILVOORDE
tel. 02/215.25.01
- Prototype zonne-collector zonder beglazing, met zwart oppervlak
 - Prototype de collecteur solaire, sans recouvrement de verre, avec surface noire.
17. PHENIX WORKS S.A.
Quai Hoover
4110 FLEMALLE-HAUTE
tél. 041/33.78.19
téléx : 41 257
M. ACHEMME
- Tôle galvanisée pré-peinte en continu dont le revêtement est constitué d'une peinture absorbante, marque déposée "SUN-SHEET" (tôle destinée à la fabrication de capteurs solaires à basse température)
 - Gegalvaniseerde continu vóórgeverfde plaat, waarvan de bekleding bestaat uit een opslorpemde verf, gedeponeerd merk "SUN-SHEET" (plaat bestemd voor de fabricage van zonne-collectoren voor lage temperaturen).
18. DINAMEC N.V.
Gentse Steenweg 311
9140 ZELE
tel. 091/67.54.68
Telex : 12590
- Toepassing op beperkte schaal van zonnepanelen bij vloerverwarming in de varkenshouderij; in experimenteel stadium.
 - Application, à échelle réduite, des panneaux solaires pour le chauffage du sol dans les élevages de porcs (au stade expérimental).

LA FACE CACHEE DU SOLEIL

GRESEA (*)

1. La présence des Transnationales dans le secteur de production des équipements de captation d'énergie solaire.

Le secteur économique des équipements de captation d'énergie solaire peut se subdiviser en trois sous-secteurs principaux : celui des capteurs solaires, celui des cellules photovoltaïques et celui des centrales héliothermiques. Nous ne nous attarderons pas longtemps pour montrer la présence de plus en plus affirmée des transnationales dans la production de ces différents équipements.

Les capteurs solaires sont fabriqués soit par des sociétés impliquées dans l'amont de la filière : producteurs d'aluminium (Alcoa, Alusuisse, Reynolds...), producteurs de cuivre (Asarco, Martin Marietta, Revere Copper and Brass...) , producteurs de verre (Corning Glass, Glaverbel, Pilkington...) soit par des sociétés impliquées dans l'aval de la filière : chauffage et construction (Cerac, Chaffotaux et Maury, Viessmann Werke...) et des sociétés impliquées dans des secteurs connexes : fabricants de régulateurs, de moteurs, pompes, etc... (Acec, Brown Boveri, Guinard...). Bien sûr, il existe encore quelques artisans, mais ceux qui subsistent ont perdu leur rôle de concepteur et de fabricant intégral : ils sous-traitent une bonne partie des composants, ou se bornent uniquement au montage à partir d'éléments sous-traités.

La production des cellules photovoltaïques est principalement concentrée dans les mains de quatre sociétés. Solarex qui appartient conjointement à Standard Oil of Indiana, Leroy-Somer (France) et Holec (Pays-Bas), Solar Power, filiale à 100 % de EXXON et qui possède elle-même la société Sahel, conjointement avec Thomson CSF (France), Radiotechnique Compelec, filiale de Philips à 94 % et de CGE à 6 % et Photowatt International, joint venture entre CGE et Dyneer (USA).

(*) Groupe de Recherche et d'Etude pour une stratégie économique alternative.

Enfin, la fabrication de centrales héliothermiques faisant appel à de nombreux sous-traitants et demandant une organisation relativement complexe, est le fait de sociétés disposant de services d'ingénierie suffisamment rodés : entreprises de l'industrie mécanique (Fives Babcock, Man...), de l'industrie électronique (AEG, General Electric, Honeywell...), de l'industrie aéronautique (Boeing, Dornier, Grumman...), de l'industrie nucléaire (CEA, Interatom, Westinghouse...) et pétrolière (Elf, Gulf, Shell...).

2. Les bénéficiaires des subventions en Recherche et Développement

En 1977, la répartition des contrats et sous contrats du Department of Energy (USA) pour la R & D concernant les cellules photovoltaïques, s'établissait comme suit :

<u>Type de contractant</u>	<u>Montant</u> <u>(1'000 dollars)</u>	<u>% du total</u>
Grandes sociétés (+ de 1000 travailleurs)	8 429	27,8
Moyennes entreprises	2 426	8,0
Petites entreprises	93	0,3
Universités	7 867	25,9
Laboratoires	11 341	37,4
Gouvernement	205	0,7
	<hr/>	<hr/>
Total	30 361	100,0

Source : Analysis of Small Business Participation in the Photovoltaic Area of Solar Technology, US Department of Energy, avril 78.

En Belgique, les plus importants bénéficiaires de subventions en matière d'énergie solaire sont des sociétés telles qu'ACEC, Belgo-nucléaire, Glaverbel, Cockerill, etc...

Or, d'après un rapport réalisé en 1978 par le sous-comité pour les petites et moyennes entreprises (1) sur les dispositions anti-trust, les consommateurs et l'emploi durant la période 1953-73, les petites entreprises ont réalisé quatre fois plus d'innovations par dollar consacré à la R & D que les entreprises moyennes, et 24 fois plus que les grosses entreprises. Ce ne sont donc pas des considérations purement économiques qui déterminent la répartition de ce type de subsides, mais bien un rapport de force et un pouvoir de négociation largement favorables aux grosses sociétés.

3. Influence sur la promotion de l'énergie solaire et sur le type de produit

La croissance des grandes sociétés transnationales se base sur deux piliers essentiels : le culte de la croissance et la science de la centralisation (2). Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sous contrôle du "système transnationales - organismes étatiques", est régi par les mêmes lois. C'est ainsi que ce système veut à tout prix :

- Contrôler le moment où l'énergie solaire aura sa place sur le marché des sources d'énergie, en fonction du temps nécessaire à maximiser les profits tirés des fluides fossiles et à consolider la production d'électricité à partir du charbon et du nucléaire ;
- Mettre en avant les applications de l'énergie solaire les plus compatibles avec le système économique centralisé et capital intensive, telles que centrales solaires, cellules photovoltaïques, éoliennes géantes...

(1) The Future of Small Business in America, Subcommittee for Small Business, USA, november 1978.

(2) SUN BETRAYED, Roy Reece, South and Press, USA, 1979.

- minimiser les risques technologiques et commerciaux en faisant appel aux subsides publics et en laissant les petites sociétés assumer une bonne partie de ces risques ;
- pénétrer le secteur de l'énergie solaire en rachetant de petites sociétés (ou leurs idées) qui réussissent, puis en passant à une production de masse ;
- détourner le public de l'idée que l'énergie solaire peut être une alternative à la structure économique et géopolitique telle qu'elle est pour le moment ;
- centraliser le contrôle sur les décisions en matière d'énergie dans un département où les lobbies pétroliers et nucléaires sont largement représentés.

Reprenons quelques-uns de ces points.

On peut remarquer tout d'abord que parallèlement à la pénétration massive des transnationales dans le secteur, les produits deviennent de plus en plus sophistiqués. Même les capteurs, dont la conception est relativement simple en théorie, ont subi de nombreuses modifications qui certes leur ont permis de gagner quelques points en rendement, mais aussi les ont rendus plus coûteux et moins appréhendables par les utilisateurs.

D'autre part, il semble aussi que l'on assiste déjà dans certaines applications à une substitution des cellules photovoltaïques aux capteurs. Ainsi, la société française SOFRETES qui produit notamment des pompes solaires, offre de plus en plus souvent des équipements fonctionnant électriquement grâce à des cellules, à la place des équipements utilisant l'énergie thermique du soleil.

Les centrales solaires qui au départ étaient destinées à déservir quelques maisons ou de petites unités industrielles, deviennent de plus en plus puissantes. Le projet de centrale solaire électrique de GENERAL ELECTRIC prévoit la construction d'une tour de 60 étages

et l'installation de 20 000 miroirs et devrait fournir une puissance de 100 MW soit le dixième d'une grosse centrale nucléaire.

Lorsque les utilisateurs n'ont que peu de prise sur les équipements dont ils se servent, le contrôle par l'appareil productif n'en est que facilité. Aux USA, c'est l'Institut National Américain de standardisation qui établit les normes pour les équipements solaires et cela en collaboration avec le SEIA (SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION) dont font partie entre autres : ALCOA, ASARCO, DOW CHEMICAL, EXXON, GENERAL ELECTRIC, GRUMMAN, HONEYWELL, ITT, MC DONNELL DOUGLAS, ROCKWELL, etc...

Notons également les nombreux liens tissés entre secteur du solaire et secteur de l'armement : GENERAL ELECTRIC, WESTINGHOUSE, UNITED AIRCRAFT, TRW, ROCKWELL, RCA, LOCKHEED, MC DONNELL DOUGLAS, BOEING, PHILIPS, C.G.E., THOMSON, etc... Lorsqu'on observe l'évolution technologique des armements, de plus en plus sophistiqués, électroniques, etc..., on comprend que l'évolution des équipements solaires aille dans le même sens.

Tout en s'efforçant de ne proposer sur le marché que des équipements favorisant leur contrôle sur le secteur, les transnationales tentent aussi de discréditer cette énergie solaire, car pour le moment, elles misent avant tout en matière d'énergie sur le nucléaire et sur le charbon. A la fin de 1976, EXXON a fait paraître dans "The New York Times" et "Newsweek", une série de pages sous le titre : "EXXON répond à des questions au sujet d'une des plus récentes énergies sous le soleil : le soleil". Le coût d'installation de chauffage solaire d'une maison et de l'eau sanitaire utilisée dans cette maison, y était estimé entre 8 000 et 20 000 dollars. A la même époque, les installations similaires vendues par DAYSTAR, filiale d'EXXON, revenaient moitié moins cher !

Il est d'ailleurs remarquable à cet égard que plusieurs sociétés du secteur de l'énergie solaire sont impliquées dans le nucléaire, secteur énergétique très centralisé : ASARCO, UNITED NUCLEAR, MOBIL,

GENERAL ELECTRIC, HONEYWELL, BENDIX, WESTINGHOUSE, ROCKWELL, INTERATOM, KBU, SIEMENS, CGE, BELGONUCLEAIRE, etc...

On ne peut s'attendre à une promotion enthousiaste de l'énergie solaire de la part de sociétés qui ont largement misé sur le nucléaire. Leur présence vise donc bien à maintenir un contact technologique et à assurer leur contrôle sur une énergie concurrente.

4. Influence sur l'évolution du secteur

Si le phénomène de concentration est déjà présent dans les trois sous-secteurs principaux, il l'est à des degrés divers. Le sous-secteur de production des capteurs solaires ne met pas en oeuvre de technologie particulière et n'incorpore pas des produits ou composants spécifiques. Cependant, il est évident que la production de masse, dans une industrie essentiellement d'assemblage, favorise une certaine concentration du secteur. Ainsi, en Angleterre, le nombre de sociétés productrices de capteurs qui était de deux en 1973, passa à 70 en 1977, mais pour retomber à 60 en 1979. A Austin (Texas, USA), il y avait en 1977, 17 sociétés de ce type. Deux ans plus tard, il n'en restait que 5 dont 3 étaient sous contrôle de conglomérats.

La production de centrales solaires, à part dans certains cas (miroirs paraboliques), n'utilise pas non plus d'équipements spécifiques. Mais dans ce cas, la part de l'ingénierie est relativement importante, et cela d'autant plus lorsque l'on s'oriente vers la construction de centrales à haute puissance.

Enfin, la production de cellules photovoltaïques, utilisatrice d'une technologie de pointe et exigeant d'importants investissements en équipements de production, est déjà fortement concentrée : à l'heure actuelle, la société SOLAREX s'adjuge près de 50 % de la production totale de cellules photovoltaïques dans les pays industrialisés et les pays en voie de développement.

En fonction de ce que nous venons de dire, il n'est pas étonnant de constater, une fois de plus, que ce sont précisément les secteurs les plus "concentrables" qui jouissent de la meilleure promotion, aussi bien de la part des transnationales que des organismes gouvernementaux.

LISTE DES PARTICIPANTS AU STAGE
L'énergie solaire - ses utilisations dans les pays
en voie de développement - septembre 1981.

AINE Patrick	16, rue de la Préfecture - 2500 Besançon - France.
BEEL Patrick	B.P. 254 - KIKWIT - Zaïre. (Statieplein, 6 - 8570 Anzegem - Belgique).
BELLOT Raymond	131, avenue Hassan II - Casablanca - Maroc.
BUXANT Antoine	B.P. 806 Marrakech - Maroc. (rue de Monstreux, 137 - 1400 Nivelles - Belgique).
CARTON Charles	Ambassade de Belgique - LIMA - Pérou. (Chaussée de Bruxelles, 342 - 7800 Ath - Belgique).
CHANTRAINE Hubert	B.P. 8009 Kinshasa 1 - Zaïre. (rue de Méhagne, 24 - 4920 Chaudfontaine - Belgique).
CLETTE Jean	B.P. 129 - Kinshasa 1 - Zaïre. (rue de Corroy, 24 - 5640 - Mettet - Belgique)
DEBAECKE Alain	19, rue des Tulipes - 1950 Kraainem - Belgique.
DENIS Paul	29, Medekensstraat - 1960 Sterrebeek - Belgique.
DE WINTER Bert	B.P. 1848 Lubumbashi - Zaïre. (J. Jaureslaan, 95 - 9219 Gent-Brugge - België).
D'HONDT Elie	Zandtleuge, 92 - 9900 Eeklo - België.
DUPONT Nicolas	B.P. V - 46 Abidjan 01 - Côte d'Ivoire.
DUVIEUSART Robert	c/o Ambassade de Belgique - B.P. 1800 - Abidjan - Côte d'Ivoire. (17, Tauminerie - 6402 Brûly - Belgique).
FAGNERAY Albert	B.P. 3165 Kinshasa-Gombé - Zaïre. (rue du Mont, 54 - 6624 Martilly - Belgique).
FRANK Vincent	Pêcherie Ihema - B.P. 1303 - Kigali - Rwanda. (rue de l'Hospice Communal, 139 - 1170 Bruxelles - Belgique).
FRESON Robert	c/o Ambassade de Belgique - B.P. 524 - Dakar - Sénégal. (avenue Dujardin, 2 - 1160 Bruxelles - Belgique).
GHISLAIN Claude	B.P. 2403 - Kinshasa 1 - Zaïre. (rue de France, 3 - 6599 Sautin - Belgique).
GODARD Michel	26, Sidi el Abed - Temara - Maroc.
HEUTS Philippe	30, rue Ibn Sina - V.N - Meknes - Maroc. (Beukendreef, 10 - 3031 Oud-Heverlee - Belgique).
IBANEZ Edwin	ITI GOMBE - B.P. 1593 - Kinshasa - Zaïre. (8, rue Steenebruggen - 4020 Liège - Belgique).
JACOBS Henri	c/o M.B.C. - B.P. 1100 - Kinshasa - Zaïre. (Langestraat, 9 - 3055 Neeryse - Belgique).
JOURNE Serge	rue des Crolithes, 97 - 7806 Lamquesaint - Belgique

KALISA Mbanda 4/201 ruelle St Eloi - 1348 Louvain-la-Neuve
Belgique

KAMABU Vasombolwa Labo Botanique systématique et Ecologie
28, avenue Paul Héger - 1050 Bruxelles - Belgique.

LENOIR Georges B.P. 11.467 - Kinshasa 1 - Zaïre.
(rue Vieille, 30 - 4600 Chênée - Liège - Belgique).

MALARME Daniel Avenue Napoléon, 152 - 1180 Bruxelles - Belgique.

MEYS Louis c/o Ambassade de Belgique - B.P. 24 - Tunis-
Belvedere - Tunisie.
(Avenue Aboulbaba El Ansani, 5 El Menzah VI (Tunis))

NASSIROU Ashiata B.P. 58 - Porto-Novo - République Populaire du
Benin.

NOEL Jean-Paul B.P. 11206 - Kinshasa - Zaïre.
(avenue des Sylphes, 16 - 1170 Bruxelles - Belgique)

ORSZAGH Jozsef B.P. 2606 - Lubumbashi - Zaïre.
(Clos des Tuileries, 11 - 7000 Mons - Belgique).

PANIS Guy B.P. 5036 - Dakar - Sénégal.

PLAIDEAU Bernard B.P. 813 - Bujumbura - Burundi.
(avenue Brunard, 9 - 1180 Bruxelles - Belgique).

RADDOUX Joseph c/o AMABEL ALGER - rue ABD Allaoua 24, Bâta -
App. 7 - Vieux-Kouba - Alger.
(Albertwal, 37 E - 3700 Tongeren - Belgique).

ROELS Joz Campus OMAZA - B.P. 247 - Kinshasa XI - Zaïre.
(Lindendreef, 39 - 9400 Ninove - Belgique).

ROOMAN Benny B.P. 9205 - Kinshasa 1 - Zaïre.

RO TSAERT Marc c/o Ambassade de Belgique - BP 24 - Tunis - Tunisie
(Rue du Melon, 53 - 1190 Bruxelles - Belgique).

SCHIPPERS Charles c/o Ambassade de Belgique - Kinshasa - Zaïre.
(rue Jeanne d'Albret, 7 - F. 17000 La Rochelle -
France).

SERVAIS Jean-Paul Avenue E. Ysaye, 74 - 1070 Bruxelles - Belgique.

SINDANI Komanda rue Edmont Delcourt, 41 - 1070 Bruxelles - Belgique

SOYER Jacques UNAZA - B.P. 1593 - Lubumbashi - Zaïre.

TRUNK Karel 2, rue de Londres - Agadir Centre urbain - Maroc.
(Ooststatiestraat, 140 - 2550 Kontich - Belgique).

TRUSSART Jean-Pierre B.P. 2272 - Bujumbura - Burundi.

VACHAUDEZ Max B.P. 39 - Likasi - Zaïre.
(44, rue H. Pochez - 7270 Dour - Belgique).

VAN CAILLIE Xavier I.S.P. Gombé - Kinshasa - Zaïre.
(Drève de la Marmotte, 14 - 1328 Ohain - Belgique).

VERDOODT Robert B.P. 905 - Lubumbashi - Zaïre.
(rue V. Hugo, 190 - Bte 8 - 1040 Bruxelles - Belgique)

VERLODT Herman Impasse de la Falaise rouge - Amilcar -
2026 SIDI BOU SAID - Tunisie.
Raapstraat, 17 - 9810 Drongen - Belgique).

VERVAET Alfons Lavigerie 29 A - 636 El Harrach - Alger - Algérie.

VRAY Roger B.P. 1913 - Kinshasa - Zaïre.
(96, rue Hôtel des Monnaies - 1060 Bruxelles -
Belgique).

ZIMMERMAN Daniel Avenue Truffaut, 27/39 - 4020 Liège - Belgique.

CONFERENCIERS - INTERVENANTS - COLLABORATEURS

- ABELS J.P. - Directeur du marketing, Division URE
A.C.E.C., B.P. 4 - 6000 Charleroi - Belgique.
- ASCHENBROICH Marc - SOFRETES, zone industrielle, B.P. 1
Amilly - 45209 Montargis Cedex France.
- ATOL - Blijde Inkomstraat, 9 - 3000 Leuven - Belgique.
- BAL J.L. - S.I.S. S.A. - Avenue de Tervueren, 98 -
1040 Bruxelles - Belgique.
- BEURMS G. - Premier attaché de l'A.G.C.D., place du Champ
de Mars, 5 - Bte 57 - 1050 Bruxelles - Belgique.
- BRUNET Patrice - GRET, 34, rue Dumont d'Urville, 75116 Paris
France.
- CHOME Robert - Ingénieur - A.I.D.R. - rue du Commerce, 20
Bte 9 - 1040 Bruxelles - Belgique.
- COLSON Christian - Ingénieur-Liège-Sénégal - 394, rue du
Vial - 5250 Autheit. Belgique.
- COMBLIN Daniel - Autoconstructeur - c/o Amis de la Terre-
Liège- rue Grangagnage, 27. 4000 Liège. Belgique.
- de CROMBRUGGHE Geneviève - COTA - 18, rue de la Sablonnière -
1000 Bruxelles. Belgique.
- DE HERDE André - Chargé de cours-Université Catholique de
Louvain - Unité d'Architecture -
Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve. Belgique.
- DELEPELEIRE G - Professeur - Katholieke Universiteit Leuven,
Celestijnenlaan, 300 - 3000 Leuven. Belgique.
- DELEUZE Olivier - COTA - 18, rue de la Sablonnière -
1000 Bruxelles. Belgique.
- DELLICOUR Oswald - Architecte, Consultat UNESCO -
Avenue Victoria, 12 - 1050 Bruxelles.
Belgique.
- DELVAUX L. - Professeur-Université de Liège, Institut de
Mécanique - Bâtiment C3 - rue E. Solvay, 21
4000 Liège. Belgique.
- GONAY P. - Ingénieur-architecte - c/o COTA, 18, rue de
la Sablonnière - 1000 Bruxelles. Belgique.

- GRESEA - 58, rue J. Van Volsem - 1050 Bruxelles. Belgique.
- Houben Hugo - Ingénieur-technicien - 186, Dreef -
1900 Overijse - Belgique.
- Lambert Yves - Chef du Service Projets et Applications
COMES - 26, rue de Chambery - 75015
Paris - France.
- Lefevre - c/o Iles de Paix - rue du Marché, 35 -
5200 Huy - Belgique.
- LELOUP Claire - COTA - 18, rue de la Sablonnière -
1000 Bruxelles - Belgique.
- LEQUEUX Pierre - Administrateur Principal C.E.E.
Direction Générale du Développement
200, rue de la Loi - 1049 Bruxelles-
Belgique.
- LEURQUIN Pierre - COTA - 18, rue de la Sablonnière -
1000 Bruxelles - Belgique.
- Mannaerts Nicole - COTA - 18, rue de la Sablonnière -
1000 Bruxelles - Belgique.
- MERTENS Robert - Professeur - Katholieke Universiteit
Leuven - Département Elektroniek, Labo
ESAT - 94, Kardinaal Mercierlaan
3030 Heverlee - Belgique.
- Office Belge du Commerce Extérieur, World Trade Center
Bd. E. Jacqmain, 162 - 1000 Bruxelles -
Belgique.
- ROELS Joz - Campus UMAZA - B.P. 247 - Kinshasa XI -
Zaire.
- RUHILIMA Thomas - Ingénieur - A.C.E.C. , Division EAT
B.P. 4 - 6000 Charleroi - Belgique.
- STASSART Jean-Marie - Autoconstructeur - rue Fraichamp,
198 a - 4030 Grivegnée - Belgique.
- SUNGRILL - Filimpex S.P.R.L. - 93, Chemin du Champ de
Mars - 7000 Mons. Belgique.
- VOKAER Didier - Assistant Université de Bruxelles -
Institut de Mécanique Appliquée
Avenue Fr. Roosevelt, 50 - 1050
Bruxelles - Belgique.
- WILLAUME Raymond - Professeur - nouvelle adresse aux
Comores non connue.
Rue César De Paepe, 1 - 7260 Paturage.
Belgique.

INDEX ALPHABETIQUE

Agriculture et élevage B4 - B13
Artisanat et industrie B7 - B12
Biogaz B10 - B16
Biomasse B31 - H28
Capteurs plans A12 - B11 - B16 - C13 - D3 - D 25 - D4 - E4 -
F6 - G12 - G16 - H63 - H68 - J 7
Capteurs à concentration A15 - B11 - G12 - J 10

Chauffe-eau B15 - C - D5 - H63
Communication B8 - B12
Cuisson solaire B12 - B16 - F1 - F5 - H66
Dessalement B6 - B12 - E
Distillation B15 - B31 - E - H68
Eolienne (Energie) B10 - B32 - H28
Hydraulique (Energie) B10 - B32 - H28 - H37
Gasogènes B21
Geothermie B34
Habitat B6 - B12 - C - I1 - I31
Irrigation B12
Photovoltaïque A20 - B11 - B16 - B30 - F4 - G12 - H1 - H21 -
H43 - H69 - J 7
Pompage B6 - B12 - B15 - E4 - F3 - H8 - H69
Réfrigération B12 - G
Séchoirs B15 - D 2 - D 5 - D4 1 - H69
Serre (Effet de) voir capteurs plans et séchage, A7 - B16
Stockage de l'énergie H5
Thermodynamique B15 - F3 - H23
Thermosyphon C12 - D.51 - H63

