



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

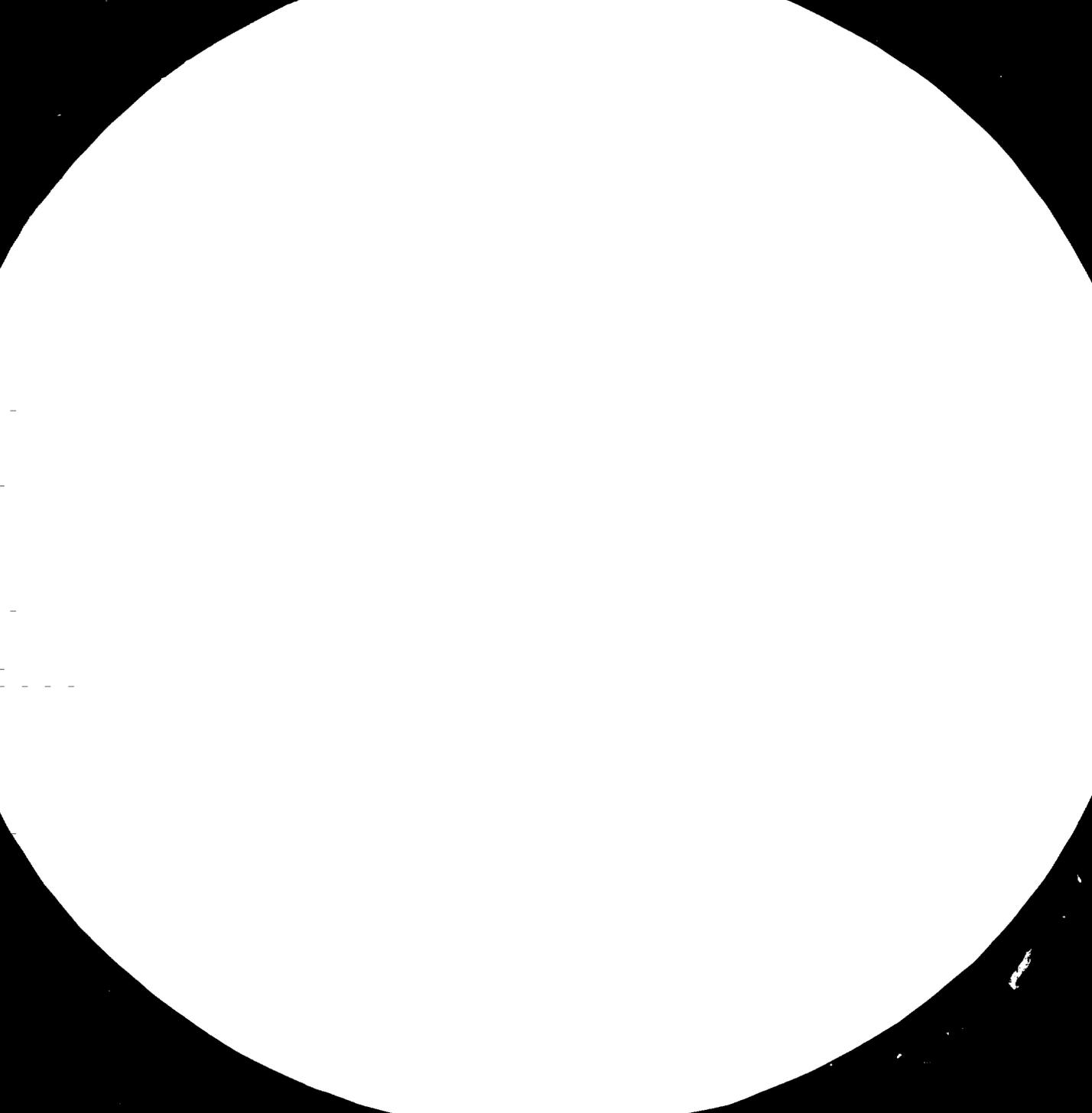
FAIR USE POLICY

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

CONTACT

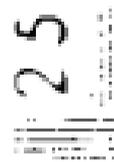
Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

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





2.8



1.6



2.0





1.25



1.4



1.6

Resolution Test Chart

Resolution Test Chart

Resolution Test Chart

PREMIERE CONFERENCE DES ETATS MEMBRES
DE L'O.C.A.M. SUR LE DEVELOPPEMENT DU
MACHINISME ET DE L'OUTILLAGE AGRICOLES

11220

PROJET D'UNITE PILOTE POUR LA PRODUCTION
D'EQUIPEMENT SIMPLE A ENERGIE SOLAIRE

PREPARE POUR L'O.N.U.D.I.
ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE
DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

602348

CTIP SOLAR - VIA PO 22 - 00198 ROME, ITALIE

CONSULTANTS

PREMIERE CONFERENCE DES ETATS MEMBRES
DE L'O.C.A.M. SUR LE DEVELOPPEMENT DU
MACHINISME ET DE L'OUTILLAGE AGRICOLES

(R) PROJET D'UNITE PILOTE POUR LA PRODUCTION
D'EQUIPEMENT SIMPLE A ENERGIE SOLAIRE

PREPARE POUR L'O.N.U.D.I.
ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR LE
DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

CTIP SOLAR - VIA PO 22 - 00198 ROME, ITALIE

CONSULTANTS

INDEX

PRESENTATION	Pag.	2
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	"	3
1.1 Généralités	"	4
1.2 Objectifs de l'étude	"	7
CHAPITRE 2 : SYSTEMES D'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE	"	8
INTRODUCTION	"	9
2.1 Composantes produites au cours de la première phase	"	18
2.1.1 Chauffe-eau solaires	"	18
2.1.2 Distillateurs solaires	"	29
2.1.3 Cuisinières et fours solaires	"	34
2.1.4 Capteurs solaires à air	"	42
2.1.5 Séchage des produits agricoles	"	45
2.1.5.1 Systèmes à énergie solaire pour le séchage des céréales	"	46
2.1.5.2 Séchoirs solaires de petites di- mensions pour fruits, herbes aromatiques, épices et céréales	"	50
2.1.5.3 Systèmes à énergie solaire pour le séchage des fourrages	"	51
2.2 Composantes produites au cours de la deuxième phase	"	60
2.2.1 Capteurs à rendement élevé	"	60
2.2.2 Pompes à gravité	"	67
2.3 Composantes produites au cours de la troisième phase	"	72

2. 3. 1	Systèmes de refroidissement	Pag.	72
2. 3. 2	Autres systèmes de pompage	"	85
CHAPITRE 3 : ATELIER DE PRODUCTION		"	93
INTRODUCTION		"	94
3. 1	Petit atelier	"	96
3. 1. 1	Production prévue	"	96
3. 1. 2	Bâtiments et installations	"	98
3. 1. 3	Equipements et personnel	"	100
3. 1. 4	Schéma de production	"	102
3. 2	Le grand atelier	"	106
CHAPITRE 4 : RESUME DES PRIX D'ESTIMATION		"	110
INTRODUCTION		"	111
4. 1	Composantes et systèmes produits dans le petit atelier	"	111
4. 2	L'atelier et les machines	"	115
CHAPITRE 5 : SERVICES D'INSTALLATION, COMMERCIALISATION ET ASSISTANCE		"	116
INTRODUCTION		"	117
5. 1	Phases d'installation et après installation	"	118
5. 2	Délais d'exécution	"	120

PRESENTATION

A la demande de l'OCAM, l'ONUDI, à partir de 1976, a donné son assistance à la solution des problèmes de développement de la construction de machines et d'outillages agricoles dans les pays membres.

Un programme préliminaire élaboré par les experts a été approuvé par la Conférence des Chefs d'Etat réunie à Kigali en février 1977, laquelle a chargé le Secrétaire Général de l'OCAM de mettre en oeuvre la deuxième phase du projet.

C'est dans ce cadre que l'OCAM a demandé à l'ONUDI de rédiger, à l'occasion de la première Conférence d'Experts, trois projets d'unités-pilotes à réaliser dans les différents pays membres au niveau national et/ou régional.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 GENERALITES

Deux caractéristiques fondamentales rendent les systèmes à énergie solaire particulièrement intéressants pour les pays en voie de développement :

- 1) Les systèmes à énergie solaire emploient une matière première, le soleil, qui contrairement au pétrole et à l'uranium, est disponible en quantités égales dans tous les pays d'une même zone géographique. C'est à dire qu'il n'existe pas, à l'intérieur d'une même zone, en ce qui concerne l'énergie solaire, des pays privilégiés et des pays non privilégiés, tels qu'il en existe pour la production de pétrole. L'utilisation de l'énergie solaire pourra considérablement alléger le passif de la balance des paiements des pays qui importent actuellement du pétrole, en permettant d'employer les ressources financières épargnées dans d'autres investissements qu'exigent le développement agricole et industriel. La plupart des pays en voie de développement se trouvent dans la zone géographique la plus favorisée du point de vue de la quantité d'énergie solaire disponible.

L'utilisation de l'énergie solaire permet aussi de faire face aux exigences en énergie des zones manquant d'infrastructures, telles que routes, réseaux de distribution de l'électricité, etc. où l'introduction de sources énergétiques traditionnelles a des coûts assez élevés.

2) Les systèmes à énergie solaire se basent, en général, sur des techniques simples et qui s'adaptent facilement à un premier développement de l'industrie et de l'agriculture.

Des systèmes simples peuvent facilement être produits sur place par du personnel semi-spécialisé ou non spécialisé et on peut en outre les faire fonctionner par des opérateurs ayant une formation minimum.

L'importance de l'énergie solaire est surtout considérable dans le domaine agricole où les pays en voie de développement présentent une agriculture très dispersée sur tout le territoire et qui se base, à son tour, sur différentes dimensions d'entreprises (généralement très petites, de 1 à 3 ha, dans les zones d'agriculture traditionnelle; larges et à gestion collective ou d'Etat dans les zones nouvellement exploitées) et un faible rendement du sol.

Ce phénomène dépend des "cultivar" qui ne conviennent pas toujours aux conditions climatiques locales et d'une insuffisance dans l'emploi de moyens techniques de production, tels que machines agricoles et irrigation. Il faut ajouter à cela un manque général de moyens adaptés au traitement et à la conservation des productions agricoles, avec d'inévitables pertes de produit élevées.

D'autre part, la diffusion de systèmes de séchage et de conservation des produits appropriés et de méthodes modernes d'irrigation (par aspersion et/ou à goutte) se trouve gênée par la difficulté d'approvisionnement en combustible au niveau d'entreprise et/ou de village rural.

Dans de nombreux cas, il faut ajouter un faible niveau de vie de la population rurale qui manque souvent de tout système moderne dans ses habitations: de l'éclairage aux systèmes de cuisson et de conservation des aliments; de l'approvisionnement en eau potable à sa diffusion et/ou dessalaison.

Ce phénomène intéresse en moyenne plus de 60% de la population des pays en voie de développement vivant dans les zones rurales.

D'où l'exigence de préparer et de réaliser, sur place, une série de techniques simples basées sur l'emploi de l'énergie solaire au service des nécessités civiles et instrumentales des populations, surtout de celles agricoles.

Heureusement les pays en voie de développement jouissent du privilège d'une insolation élevée et assez constante au cours de l'année (6.5×10^6 KJ m²/an environ) permettant l'emploi économique de techniques solaires simples et avancées du point de vue rendement.

De plus, des systèmes simples, comme ceux solaires, s'adaptent parfaitement, à la phase de passage des systèmes de culture primitifs à la première industrialisation de l'agriculture actuellement en cours dans le plupart des pays en voie de développement.

1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Afin d'insérer, avec succès, les techniques solaires dans les pays en voie de développement, il faut que la production des systèmes d'exploitation soit autant que possible locale.

Ceci vaut aussi bien pour des raisons économiques (en cas d'importation, ces systèmes entraîneraient des frais de transport élevés par rapport aux coûts de production qui sont par contre modestes en raison du faible degré de technologie requise), que pour des raisons psychologiques (il est plus facile de faire accepter et d'utiliser sur le marché les produits locaux et d'entretien).

L'objectif principal de la présente étude est donc de proposer des systèmes utilisant l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau, la dessalaison, le séchage, etc. et entraînant l'emploi de techniques les plus simples possibles, et de présenter en même temps les caractéristiques et les coûts de petits ateliers permettant de produire immédiatement ces systèmes dans un ou plusieurs pays faisant partie de l'OCAM.

La présente étude considère et décrit aussi les perspectives d'avenir d'une usine de production de systèmes comportant une technologie plus complexe.

CHAPITRE 2

SYSTEMES D'UTILISATION DE L'ENERGIE
SOLAIRE

INTRODUCTION

L'exploitation de l'énergie solaire est arrivée à un tel degré de perfectionnement qu'elle arrive à couvrir de nombreuses nécessités en énergie.

Ce but est atteint par l'utilisation de différents niveaux techniques. On va de techniques très simples, telles que, par exemple, le chauffage de l'eau pour la cuisine, à des techniques plus complexes, telles que la génération d'énergie mécanique et/ou électrique.

Les techniques simples répondent à de nombreuses nécessités en énergie fondamentales, telles que le chauffage de l'eau pour les emplois sanitaires, pour la cuisine et pour la zootechnique, la distillation de l'eau saumâtre, la cuisson des aliments et le séchage des produits agricoles.

Pour les autres demandes en énergie, telles que le pompage de l'eau et la réfrigération des produits agricoles, la technologie requise est plus élevée.

D'autre part le niveau technique nécessaire dépend souvent d'évaluations qui vont au delà de l'aspect technique mais sont en fonction du type de produit demandé.

Un exemple est donné par les pompes solaires où avec des techniques plutôt simples on arrive à réaliser des systèmes fonctionnant à faibles rendements; si on désire augmenter l'efficacité de fonctionnement, il faut utiliser des techniques plus perfectionnées (Fig. 2.1).

Les mêmes considérations valent pour les capteurs solaires : en allant des technologies les plus simples aux plus élevées,

on passe des faibles rendements et des coûts limités à des rendements et des coûts plus élevés (Fig. 2.2).

Un autre paramètre important est représenté par le degré de développement et de fiabilité. Aux différents niveaux de technologie il existe des produits déjà développés à échelle industrielle et d'autres qui sont encore en cours d'expérimentation et qui ne sont pas encore prêts à être mis dans le commerce.

Un exemple en est fourni par les capteurs plans à air qui, tout en utilisant, au moment de la construction, des techniques très simples, présentent encore des problèmes rendant nécessaire une autre brève expérimentation avant qu'ils ne deviennent des produits complets.

Il en est de même à un niveau technique plus élevé, pour de nombreux systèmes de pompage fonctionnant déjà dans de nombreux pays et qui, malgré leur diffusion, continuent à présenter toute une série de problèmes liés non seulement à l'élément composant mais aussi à l'introduction géographique de ce même élément.

Le but de la présente étude est d'arriver à suggérer la production d'une série d'éléments composants pour couvrir une partie des nécessités en énergie des pays membres de l'OCAM.

Ces pays sont particulièrement privilégiés en ce qui concerne l'insolation. La Fig. 2.3 montre le cours moyen de l'insolation selon les différents mois.

Compte tenu des considérations ci-dessus, la réalisation de systèmes de production de composantes solaires a été divisée en trois phases échelonnées dans le temps.

Ces phases sont les suivantes:

- a) Première phase: technologies simples, usines locales, tous les éléments sont produits localement.
- b) Deuxième phase: produits selon des technologies plus complexes mais réalisables dans les usines locales, une partie des éléments des installations est importée.
- c) Troisième phase: technologies complexes, usine centralisée où sont réalisés les éléments qui ne peuvent pas être construits dans les usines locales.

Analysons ci-après les différentes phases:

- a) Dans la première phase les produits dont nous suggérons la mise en commerce sont les suivants: capteurs plans à liquide à faible rendement, chauffe-eau, distillateurs modulaires, fours solaires, capteurs plans à air et séchoirs.
Tous les produits utilisent des techniques de construction simples et ont besoin d'une brève phase initiale d'étude et de choix de la composante optimale.
L'utilisateur de ces produits est une famille ou un petit village.
L'atelier de réalisation des composants est lui aussi à niveau artisanal et/ou semi-industriel et il peut être déplacé localement dans les zones de plus grande commercialisation.
Les expériences pour la deuxième phase seront conduites parallèlement.

b) Dans la deuxième phase en fonction soit de la diffusion sur le marché des composantes solaires, soit des expériences acquises dans la première phase, nous conseillons la réalisation aussi bien de capteurs plans à liquide à rendement plus élevé que de pompes à gravité. Les capteurs plans à liquide à rendement élevé seront produits pour le fonctionnement de pompes à rendement plus élevé et de systèmes de réfrigération.

Les pompes et les machines frigorifiques demandent une technologie assez avancée en ce qui concerne l'étude et la construction. Ceci entraîne, dans cette deuxième phase, l'importation des composantes; dans une troisième phase seulement on arrivera à réaliser au moins partiellement ces produits localement, après une recherche et des expériences effectuées dans des centres de recherche existants. La voie de réalisation dans les pays membres de l'OCAM

Pour la première et la deuxième phase, à part des différences d'échelle liées à la quantité produite, l'atelier reste essentiellement le même.

c) Dans la troisième phase seront réalisés des systèmes complexes utilisant des techniques assez élevées.

Les produits seront les suivants : pompes pour l'irrigation à rendement élevé et machines pour la réfrigération.

Dans cette phase un grand atelier centralisé et industriellement organisé répond certainement mieux aux exigences. Cette industrie produira toutes les composantes qui ne peuvent pas être réalisés dans les ateliers décentralisés.

Dans la division en trois phases nous avons tenu compte d'un progrès technologique continu et uniforme. Autrement dit, les expériences effectuées au cours de la première phase peuvent être appliquées directement à la réalisation des composantes pour la deuxième phase. Il en est de même pour le passage de la deuxième à la troisième phase.

Nous avons intentionnellement exclu les produits tels que les capteurs photovoltaïques qui, étant donné le niveau technologique très élevé que leur production exige, peuvent être réalisés dans un très petit nombre de pays du monde.

Les installations pour l'exploitation de l'énergie solaire utilisent aussi toute une série de composantes (telles que: pompes, tuyauteries, vannes, systèmes de réglage) communes à toutes les installations thermotechniques. Ces éléments ne sont pas considérés dans la présente étude vu qu'ils sont produits à échelle industrielle avec des techniques déjà expérimentées. Ce principe vaut surtout pour les installations réalisées dans la deuxième et troisième phase. En ce qui concerne la première phase, seules les grandes installations utiliseront ces composantes pour le chauffage de l'eau et pour le séchage.

Dans les paragraphes suivants nous avons décrit les différentes composantes pouvant être produites dans les trois phases, groupées par phase.

Toutes les références aux coûts compris dans ce chapitre ont une valeur simplement indicative, vu que les prix de ces composantes dépendent d'un certain nombre de paramètres qu'il est difficile d'estimer dans cette phase, tels que quantités produites, matériaux, lieu de construction, etc.

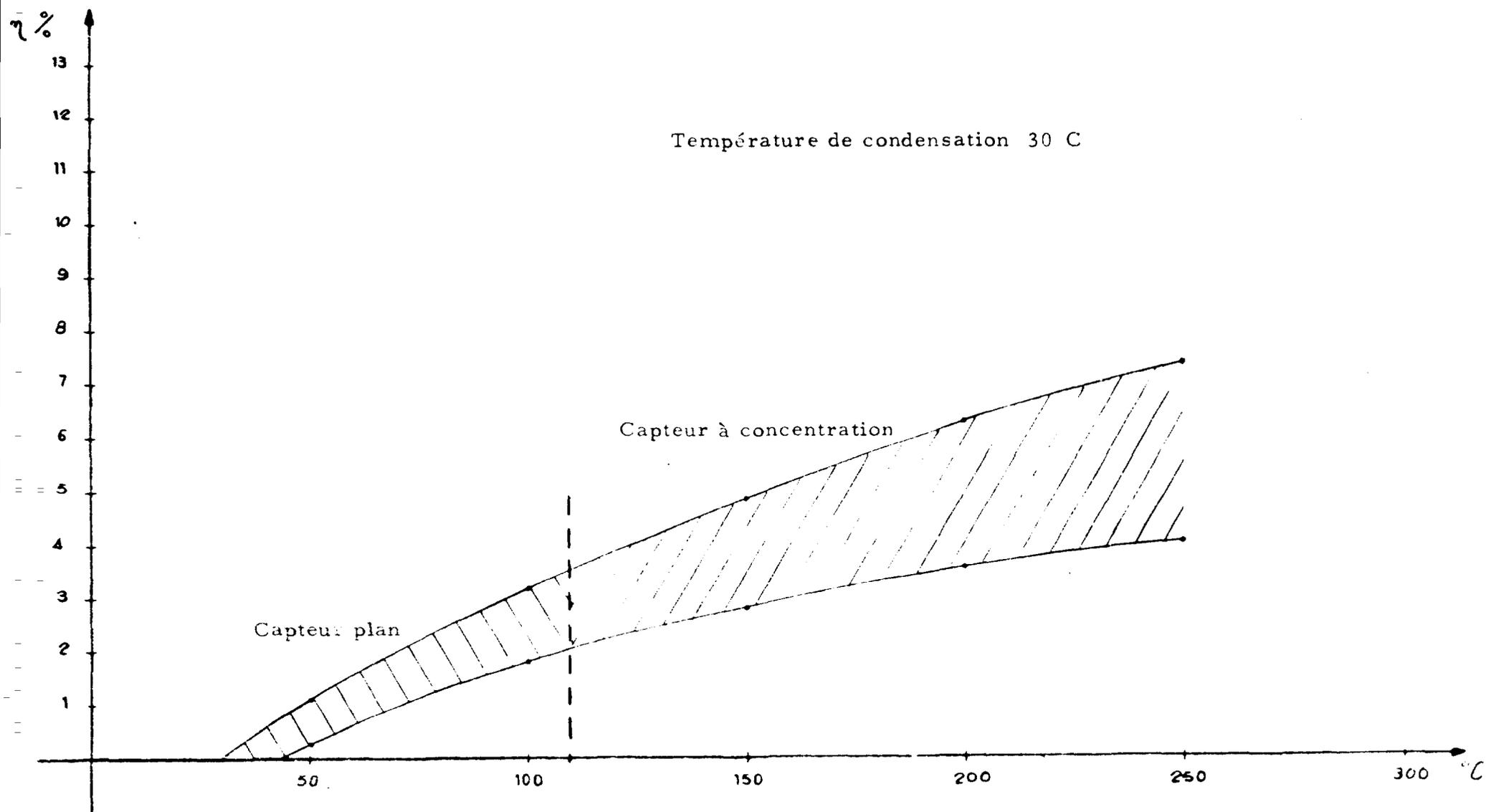


FIG. 2.1. - EFFICACITE DU POMPAGE DE L'EAU POUR DE DIFFERENTES TEMPERATURES -

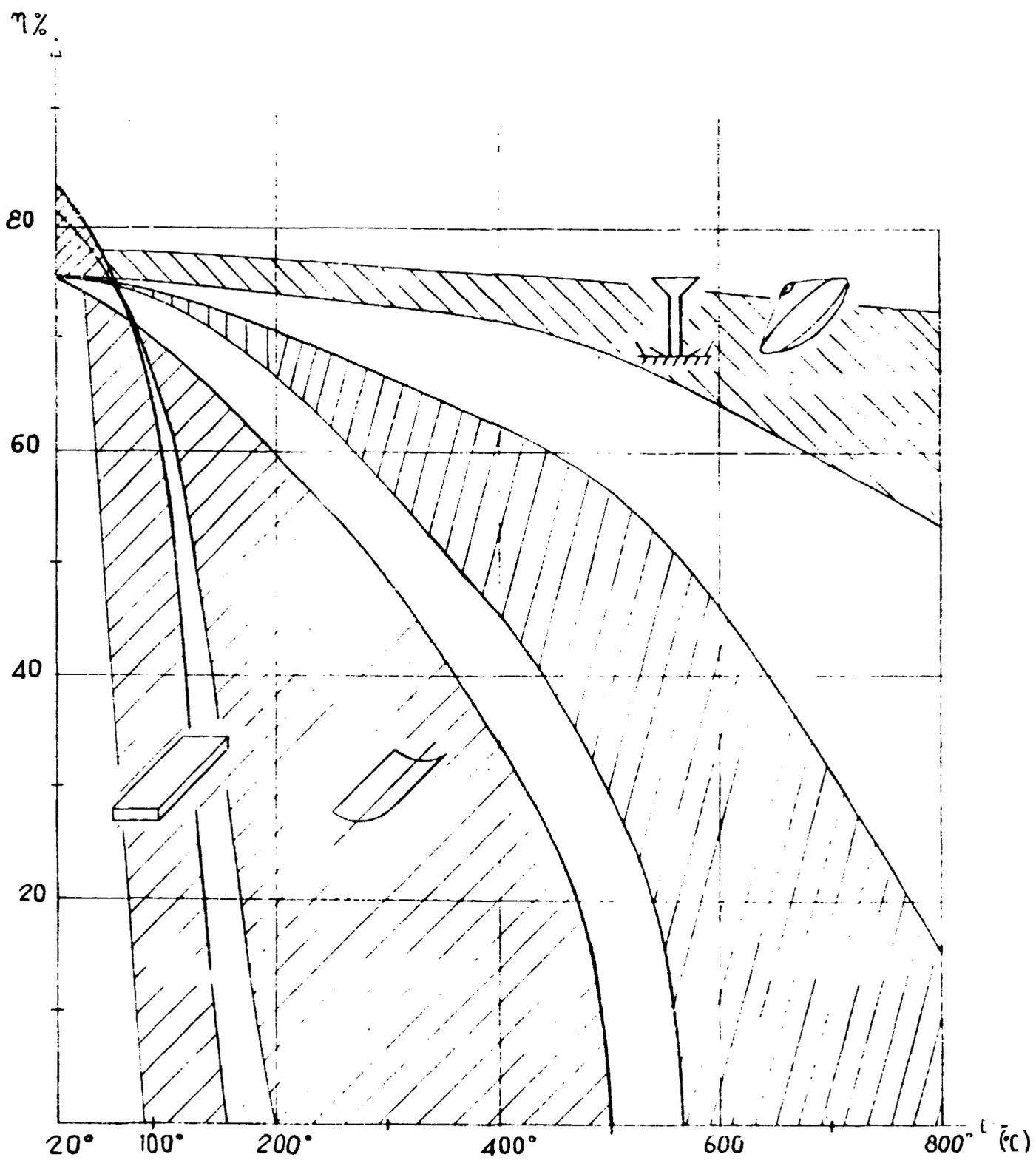


FIG. 2.2 - COEFFICIENT DE RENDEMENT POUR DES DIFFERENTS CAPTEURS

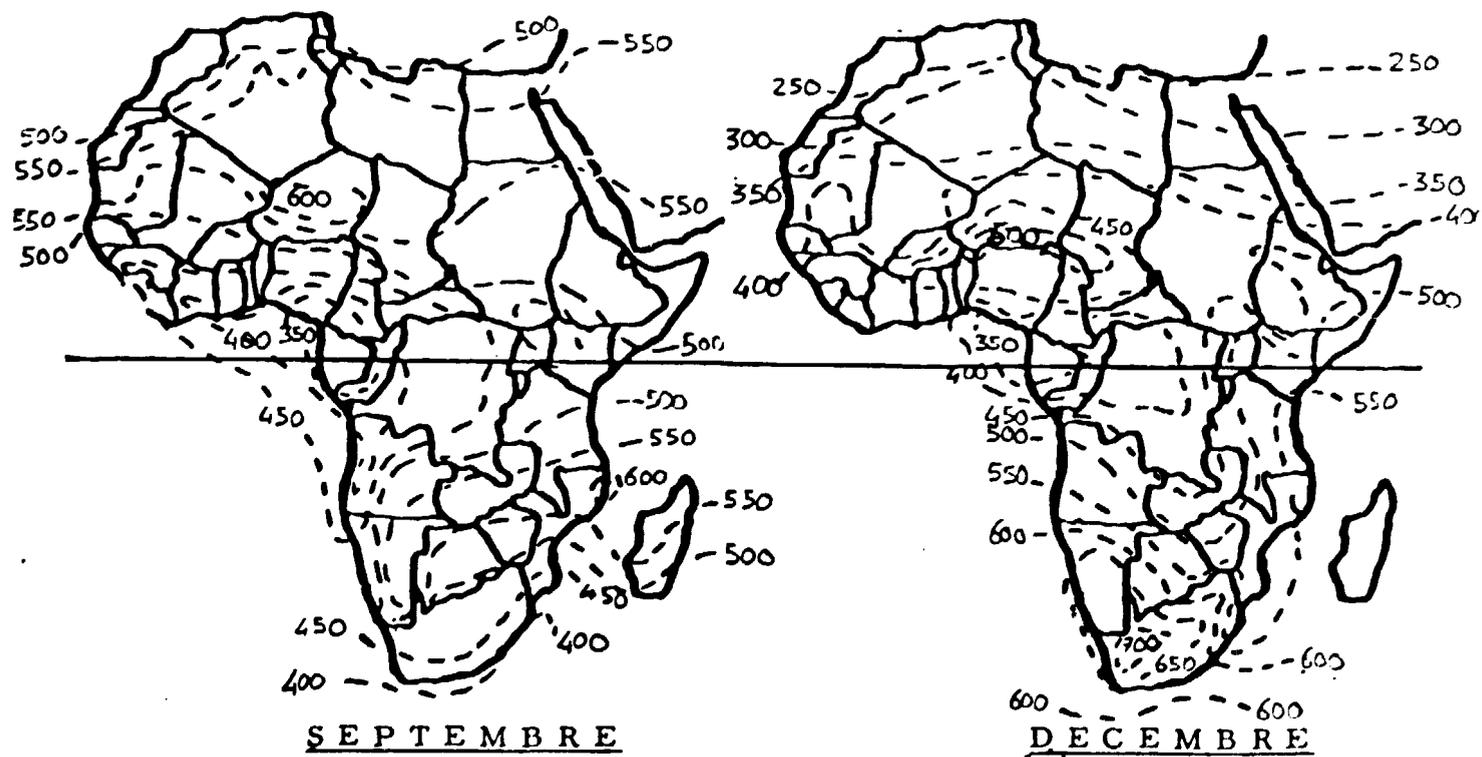
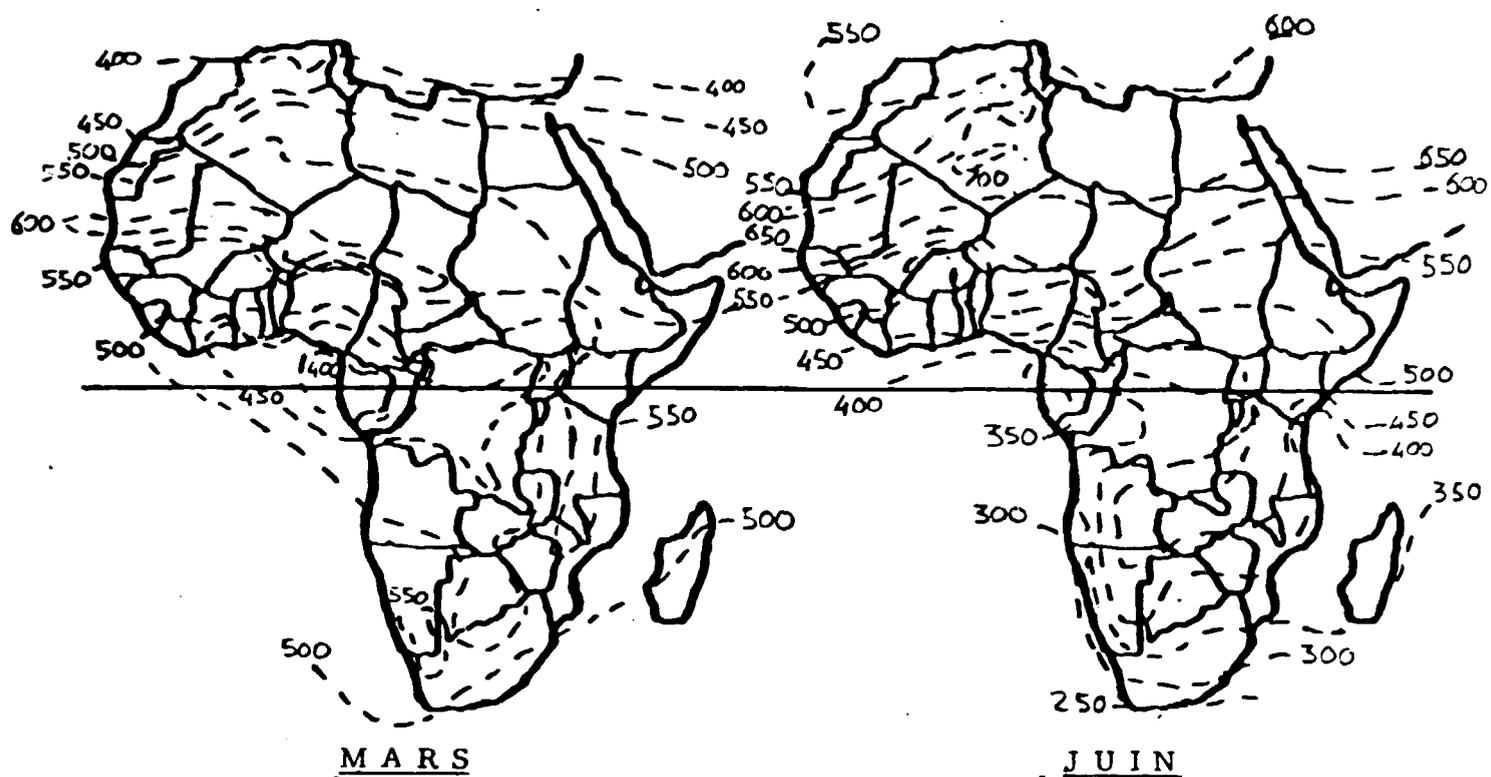


FIG. 2.3 - VARIATIONS ANNUELLES DU RAYONNEMENT ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{jour}$)

2.1 COMPOSANTES PRODUITES AU COURS DE LA PREMIERE PHASE

2.1.1 Chaffe-eau solaires

Le chauffage de l'eau pour les différents besoins de l'agriculture et des familles peut généralement s'obtenir en faisant appel à une technologie d'un échelon relativement simple. En effet, un capteur solaire plan relié à un système d'accumulation et tirant parti de la convection naturelle peut satisfaire la demande en eau chaude. Il implique une faible consommation d'énergie du fait qu'il est très facile à construire et à entretenir. Un tel système de chauffage d'eau est en mesure de satisfaire efficacement les besoins d'une famille.

On propose deux types de chauffe-eau solaire :

- A) capteur plan avec réservoir d'accumulation séparé;
- B) capteur plan avec réservoir d'accumulation incorporé.

A) Le premier est un capteur plan qui pourrait être employé pour un certain nombre d'utilisations, en particulier, pour :

- a) le chauffage de l'eau pour les besoins familiaux au niveau des habitations particulières dans les secteurs urbains et semi-urbains;
- b) le chauffage de l'eau pour les établissements publics, à savoir : hôpitaux, centres médico-sociaux, foyers et hôtels;

- c) le préchauffage de l'eau pour la dessalaison
- d) le chauffage de l'eau pour les besoins instrumentaux de l'agriculture et de la zootechnique.

A ce propos il faut rappeler que l'eau pour la traite et la préparation des aliments demande une température comprise entre 35 et 70°C, pouvant être atteinte avec ce chauffe-eau.

La Fig. 2. 4 montre un croquis schématique d'un capteur plan typique qu'il est possible de fabriquer dans l'atelier proposé, tandis que les figures 2. 5 et 2.6 montrent deux systèmes basés sur le capteur proposé, dont l'un est destiné au chauffage de l'eau dans les habitations particulières et l'autre à des applications plus importantes.

Le capteur proposé (Fig. 2. 4), peut être fabriqué en modules mesurant de 0,8 à 1,5 m² selon la quantité moyenne d'eau chaude requise et les matériaux disponibles dans les pays en question. Le rendement moyen de ce capteur ne devrait pas être inférieur à 35% la liste suivante donne une indication de l'éventail de matériaux qui pourraient être employés pour sa fabrication :

Surface absorbante	acier galvanisé, acier inoxydable, mince film de cuivre ou aluminium
Tuyaux	acier galvanisé ou cuivre
Châssis	acier galvanisé, aluminium ou bois
Isolation	laine minérale ou fibre de laine de verre ou paille pressés ou autres déchets agricoles et industriels.
Vitrages	verre ou pellicule en matière plastique

là où l'on peut s'en procurer aisément

Peinture absorbante Noir mat

Il est possible de parvenir aisément à un prix de vente au détail de $60 + 80 \text{ \$/m}^2$ pour des capteurs utilisant l'un ou l'autre des matériaux ci-dessus dans la plupart des pays africains. Ce prix est indicatif et peut varier en fonction des matériaux employés dans le pays de production et des quantités produites.

B) Le second type de capteur qu'il est possible de fabriquer dans l'atelier proposé est un ensemble capteur et accumulateur d'un coût modeste. En associant les fonctions de collection et d'accumulation en un seul appareil, il est possible de réduire les coûts de manière appréciable.

Sur le plan des coûts et du fonctionnement, ce type de capteur solaire est susceptible d'être employé extensivement dans les zones rurales. Le grand avantage des chauffe-eau solaires de ce type est qu'on peut les alimenter manuellement, par lots, les prélèvements d'eau chaude s'effectuant deux, trois ou quatre fois par jour selon les endroits et/ou les besoins. La capacité de ce capteur peut varier de 40 à 100 l par appareil selon les exigences locales moyennes. La profondeur optimale du réservoir se situe entre 5 et 7 cm.

La Fig 2.7 montre une configuration possible pour les appareils qui servent à la fois de capteur et d'accumulateur, tandis que la Fig. 2.8 montre quatre manières d'utiliser ce capteur.

Ce capteur proposé d'un coût modeste peut être fabriqué en modules mesurant de 0,6 à $1,2 \text{ m}^2$ pour des capacités de 40 à 100 l. Le rendement thermique de ce capteur peut varier de 40 à 70% par ciel pur. Pour sa fabrication on pourra utiliser la gamme de mate-

riaux proposés , à savoir :

Accumulateur	acier galvanisé ou acier inoxydable
Chassis	s'il est incorporé avec l'accumulateur, acier galvanisé; s'il est séparé de l'accumulateur, acier galvanisé ou bois
Isolation	laine minérale ou fibre de verre, paille pressée ou autres matériaux de récupération
Vitrage	verre
Peinture	noir mat
Accessoires de Fixation	cuivre ou acier

L'utilisation du verre de couverture peut être inutile dans certains cas; ceci entraîne une réduction du rendement, ainsi que des coûts. Un capteur sans vitre est valable quand la température demandée est basse (moins de 40°C).

On peut aisément parvenir à un prix de détail de \$ 60-100 pour une capacité de 40 à 100 l par appareil. Ce prix, comme dans le cas précédent, est en fonction des matériaux employés, de la production et du pays de production.

Dans le Tableau de Fig. 2. 9 nous avons rapporté une comparaison entre les deux différents systèmes de chauffage de l'eau sanitaire conseillés. Le premier type de capteur est très simple et il est toujours à préférer pour des installations plus grandes que celles concernant une seule famille, quand une série de capteur chauffent un seul réservoir d'accumulation avec un système de circulation forcée du fluide.

Dans ce cas il faut ajouter au coût du capteur celui du réservoir d'accumulation qui peut être réalisé en tôle, en fibre pressée, en plastique ou en bois.

Le prix d'un tel réservoir est de 25 \$ environ pour 100 l. L'isolation peut être réalisé avec de la laine de verre ou de la paille. Dans ce cas aussi pour le prix il faut tenir compte des considérations précédentes.

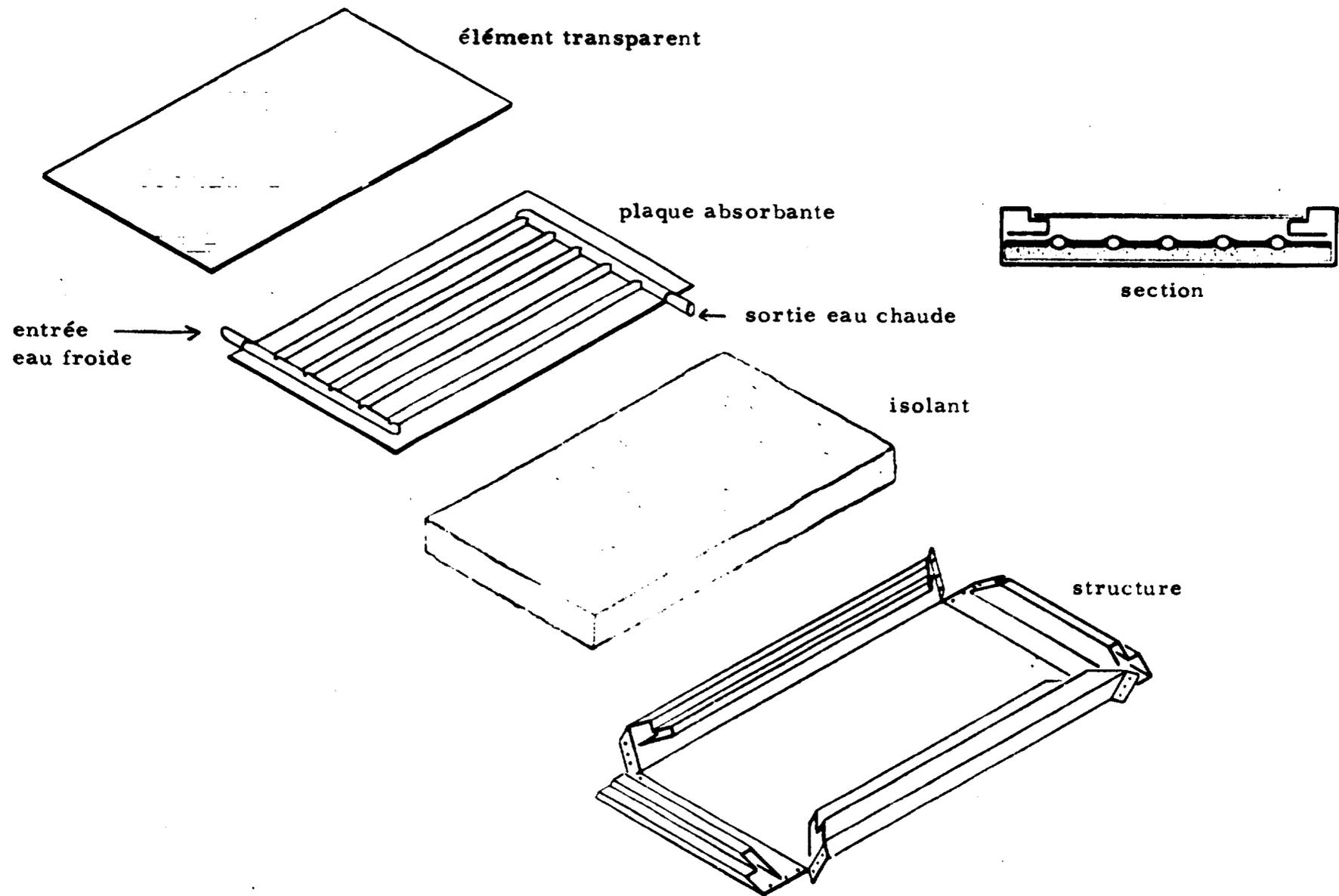
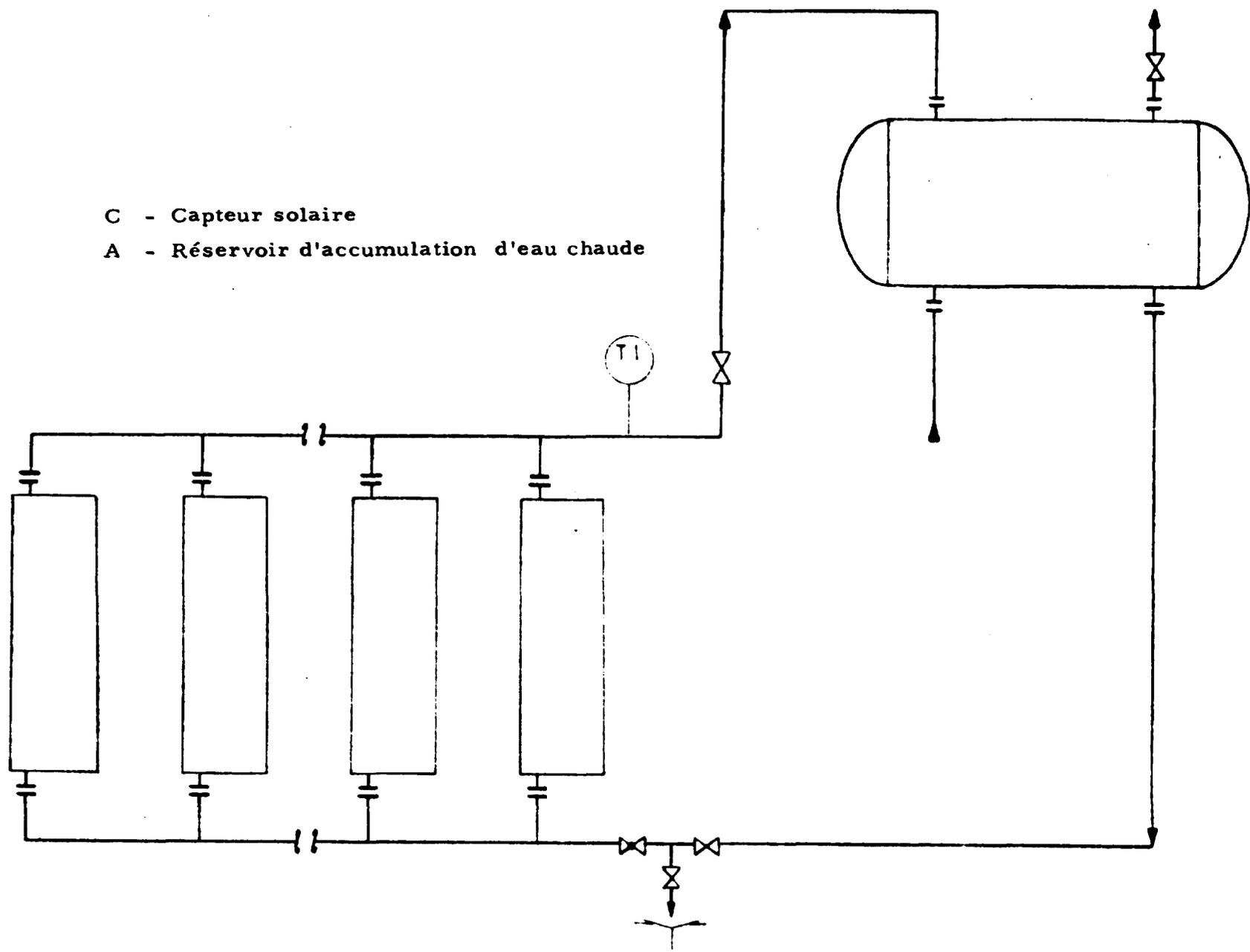


FIG. 2.4 - CAPTEUR PLAN



C - Capteur solaire
 A - Réservoir d'accumulation d'eau chaude

FIG. 2.5 - CHAUFFE-EAU A CIRCULATION NATURELLE

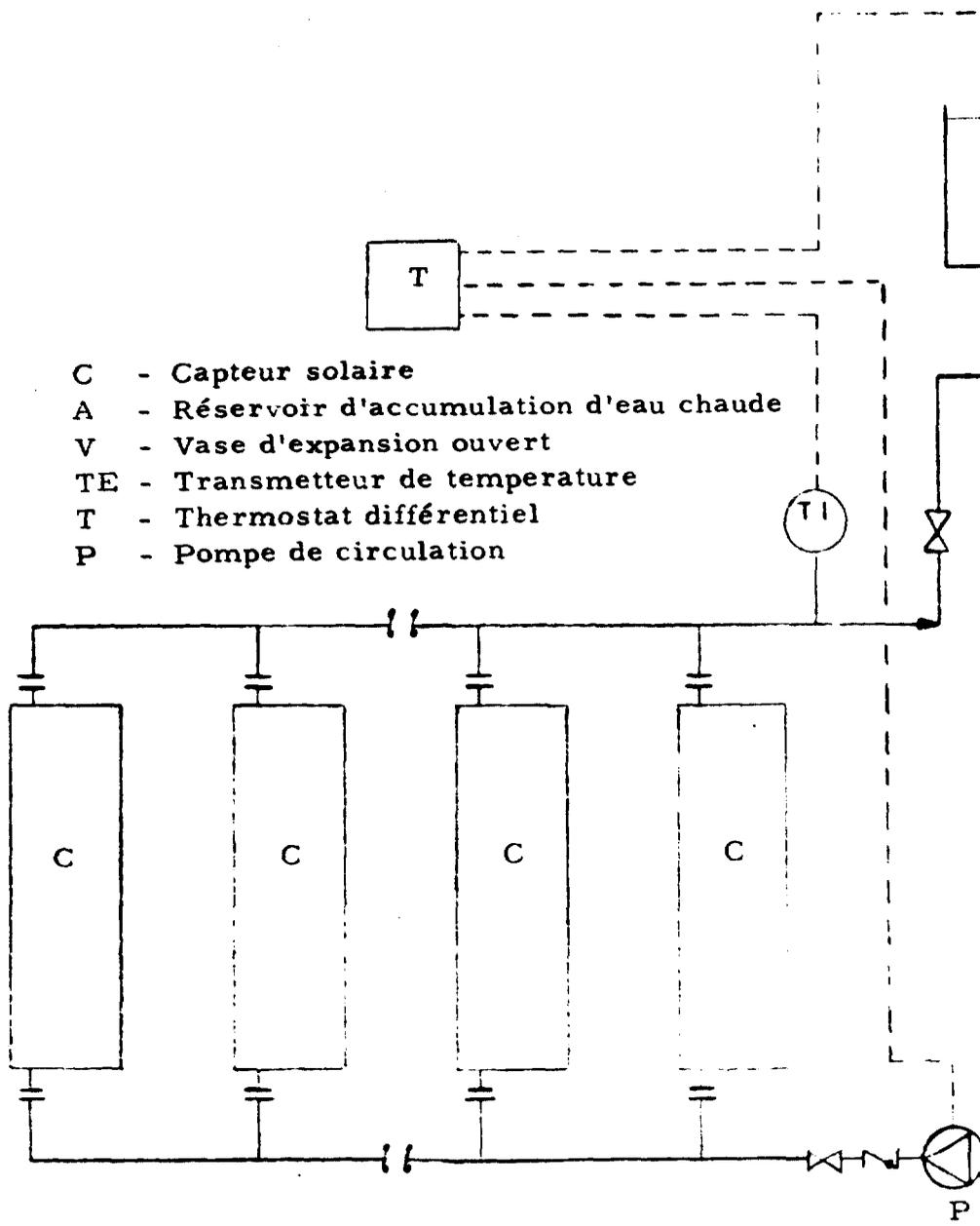
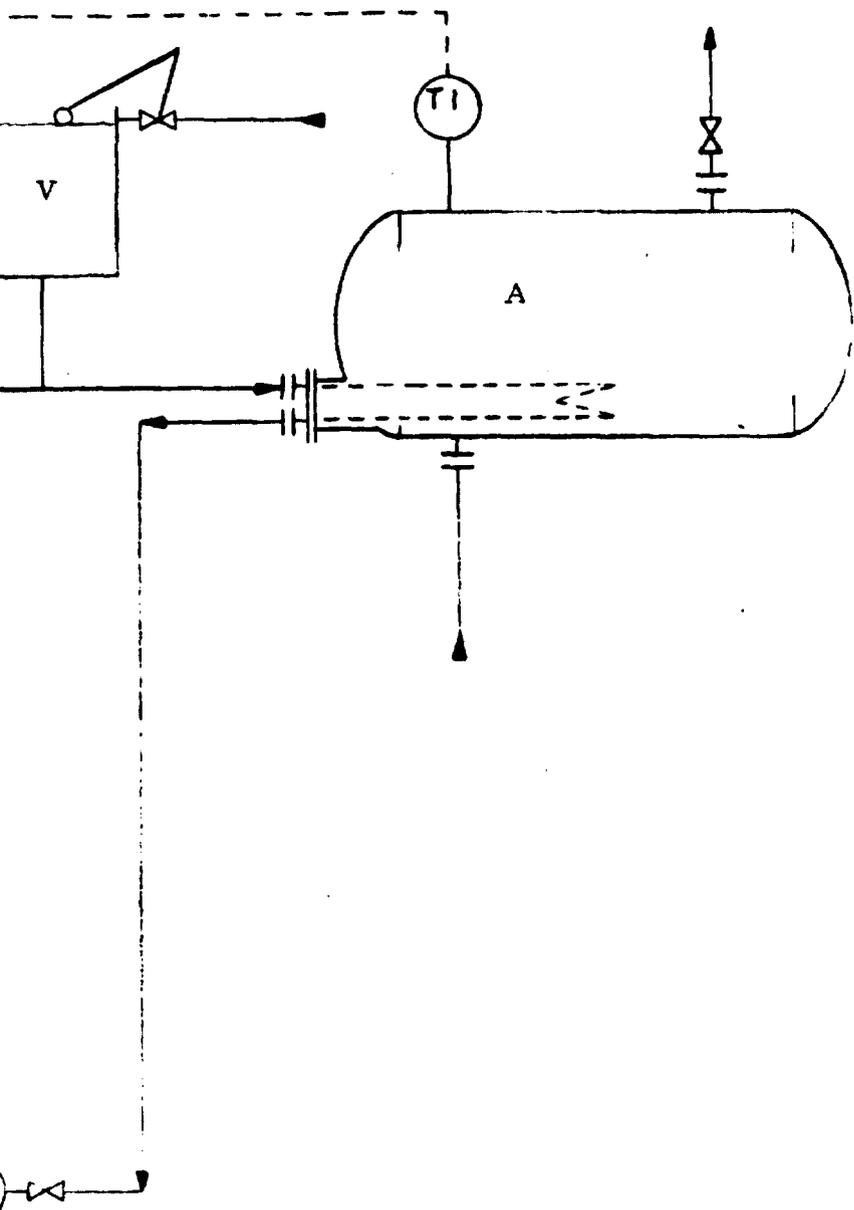


FIG. 2.6 - CHAUFFE-EAU A CIRCULATION FORCEE -



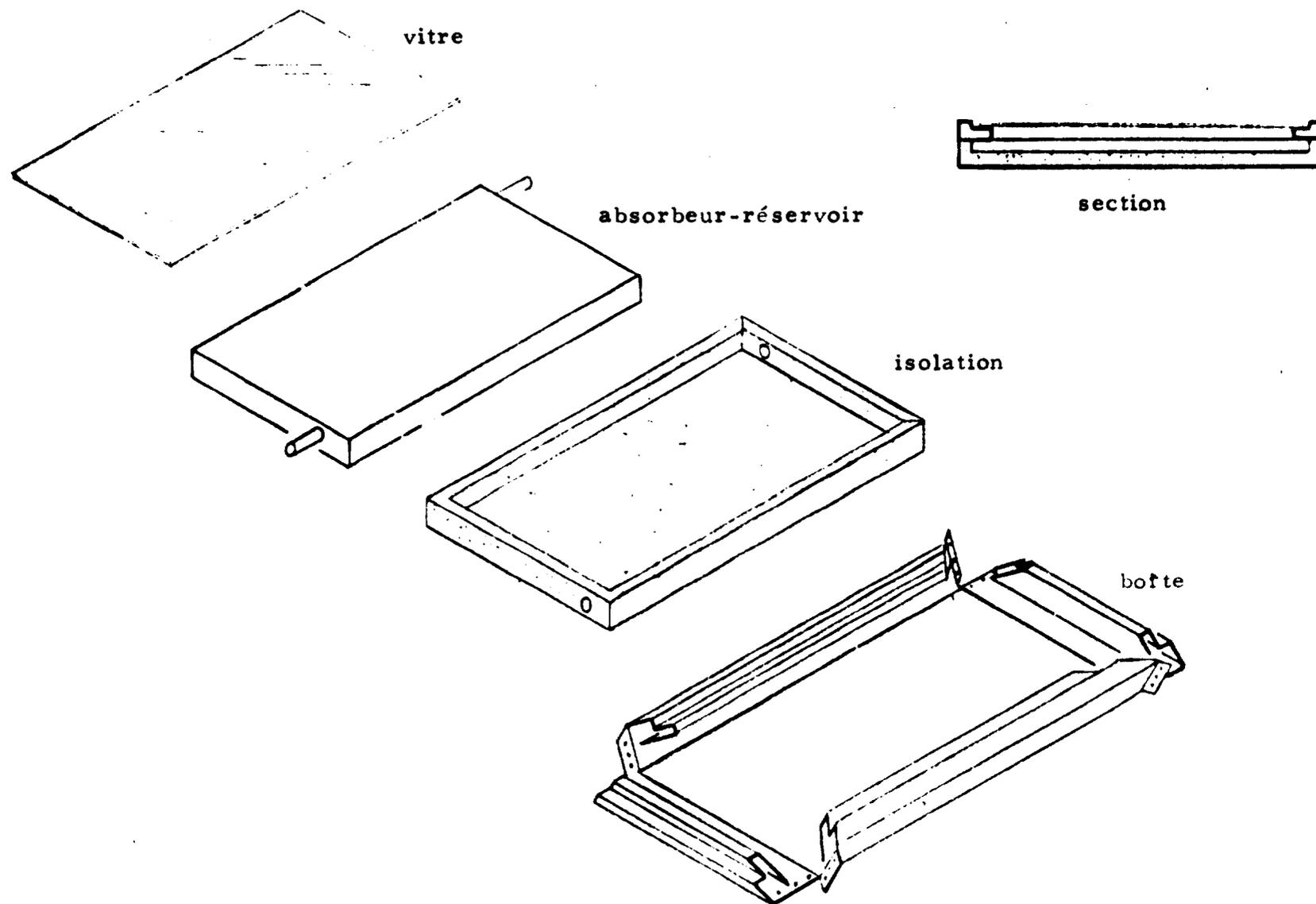
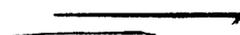


FIG. 2.7 CAPTEUR PLAN AVEC ACCUMULATION INCORPOREE



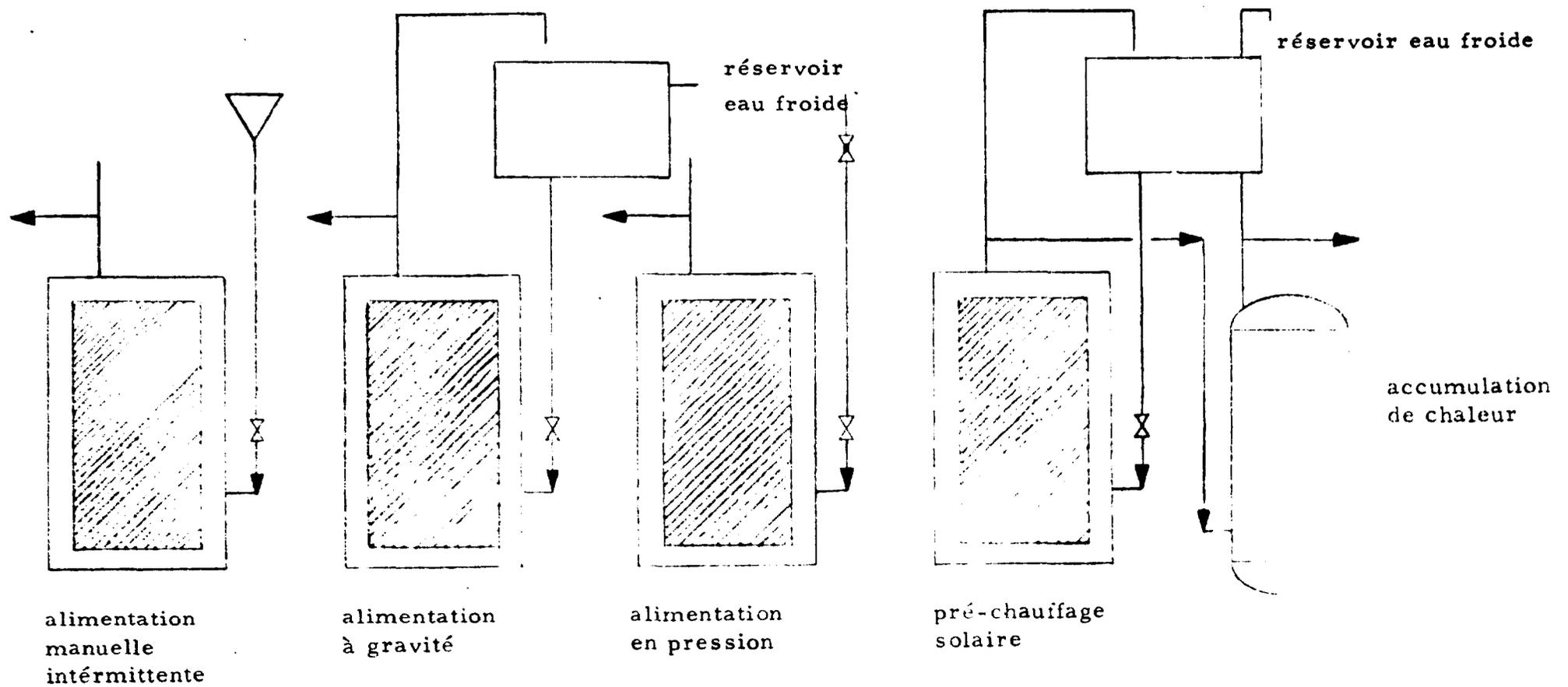


FIG. 2.8 - QUATRE MANIERES D'UTILISER LE CHAUFFE-EAU DE FIG. 2.7-

TABLEAU 2.9

COMPARAISON ENTRE LES DEUX TYPES DE CHAUFFE-EAU

(LES PRIX SONT TRES APPROXIMATIFS)

SYSTEME	PRIX (\$/m²)	EAU CHAUFFEE à 40°C (l/g m²)	RENDEMENT MOYEN (%)
Capteur plan et réservoir séparé avec circulation naturelle (Fig.)	60+80	70	35
Capteur plan avec réservoir incorporé (Fig.)	60+80	100	50

Note : Le coefficient de rendement du deuxième chauffe-eau fait compte seulement des journées à ciel pur, tandis que celui du premier chauffe-eau fait aussi compte des journées sans rayonnement.

2. 1. 2 Distillateurs solaires

La distillation solaire peut faire appel à des différents niveaux de technologie. Il est possible de fabriquer localement des capteurs solaires susceptibles de fournir de la chaleur pour l'entraînement d'équipements relativement perfectionnés comme, par exemple, les systèmes de distillation multi-flash. Toutefois ces systèmes impliquent un niveau élevé de technologie qui n'existe que dans très peu de pays. De plus, leur exploitation n'est pas encore sans poser de problèmes.

Cependant, à un niveau plus simple, il est possible de fabriquer un équipement de distillation sur une petite échelle en tirant parti directement de l'évaporation solaire. La construction d'un tel équipement convient parfaitement à la fabrication sur petite échelle et implique un faible niveau de compétences techniques.

Tout l'appareil de distillation pourrait être fabriqué sur place en utilisant essentiellement des matériaux que l'on peut déjà se procurer aisément dans les pays en voie de développement. Le type d'appareil de distillation solaire proposé est pourtant susceptible d'être fabriqué localement dès la première phase. La taille de l'appareil pourrait varier entre 2 et 3 m² selon l'endroit. La quantité quotidienne moyenne d'eau distillée en provenance de cet appareil peut varier entre 4 et 6 l/m² . jour. La Fig. 2.10 montre un schéma de l'appareil proposé. Ce type d'appareil de distillation est généralement alimenté de façon sporadique en eau saline ou saumâtre une fois par jour ou une fois tous les deux jours.

Le distillat peut être collecté dans des flacons de verre qui sont situés juste au-dessous de la base de l'appareil de distilla

tion. On peut alors mélanger l'eau distillée avec de l'eau saumâtre pour obtenir de l'eau potable de bonne qualité. On estime qu'un simple appareil de distillation pourra être vendu à un prix de détail de 80 - 120 \$.

Comme on l'a déjà dit pour les autres équipements, ce prix sera susceptible de modifications en fonction des matériaux employés, des quantités produites et du lieu de fabrication. Les spécifications des matériaux qui seraient employés pour la fabrication de cet appareil de distillation solaire, sont les suivantes :

Châssis	Métal ou bois
Base	Métal ou bois garni de caoutchouc butyl
Isolation	Laine minérale
Vitrage	Verre

Dans le cas de distillateurs de grandes dimensions réalisés sur place avec un soubassement en béton, on peut préfabriquer le châssis pour les vitres, les canalisations de récolte de l'eau distillée, de l'eau de pluie et les coffrages pour la réalisation du soubassement en béton.

Ces composantes pourront être fabriquées à l'atelier et montés sur place.

L'eau de pluie recueillie par la partie supérieure du distillateur pourra être, si la pluviosité est suffisante, recueillie et utilisée pour abreuver les animaux ou irriguer de petits potagers.

Dans ce dernier cas, c'est à dire d'un grand appareil de distillation solaire comptant un grand nombre de mètres carrés d'appareil de distillation, il est judicieux de préchauffer l'eau avant la distillation. Il est possible, de cette manière, d'améliorer le

rendement de la distillation d'une manière appréciable.

On peut le faire au moyen d'une système solaire de chauffage d'eau comme celle représentée à la Fig. 2. 11.

Le préchauffage de l'eau pour la distillation solaire est encore un domaine d'application où l'on pourrait utiliser les capteurs solaires que l'on propose de fabriquer dans l'atelier.

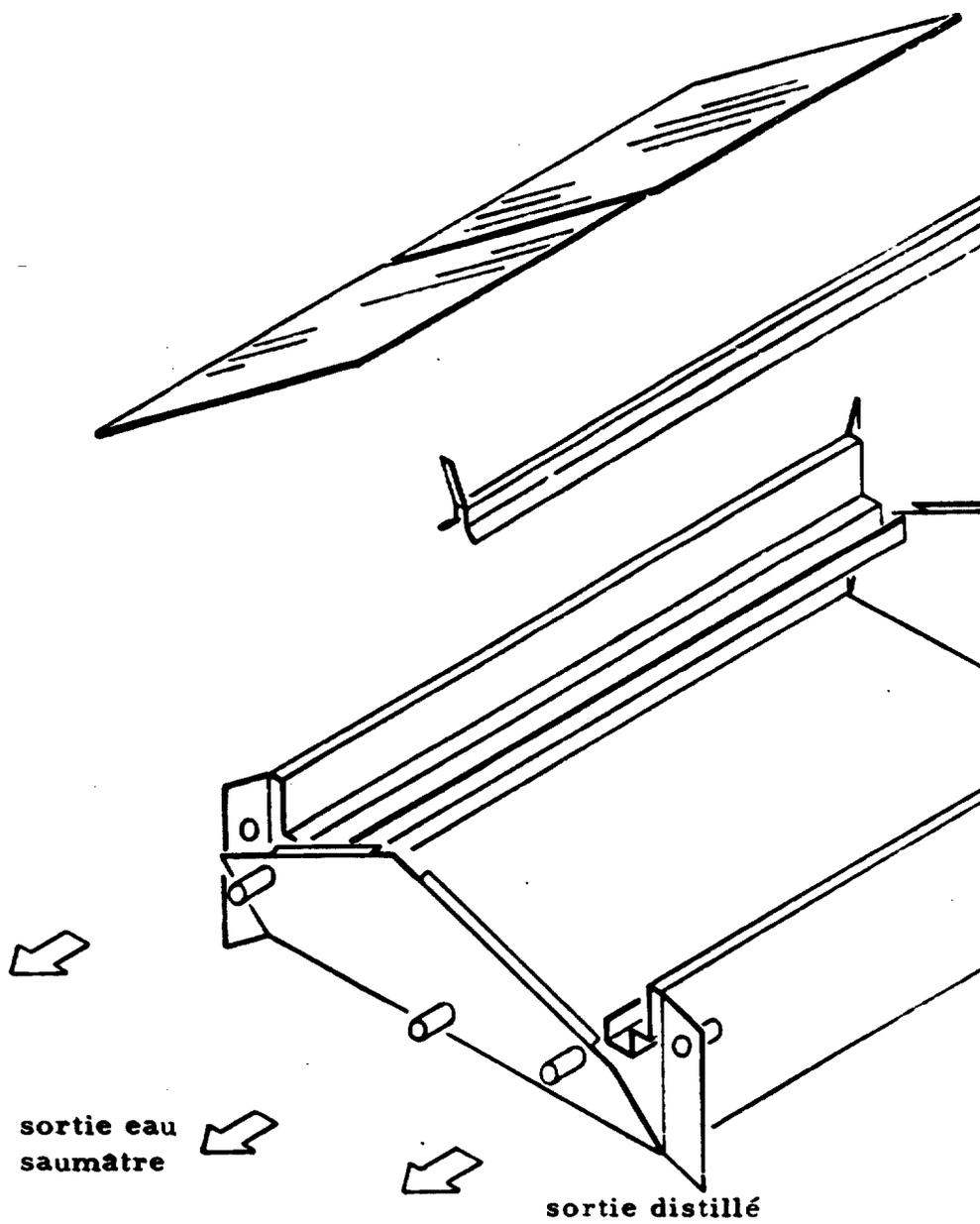
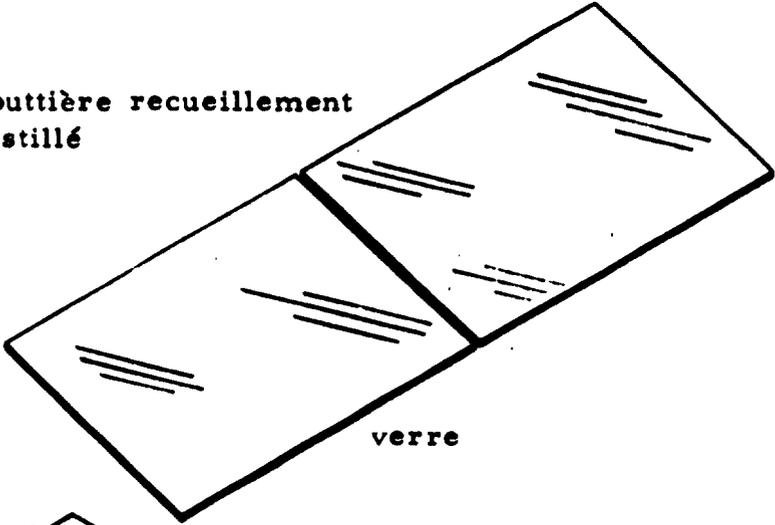


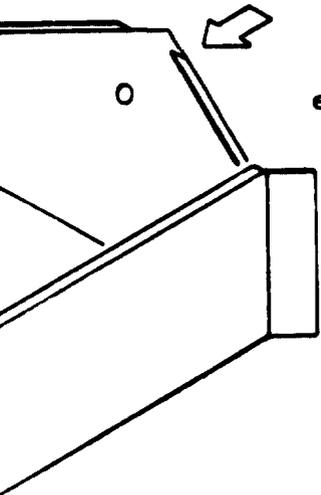
FIG. 2.10 - DISTILLATEUR SOLAIRE

**gouttière recueillement
distillé**



verre

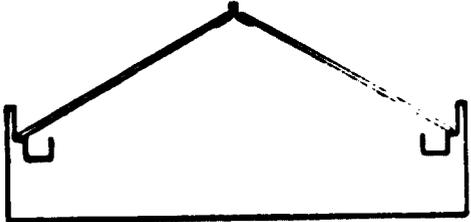
entrée eau saumâtre



structure

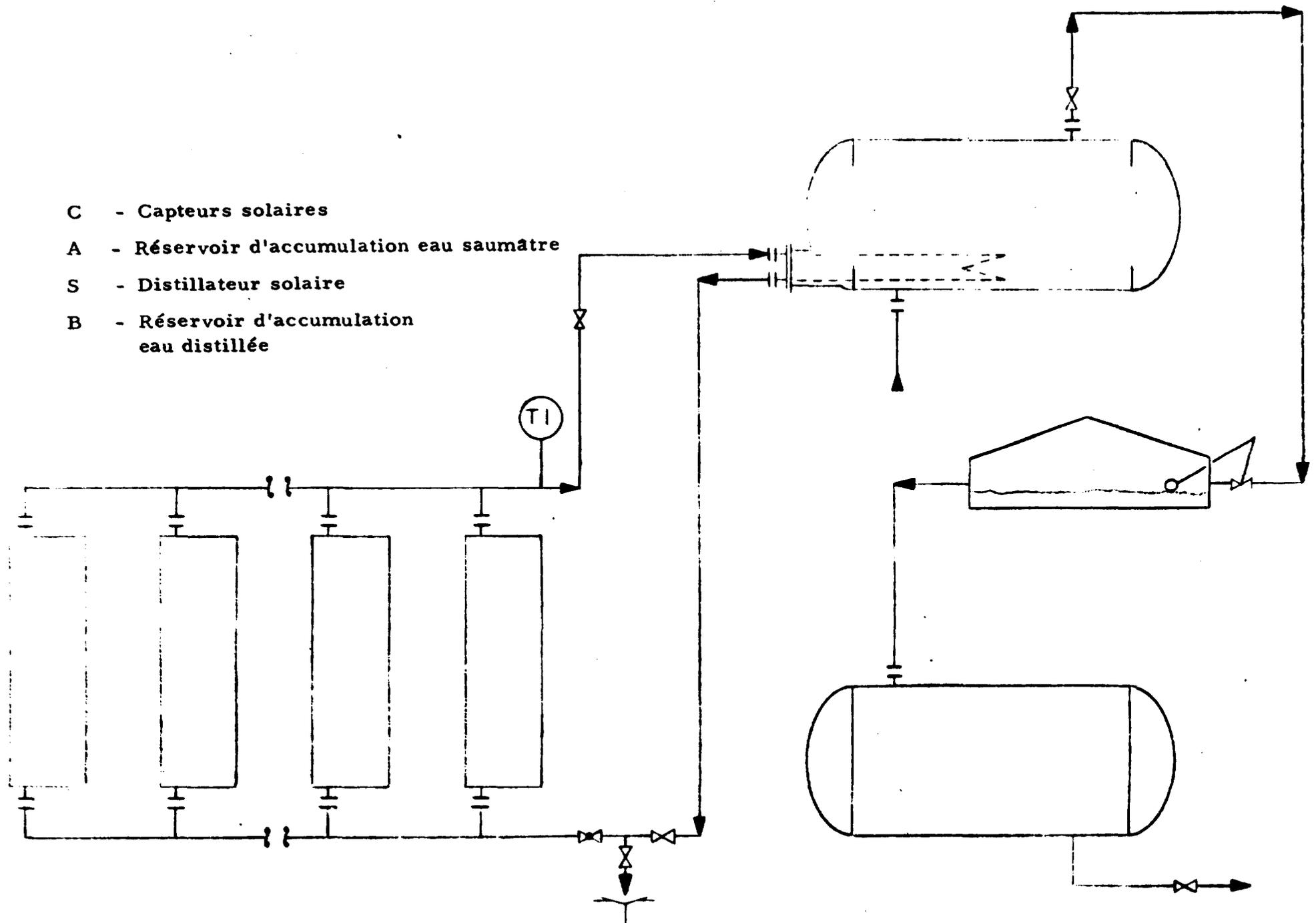
**gouttière recueillement
eau de pluie**

**gouttière
recueillement
distillé**



section





- C - Capteurs solaires
- A - Réservoir d'accumulation eau saumâtre
- S - Distillateur solaire
- B - Réservoir d'accumulation eau distillée

FIG. 2. 11-DISTILLATEUR SOLAIRE AVEC PRE-CHAUFFAGE DE L'EAU A L'ENTREE

2.1.3 Cuisinières et fours solaires

Les cuisinières et les fours solaires doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- a) cuire les aliments de manière efficace, autrement dit être en mesure de fournir de la chaleur en quantité et à la température qu'exigent les aliments à cuire;
- b) être en mesure de s'adapter aux coutumes et habitudes culinaires locales;
- c) être susceptibles d'être construits avec des matériaux que l'on trouve sur place.

Les cuisinières et fours solaires se divisent en deux groupes :

- A) ceux qui ne permettent de cuisiner qu'au moment où il y a ensoleillement;
- B) ceux qui permettent de cuisiner sans interruption, indépendamment de l'ensoleillement, grâce à la présence d'un système d'accumulation de chaleur.

Du fait qu'il ne dépend pas de l'ensoleillement, le deuxième type peut plus facilement s'adapter aux différentes situations.

- A) Les cuisinières et les fours solaires de ce type sont les plus simples à réaliser. Trois différents modèles sont représentés aux Figures 2.12, 2.13 et 2.14. Le premier (Fig. 2.12) est une cuisinière constituée

par un paraboloïde réfléchissant qui réchauffe une casserole mise sur son feu. Une structure en forme de "U" sert de piédestal au miroir et à la plaque de cuisson. Deux axes de rotation permettent au miroir de suivre le soleil dans son mouvement apparent et de concentrer constamment la radiation sur la casse role.

Les matériaux susceptibles d'être utilisés pour la fabrication sont :

élément réfléchissant : acier inoxydable poli, verre argenté ou plastiques alluminisé

structure : acier ou bois

plaque de cuisson : acier

Pour en faciliter le transport, il est bon que le miroir soit formé par une mosaïque d'éléments réfléchissants. Il est très important, dans le choix du matériel de ces éléments, de prendre en considération leurs caractéristiques mécaniques.

Dans le cas où le type de cuisson exige un four, on peut, tout en gardant la même structure en "U", remplacer le paraboloïde réfléchissant par un miroir cylindrique parabolique qui concentre les rayons solaires sur un feu linéaire autour duquel est fabriqué le four (Fig. 2. 13).

Un autre modèle de four (Fig. 2. 14) est constitué par un élément réfléchissant réalisé avec des surfaces planes qui concentrent les rayons du soleil à l'intérieur

du four proprement dit.

L'isolation des fours doit être réalisée avec des matériaux résistants aux grandes températures (200°C). Si on le réalise avec une forte structure, le four peut avoir une bonne capacité d'accumulation de chaleur.

B) Dans le cas où on veut également cuisiner pendant les périodes où il n'y a pas d'ensoleillement (le matin tôt ou le soir) il faut ajouter un système d'accumulation de chaleur au four.

Selon la température voulue, la chaleur est fournie soit par un capteur plan, soit par un capteur à concentration, qui réchauffent directement le système d'accumulation.

L'accumulateur de chaleur est ensuite directement utilisé comme plaque de cuisson ou mise en communication avec une plaque séparée.

Le système d'accumulation de chaleur peut être à chaleur soit sensible, soit latente; dans les deux cas, ce système doit en tout cas être en mesure d'atteindre des températures d'au moins 200°C. Ceci comporte des problèmes techniques assez importants en ce qui concerne aussi bien la construction du capteur que celle de l'accumulateur.

Il faut ajouter en outre que les cuisinières solaires à accumulation n'ont pas encore été expérimentées autant que celles sans accumulation, et qu'elles ont donc encore besoin d'une certaine expérimentation et d'études avant de pouvoir être éventuellement mises dans le commerce.

merce.

**Nous en déconseillons par conséquent la production
immédiate dans le petit atelier, lequel pourra par
contre fabriquer immédiatement des fours du premier
type.**

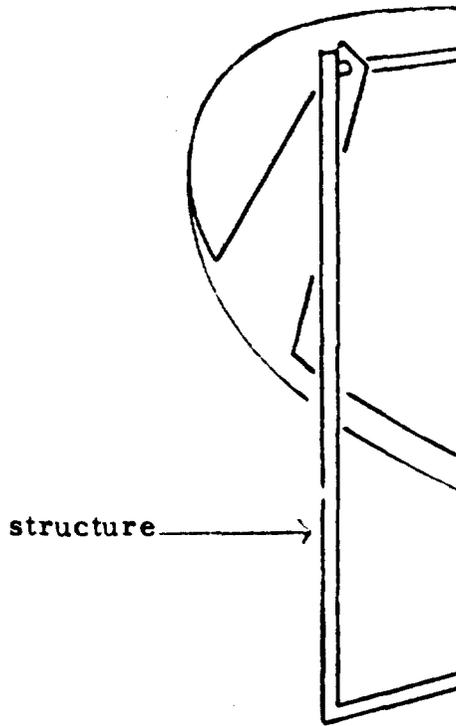
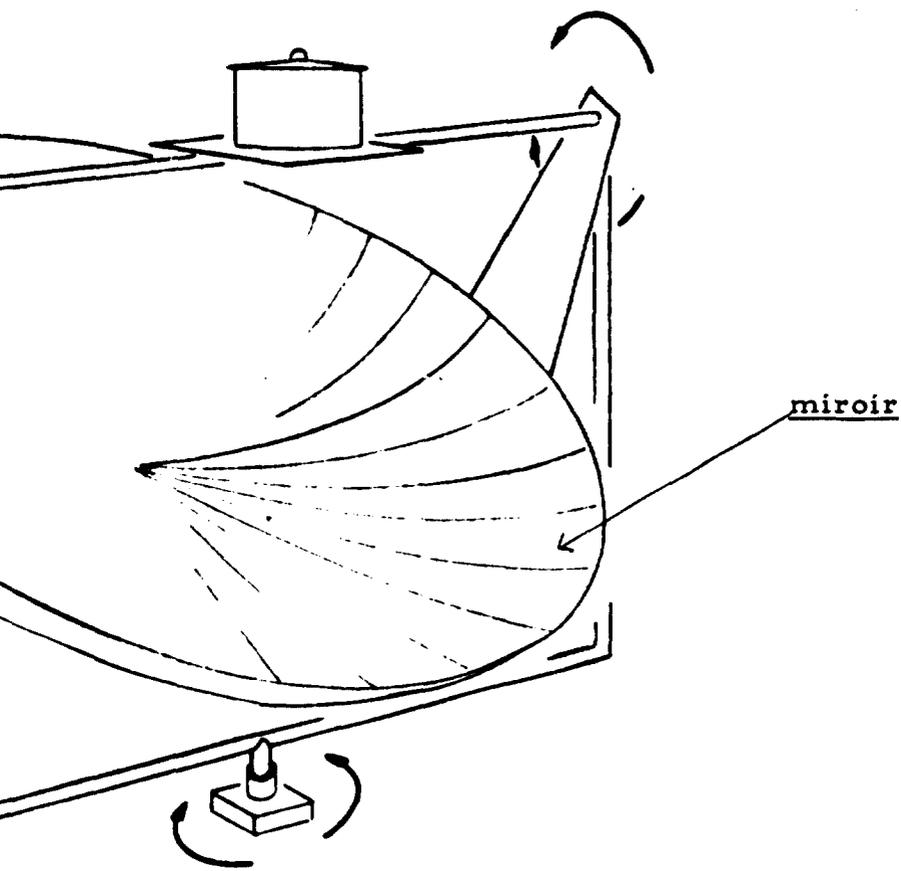


FIG. 2.12 - CUISINIERE PARABOLOIDE -



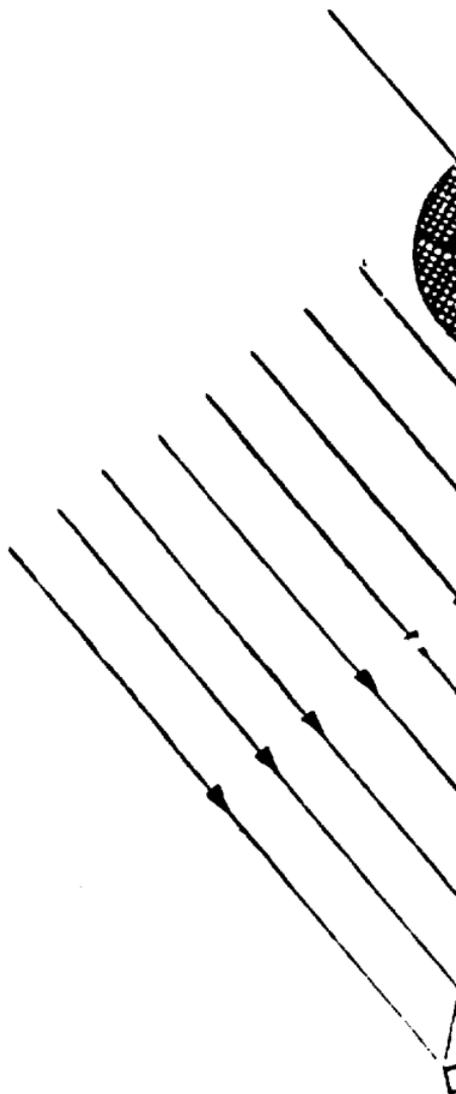
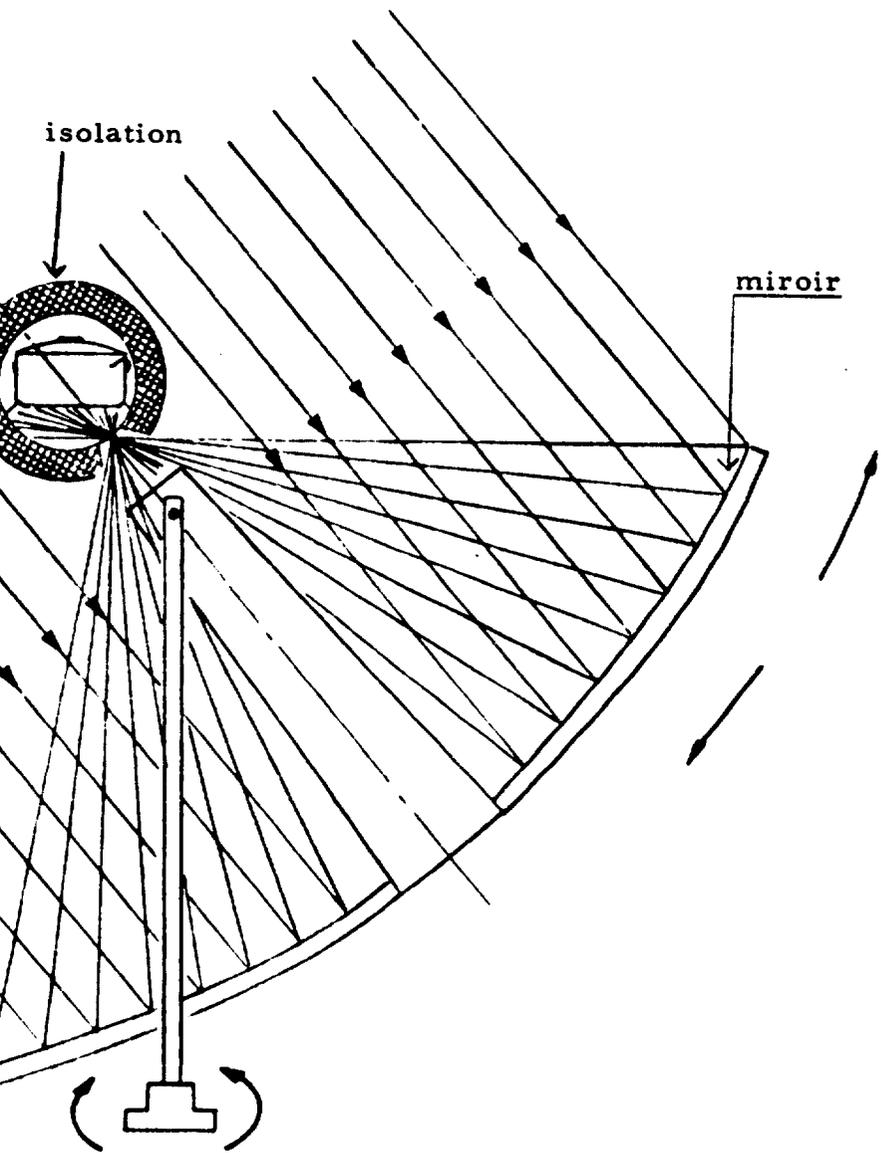


FIG. 2.13 - FOUR PARABOLIQUE -



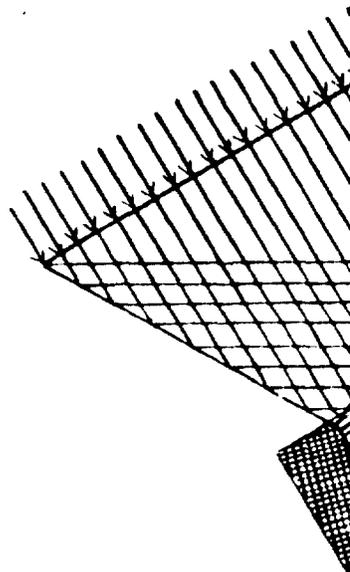
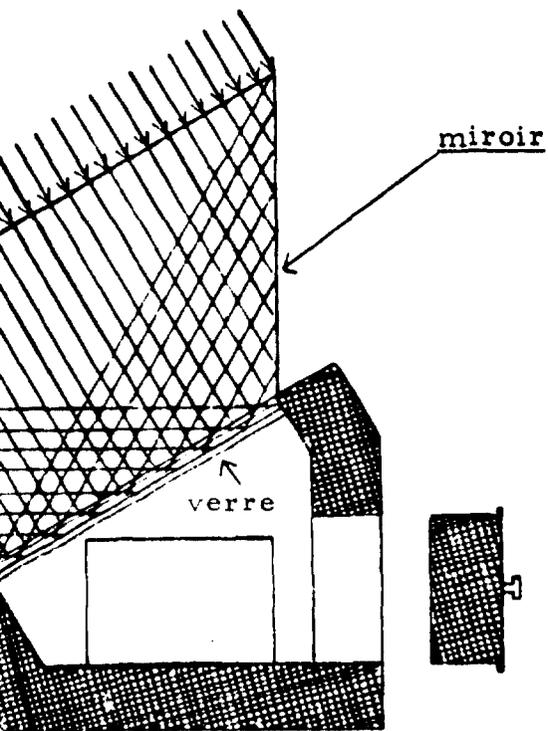


FIG. 2.14 - FOUR SOLAIRE -



TYPE	CUISINIÈRE (Fig. 2.12)	FOUR (Fig. 2.13)	FOUR (Fig. 2.14)
Élément réfléchissant	Parabololde	Parabole cylindrique	Plat
Rectifications de position	Fréquents (10 + 15 minutes)	Fréquents (10 + 15 minutes)	Occasionnels (30 + 60 minutes)
Zone captante	1 m ²	0,75 m ²	0,56 m ²
Temps requis pour le chauffage de 1 litre d'eau de 20 à 100 °C (insolation totale 800 W/m ²)	~15 minutes	~30 minutes	~40 minutes
Capacité de cuisson	4 kgs	4 kgs	2 kgs
Coût approximatif à l'unité	15 + 25 \$	30 + 40 \$	35 + 45 \$

Fig. 2.15 - COMPARAISON ENTRE DIVERSES CUISINIÈRES ET FOURS SOLAIRES

2. 1. 4 Capteurs solaires à air

Nous proposons de réaliser, au cours de la première phase du projet, dans le petit atelier, un capteur très simple dont le fluide thermovecteur est l'air, pour usages agricoles.

Ce capteur chauffe directement l'air qui peut être employé dans les différents procédés de séchage des produits agricoles indiqués ci-après.

Le capteur, qui n'a pas de gros problèmes d'entraîné, peut être réalisé en utilisant différents matériaux; le plan d'absorption et le châssis peuvent être réalisés en tôle galvanisée ou avec de lattes de bois et des feuilles de contre-plaqué.

L'isolation peut être effectuée en polyuréthane, en laine de roche, en paille pressée, en copeaux de bois, etc...

Pour la couverture transparente nous conseillons du verre en raison aussi bien de ses caractéristiques optiques, que de la durée. Au cas où l'on déciderait d'employer, comme matière première, la tôle galvanisée, le capteur à air peut être réalisé conformément à la Fig. 2. 16.

Le châssis peut être réalisé en une seule pièce de tôle avec les bords pliés et soudés ou rivetés, avec une épaisseur de 1 mm et des dimensions 1000 x 2000 mm; afin d'éviter toute ondulation, le fond du châssis peut être renforcé avec des nervures longitudinales.

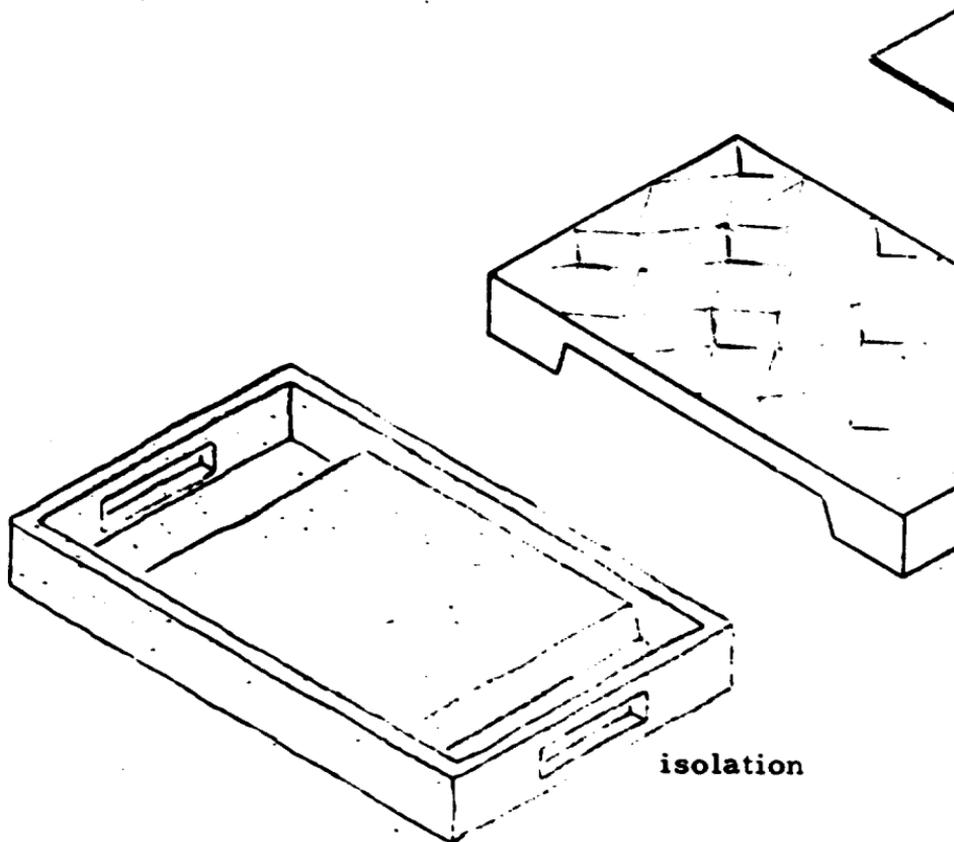
Le cadre pour fixer la vitre est formée à partir du châssis par des pliures, la vitre est scellée au collant au silicone qui assure, outre l'étanchéité, une bonne résistance aux agents atmosphériques.

Le plan absorbant est en tôle galvanisée peinte en noir opaque dans la partie supérieure et pliés en forme de boîte afin de former un conduit pour le passage de l'air en évitant que ce dernier entre en contact direct avec l'isolation.

L'isolation thermique postérieure et latérale peut être réalisée de façons diverses en tout cas l'épaisseur de l'isolation et par conséquent du capteur dépendra du type de matériel employé.

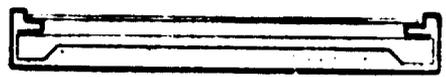
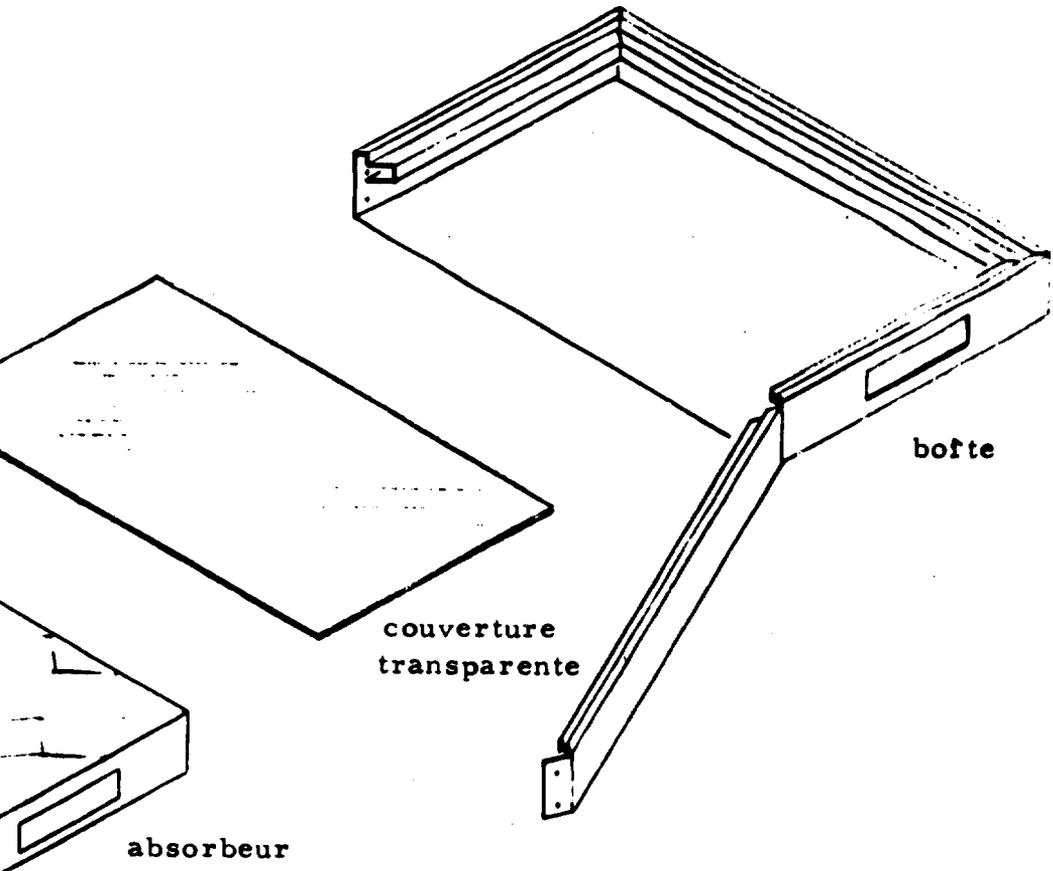
Le rendement du capteur à des températures de fonctionnement de 50°C devrait être supérieur à 30%.

En ce qui concerne les prix, nous donnons une valeur tout à fait indicative, pour les raisons indiquées plusieurs fois, de 40-45 \$/m².



isolation

FIG. 2.16 - CAPTEUR SOLAIRE A AIR -



section longitudinale

2. 1. 5 Séchage des produits agricoles

Le séchage est la méthode la plus ancienne et la plus employés pour conserver, à la température ambiante et pendant de longues périodes, les produits agricoles, sans aucune perte sensible de leurs caractéristiques nutritives et biologiques. Le séchage effectué sur la plante et complété sur le terrain, en exposant le produit directement au soleil, est la méthode la plus employée dans les pays en voie de développement, avec un grand pourcentage de perte des produits due aux mauvaises conditions météorologiques, aux attaques de parasites, insectes ou autres animaux, aux contaminations, etc.

Les inconvénients ci-dessus peuvent être éliminés par le séchage artificiel, réalisé soit au moyen de séchoirs à haute température avec des coûts d'investissement élevés et des consommations de combustible élevées, soit par des séchoirs à basse température comportant des investissements plus modestes et des technologies relativement simples.

Nous nous bornons ici à examiner les séchoirs à basse température utilisant comme source thermique seulement l'énergie solaire et réalisables dans la première ou dans la deuxième phase du projet en fonction des composantes solaires employées.

2. 1. 5. 1 Systèmes à énergie solaire pour le séchage des céréales

Les systèmes à énergie solaire pour le séchage des céréales sont caractérisés par les éléments suivants :

- a) un silo où l'on place les céréales à sécher;
- b) un ventilateur axial ou centrifuge qui force l'air chaud nécessaire au séchage à travers les céréales;
- c) une série de capteurs solaires à air ou à eau nécessaires au chauffage de l'air pour le séchage.

Suivant la fonction donnée au silo et aux composantes solaires, nous pouvons indiquer deux types de séchage :

- 1) séchage adapté aux zones peu humides avec des augmentations de la température de l'air extérieur peu élevées ($\Delta T \approx 10^\circ \text{C}$), où le silo sert aussi de magasin, à savoir que les céréales une fois séchées sont gardées dans le silo;
- 2) séchage adapté aux zones humides, avec de ΔT plus élevés pour l'air extérieur ($\Delta T \approx 30^\circ \text{C}$) où, une fois séché, le produit est stocké ailleurs.

Dans les deux cas le silo peut être réalisé, en fonction des disponibilités locales, conformément au schéma de Fig. 2.17, avec les matériaux suivants :

- charpente profils en acier à T, poutres en bois ou en béton
- parois et toit tôle galvanisée, bois ou maçonnerie
- soubassement
et fondations béton

- plancher foré grille en acier et réseau métallique ou plastique

Le silo doit avoir, à une hauteur de 60 cm environ de la base, un faux-plancher foré où le produit à sécher est placé.

L'air extérieur, chauffé par des capteurs solaires à air ou à eau, est forcé par un ventilateur, à travers le plancher foré, dans les céréales, tandis que l'air humide sort du sommet du silo.

Le séchage avec de ΔT inférieurs à 10° peut être exécuté de deux manières en fonction de la disponibilité des céréales et de leur humidité initiale.

- séchage avec silo complètement plein pour une humidité du produit inférieure à 20% sur base humide, avec une hauteur maximum de remplissage de 5 m et avec un débit d'air relativement faible (de 1 à 5 m³/min. ton.) afin de limiter la puissance du ventilateur;
- séchage par couches successives jusqu'au remplissage complet du silo, pour une humidité initiale supérieure à 20%, avec une hauteur de couche de 30 cm et un débit d'air du même ordre de grandeur que dans le cas précédent.

Dans le cas de silo entièrement plein, l'air extérieur est chauffé à une moyenne de 5°C ; dans le cas de séchage par couches il ne faut pas dépasser 40°C pour l'air, indépendamment de la température ambiante.

L'énergie thermique nécessaire est fournie par une série de capteurs à air, du type proposé précédemment, connectés

directement avec le ventilateur et avec le silo. (Fig. 2.18)

A la place des capteurs on pourrait utiliser un ou **plusieurs** tuyaux en film de polyéthylène beaucoup plus économiques, mais qui ne durent qu'une seule année et ont un rendement sensiblement plus faible que les capteurs à air proposés.

La durée d'un cycle de séchage est très variable en fonction de l'humidité et de la température de l'air extérieur, de l'humidité initiale et finale des céréales à sécher et du type de céréale.

La quantité de produit traitée par cycle dépend des dimensions du système qui sont choisies chaque fois en fonction des exigences de l'utilisateur (l'emploi industriel, séchoir du village, utilisation par plusieurs familles); en tout cas le facteur limitatif des dimensions du système est la puissance du ventilateur.

Le rapport entre le diamètre et la hauteur du silo ne doit pas dépasser 5/3 aussi bien pour obtenir une uniformité du débit d'air à travers les céréales, que pour éviter de fortes pertes de charge.

L'exemple suivant nous semble indicatif pour avoir une idée des dimensions et des coûts d'un système de séchage solaire, avec silo magasin, à basse température.

Pour sécher 60 tonnes de maïs à partir d'une humidité initiale de 20% jusqu'à une humidité finale de 13%, avec l'air extérieur à 22 °C et 80% d'humidité relative et un rayonnement moyen de 300 W/m^2 , il faut avoir un silo de 6 m de diamètre et de 3 m d'hauteur, un ventilateur ayant une puissance de 7.5 kW et une surface des capteurs solaires à air d'environ 70 m^2 . Dans ce cas :

- le processus a une durée d'environ 15 jours;

- le coût des matériaux pour la construction du silo en tôle et profil en acier est d'environ 4,000 \$;
- le coût des capteurs est de 2,800 \$;
- le coût du ventilateur est de 800 \$;

En ce qui concerne les prix il faut noter qu'ils sont indicatifs et qu'ils dépendent beaucoup des matériaux employés et des facteurs locaux.

Le séchage des céréales avec un ΔT supérieur à 30 °C demande un système (Fig. 2.19) plus complexe que celui examiné précédemment; dans ce cas il faut aussi prévoir un accumulateur de chaleur et un échangeur de chaleur eau-air qui doit chauffer l'air extérieur nécessaire pour le séchage, tandis que comme capteurs, en raison des températures requises, il faut employer les capteurs à eau à rendement élevé.

La hauteur de remplissage maximum du silo doit être de 1 + 3 m, la température de l'air comprise entre 50 et 70 °C, le débit d'air de 8 + 15 m³/min. ton.

Ce système présente, par rapport au cas précédent, l'avantage de demander des temps de séchage beaucoup plus courts et permet également de traiter des produits ayant une humidité initiale élevée. Le produit, une fois séché, va en entrepôt.

Ci-après nous donnons, à titre d'indication, un exemple des coûts et des dimensions du système.

Pour sécher dans une journée 5 tonnes environ de maïs de une humidité initiale de 20% jusqu'à une humidité finale de 13%, il faut avoir un silo d'un diamètre de 3 m et d'une hauteur de 2 m, une surface des capteurs à eau à rendement élevé de 130 m² environ,

un accumulateur de 8.000 lt environ et un ventilateur ayant une puissance de 7,5 kW.

Le prix indicatif de ce système est d'environ 20.000 \$.

2.1.5.2 Séchoirs solaires de petites dimensions pour fruits, herbes aromatiques, épices et céréales

Parmi les séchoirs de petites dimensions, à usage domestique, nous en présentons deux types très simples, à circulation naturelle, qui peuvent être produits dans un petit atelier avec un minimum d'équipement ou même seulement quelques outils.

Le premier de ces séchoirs (Fig. 2.20) a été étudié par le Brace Research Institute (Canada). Il a été expérimenté avec succès dans différents pays méditerranéens et il convient au séchage des fruits, herbes, épices, etc....

Le séchoir de Fig. 2.20 est essentiellement un récipient en bois ou en tôle à plan rectangulaire, avec fond isolé avec de la laine de roche, des copeaux de bois ou de la paille pressés et avec une couverture transparente comportant une ou deux vitres.

L'intérieur du récipient est peint en noir opaque. L'air extérieur entre dans les conduits pratiqués sur le fond, traverse les produits à sécher placés sur un treillis métallique et sort des orifices placés sur le sommet des parois latérales. La pente de la couverture varie en fonction de la latitude du pays où l'on emploie le séchoir.

La température à l'intérieur du récipient peut être réglée en variant le débit d'air qui entre de l'extérieur par des orifices latéraux.

Le prix de ce séchoir est compris entre 30 et 40 \$.

Le deuxième séchoir ressemble au premier (Fig. 2.21); il a en plus deux capteurs à air, du type proposé, à la base, et une capacité plus grande : ça permet d'obtenir des températures plus élevées, pour l'air séchant.

Le récipient peut être réalisé en bois ou en tôle, la paroi supérieure et celle exposée au Sud du récipient sont en verre ou en plastique transparent.

Les produits à sécher sont placés sur des treillis métalliques qui forment quatre étages à l'intérieur du séchoir.

L'air extérieur, par circulation naturelle, traverse les capteurs, chauffe les produits à sécher et sort du sommet postérieur du séchoir.

Ce dernier séchoir convient aussi bien aux fruits, aux herbes aromatiques et aux épices, qu'à de petites quantités de céréales; il convient à l'échelon domestique.

Le prix de tout le système, toujours indicatif car il est en fonction des matériaux employés et des facteurs locaux (main d'oeuvre, approvisionnement en matériaux, etc..) est compris entre 200 et 250 \$.

2.1.5.3 Systèmes à énergie solaire pour le séchage des fourrages

L'application du séchage artificiel aux cultures fourragères est encore peu diffusée, aussi bien dans les pays à climat tempéré que dans ceux sous-tropicaux ou tropicaux.

En effet, dans la presque totalité des cas, le fourrage est coupé avec une humidité initiale de 70% environ et on le laisse

sécher sur place jusqu'à une humidité de 18-20%, directement exposé à l'air et au soleil. Une fois séché, le fourrage est recueilli et entreposé.

Aux pertes, de l'ordre de 10-15%, qui se vérifient lors de la récolte et qui sont dues à la grande fragilité du foin, il faut ajouter les pertes de caractère nutritif, de 15-20% environ, dues aux phénomènes d'oxydation dérivant d'une exposition prolongée du fourrage à l'air et au soleil pendant le séchage sur place.

Ces pertes de qualité comme de valeur nutritive, peuvent être considérablement réduites par le séchage artificiel du fourrage.

En effet, pour éliminer les pertes lors de la récolte du foin (10-15% dues à la fragilité du produit sec), il suffit d'effectuer la récolte quand le produit est encore humide (40%). Il faut après porter le fourrage à une humidité de 18-20% en utilisant de l'air chaud, pendant le séchage artificiel.

En outre, si la température de l'air de séchage est plus élevée, le temps de séchage sera inférieur et il y aura moins de pertes de la valeur bromotologique dues aux phénomènes d'oxydation.

L'énergie thermique nécessaire au chauffage de l'air de séchage peut être fournie, si les températures ne sont pas trop élevées, par des installations solaires.

En ce qui concerne les systèmes solaires possibles pour le séchage du fourrage, nous pouvons indiquer, comme pour le maïs, des procédés avec un $\Delta T \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ et des procédés avec un

$$\Delta T \approx 40^\circ\text{C}.$$

Dans le premier cas on peut utiliser les capteurs à air proposés connectés directement en série avec un ventilateur et avec un magasin approprié; dans le deuxième cas il faut utiliser des

capteurs à eau à rendement élevé et un accumulateur de chaleur.

Les systèmes sont analogues à ceux utilisés pour le maïs

Dans le cas de séchage à basse température ($T \leq 15 \text{ C}$) le fourrage, une fois coupé, n'est laissé sur place que le temps nécessaire pour que son humidité atteigne des valeurs de 40-50%; il est ensuite recueilli et mis en tas (hauteur du tas 1-1,3 m) dans des entrepôts conventionnels sur la base desquels se trouve (Fig. 2.22) un treillis en bois à travers lequel on envoie l'air chaud dans le fourrage pour le séchage.

Dans le cas de séchage avec un ΔT , pour l'air extérieur, de 40 °C environ, on peut recueillir le fourrage avec une humidité qui peut même dépasser 45%, mais il faut sécher le produit dans un local qui ne peut être utilisé comme entrepôt, et dont les dimensions sont en fonction de la production journalière recueillie.

L'exemple suivant donne une indication des dimensions du système.

Pour sécher en douze heures 100 kgs de fourrage ayant 45% d'humidité initiale à 18% d'humidité finale avec de l'air extérieur à 25 °C et une humidité relative de 70%, il faut, pour le séchage à basse température ($\Delta T \leq 15 \text{ C}$), 10 m² environ de capteurs à air directement connectés avec le ventilateur et avec le magasin. Par contre, avec un ΔT de 40 °C environ il faut avoir 4 m² de capteurs à eau à rendement élevé avec un accumulateur de chaleur de 250 l environ et en supposant que l'on effectuera un cycle de séchage tous les trois jours.

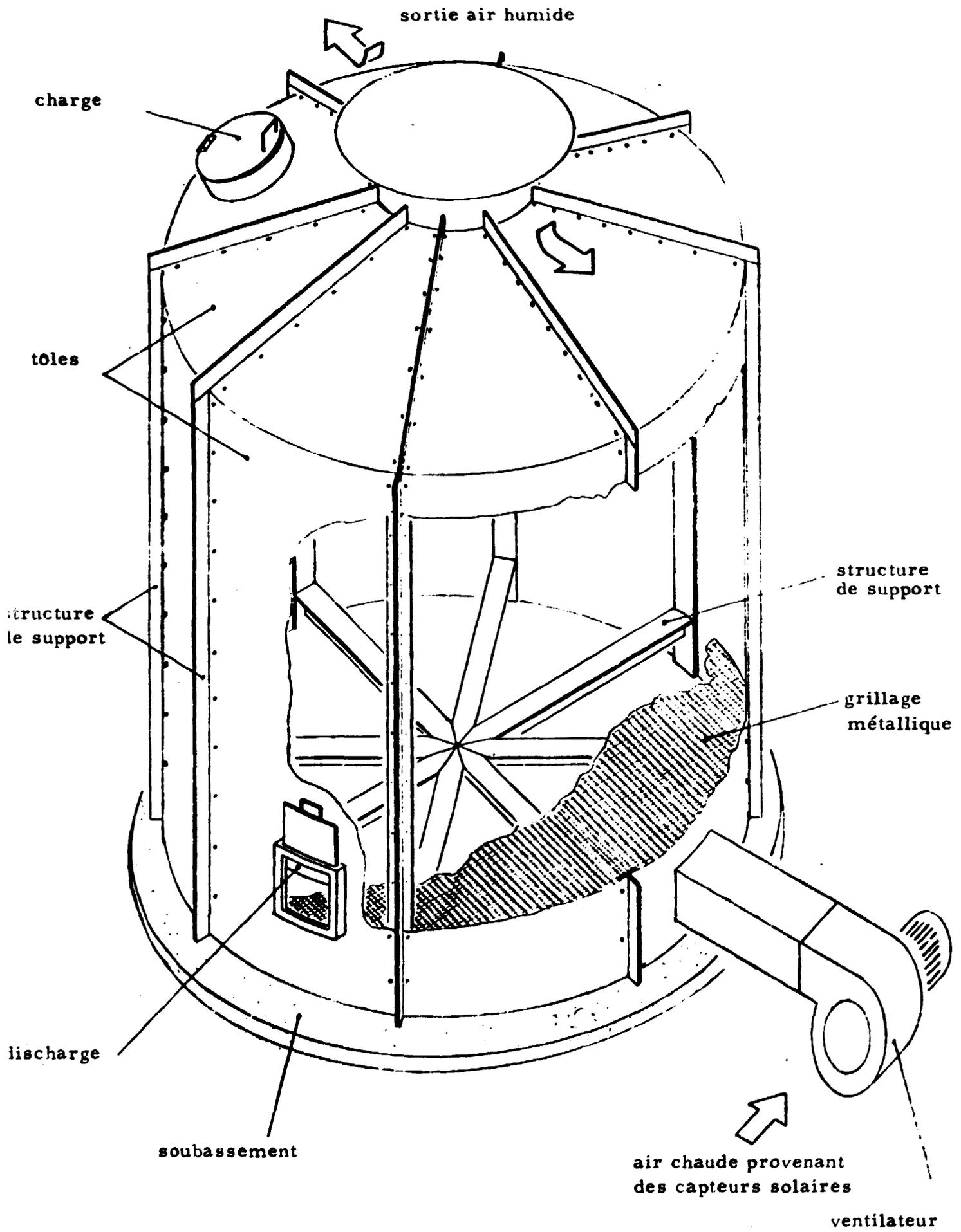


FIG. 2. 17-SILO POUR LE SECHAGE DES CEREALES

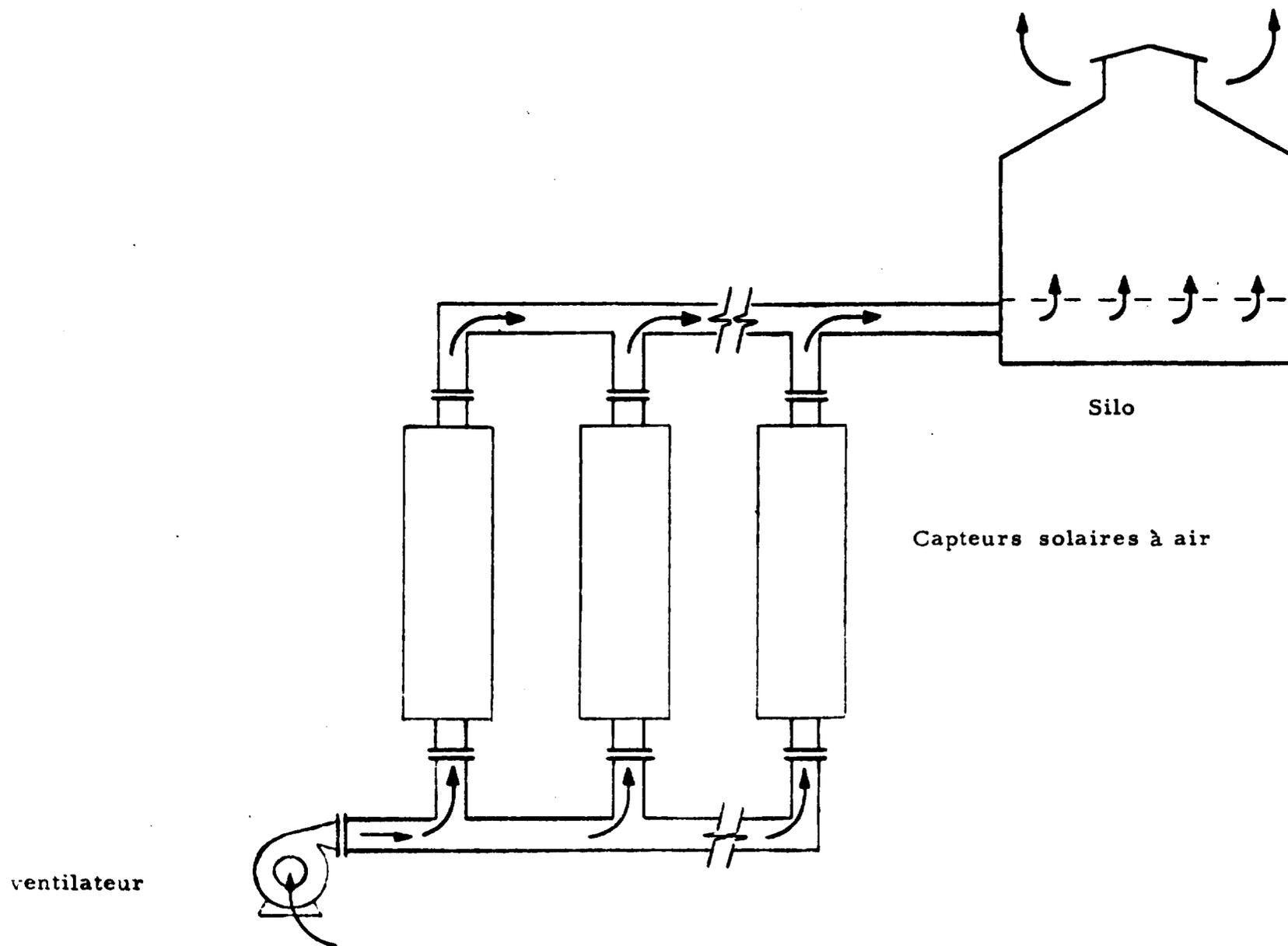


FIG. 2.18 - SYSTEME SOLAIRE POUR LE SECHAGE DES CEREALES AVEC FAIBLES T -

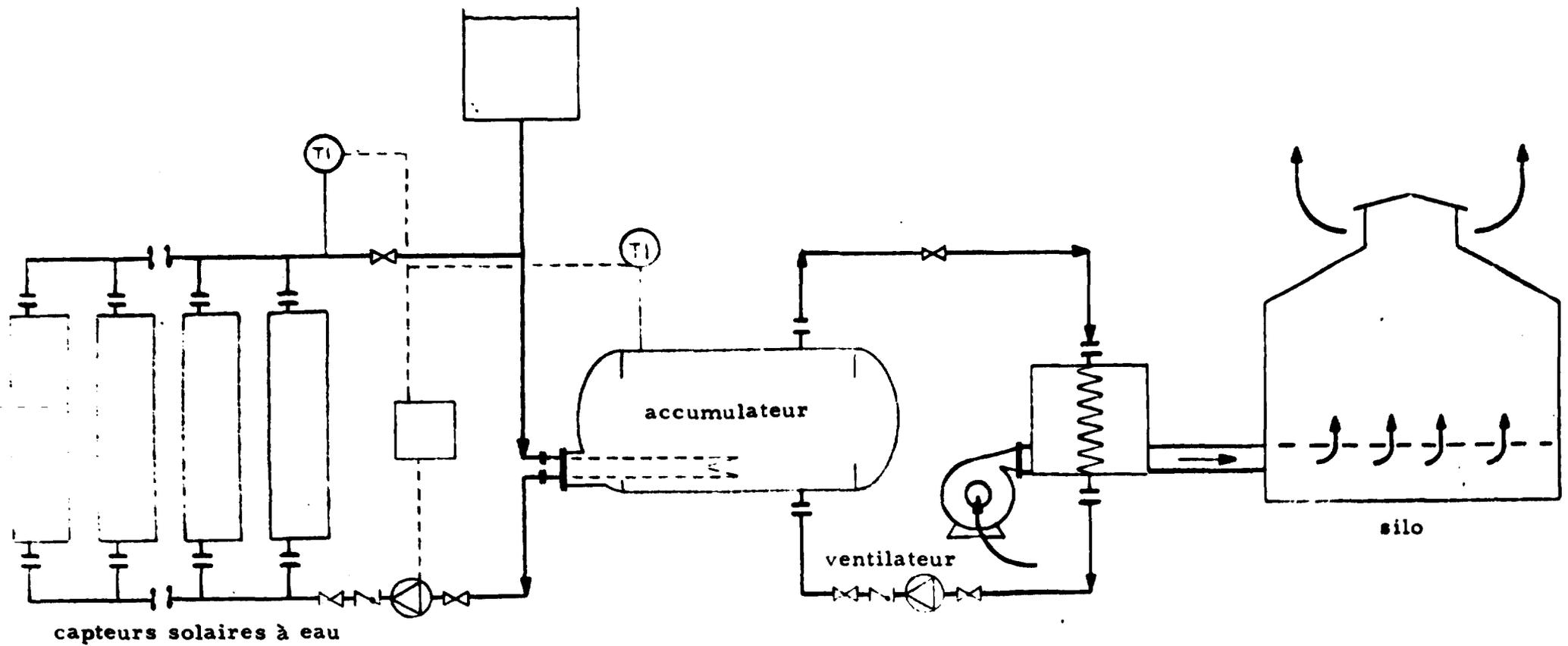


FIG. 2.19 - SYSTEME SOLAIRE POUR LE SECHAGE DES CEREALES AVEC T ELEVES

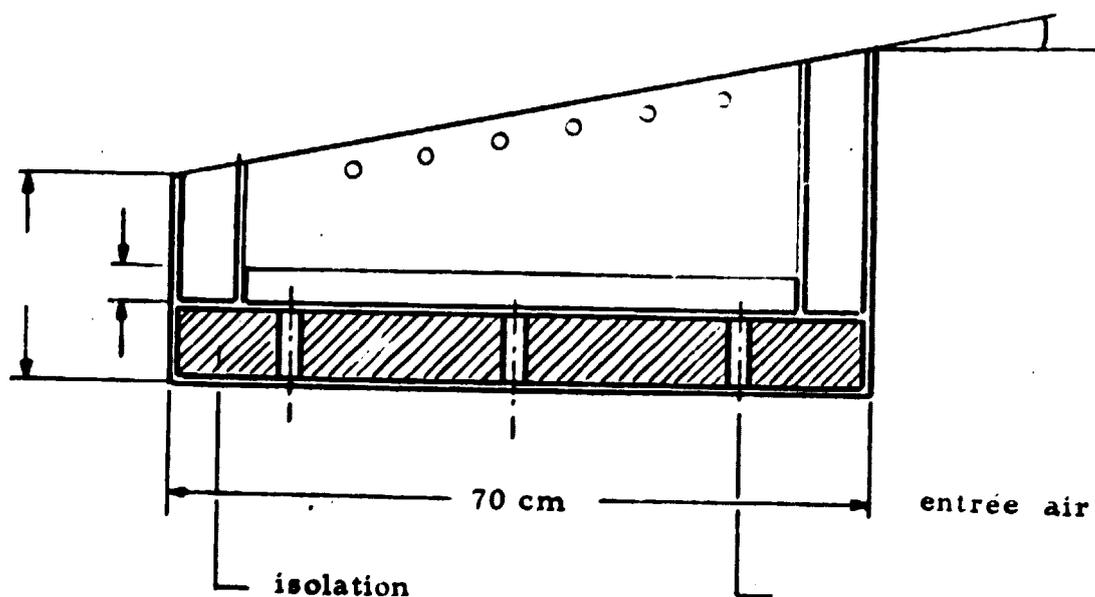
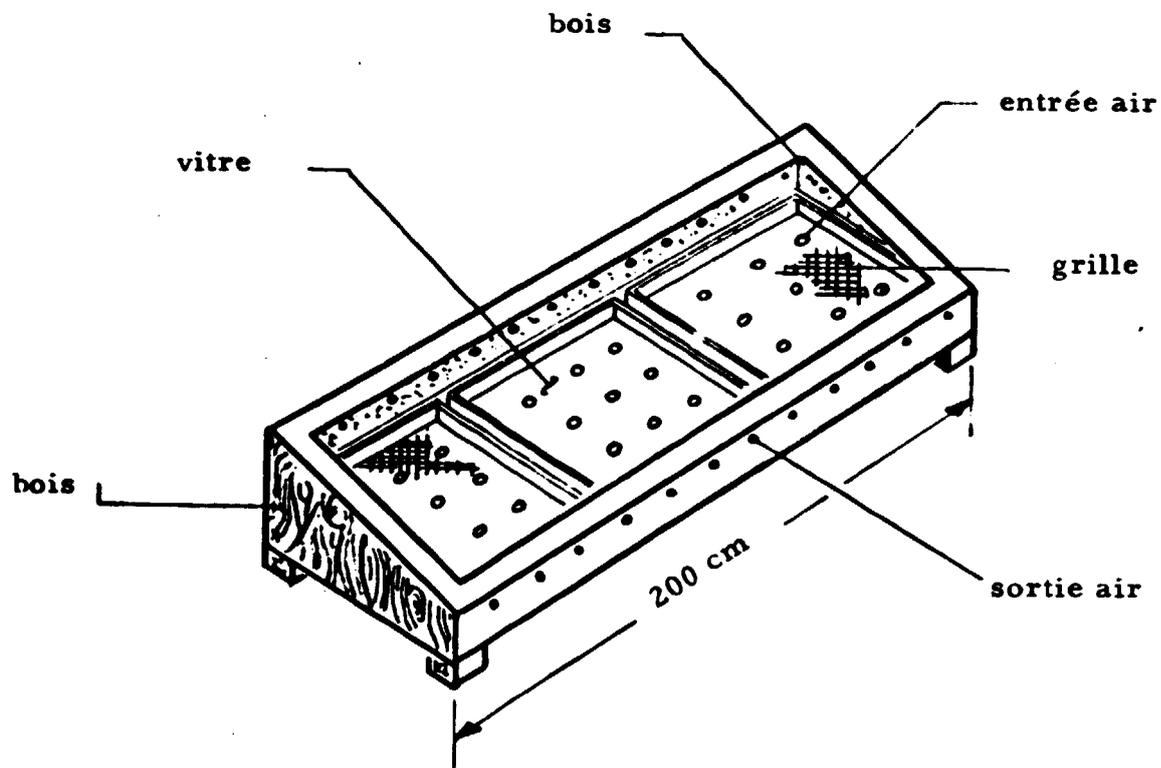


FIG. 2. 20 -SECHOIR SOLAIRE POUR FRUITS, HERBES, EPICES

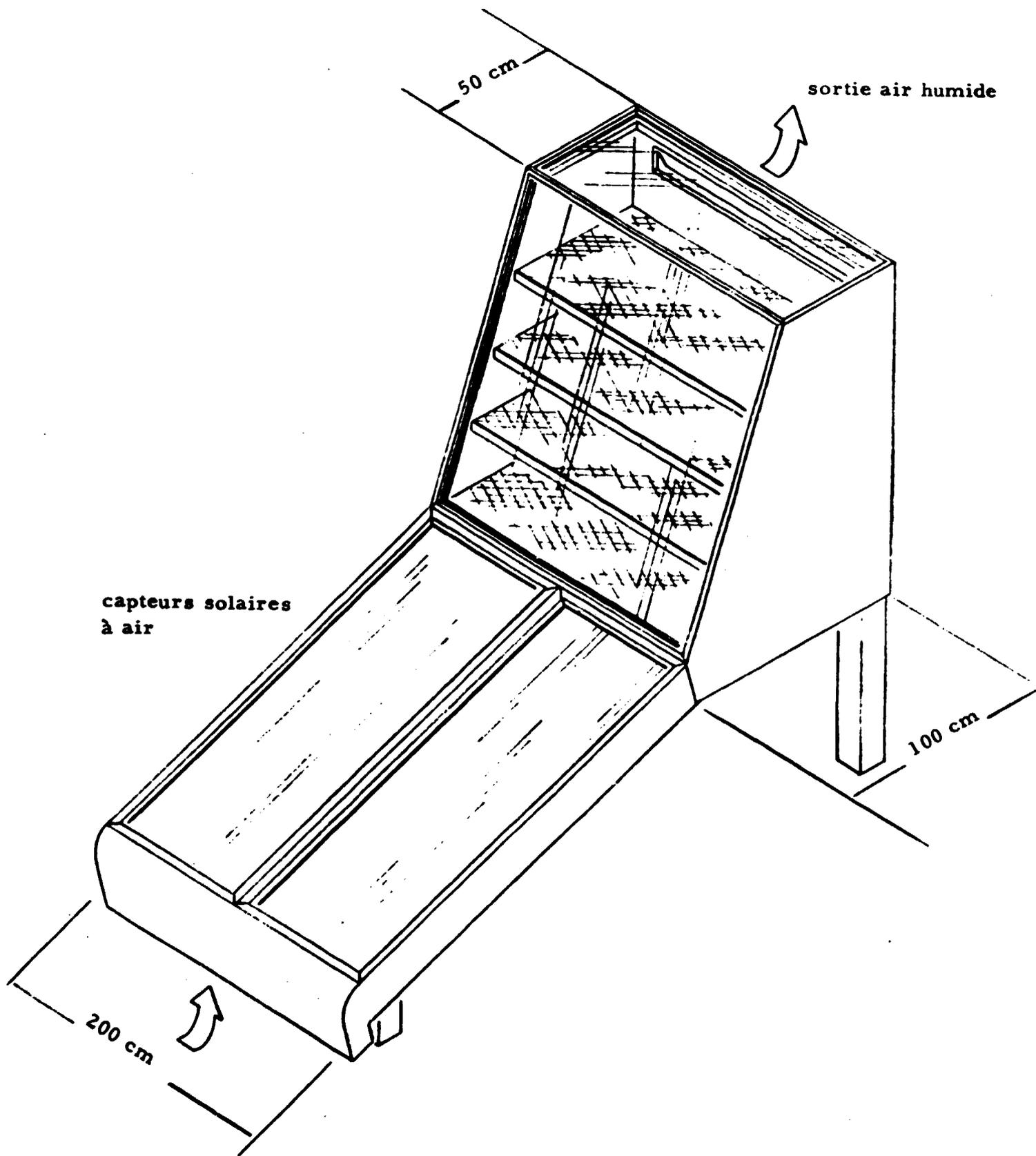


FIG. 2. 21-SECHOIR SOLAIRE POUR FRUITS, HERBES, EPICES ET CEREALES

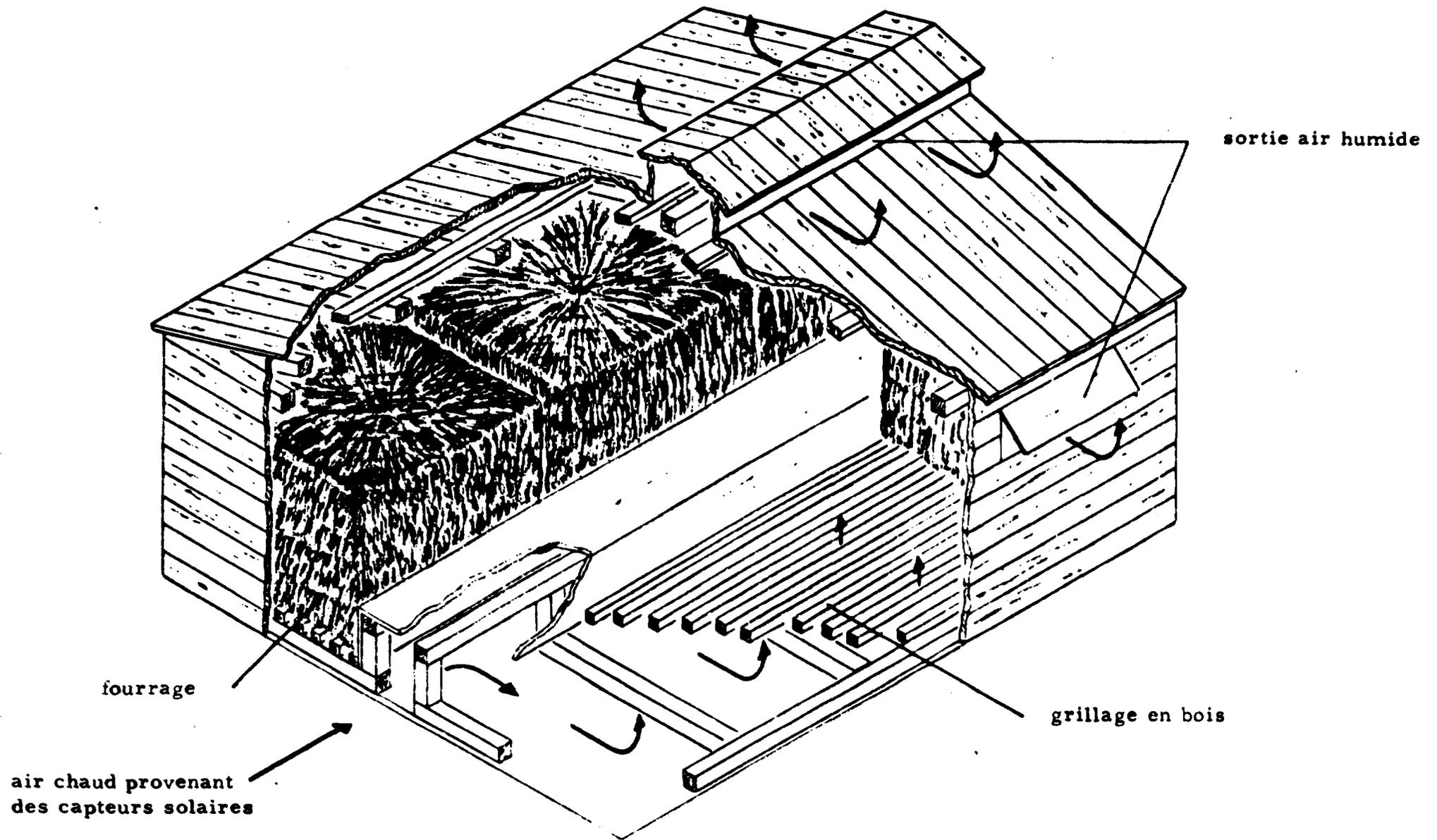


FIG. 2.22 - ENTREPOT APPROPRIE AU SECHAGE DU FOURRAGE

2.2 COMPOSANTES PRODUITES AU COURS DE LA DEUXIEME PHASE

2.2.1 Capteurs à rendement élevé

Pour tous les emplois exigeant de la chaleur au-dessus de $70 \pm 80^{\circ}\text{C}$, les capteurs proposés au paragraphe 2.1.1 ne conviennent pas.

En effet, une fois le type établi, les capteurs réduisent le rendement de conversion de l'énergie solaire en chaleur lorsque la saute thermique entre le capteur et le milieu ambiant augmente et que le rayonnement solaire diminue.

En effet, lorsque la saute thermique entre le capteur et le milieu ambiant augmente, il y a augmentation des pertes par convection, conduction et rayonnement du capteur.

Améliorer les prestations du capteur signifie changer ses caractéristiques. Les capteurs qui peuvent transformer l'énergie solaire en chaleur à forte température, sont les suivantes :

- a) capteurs plans à double vitre
- b) capteurs plans sous vide
- c) capteurs à concentration

A la Fig. 2.2 on peut noter une comparaison entre les courbes de rendement de différents capteurs :

- a) La différence principale entre ce capteur et celui suggéré pour les chauffe-eau solaires consiste dans l'insertion de la deuxième surface transparente

(Fig. 2.23). Cette surface peut être soit une plaque de verre soit une feuille de plastique. La différence entre les deux capteurs se limite donc à la charpente extérieure, qui doit être préparée pour recevoir deux vitres et avoir une plus grande épaisseur d'isolant.

On obtient par conséquent une réduction des pertes thermiques par convection et conduction.

L'emploi de surfaces sélectives pour le plan de capteur est un avantage supplémentaire, mais n'est pas indispensable. (Ceci dépendra notamment de l'endroit où l'on utilisera le capteur).

Un capteur de ce type pourra être construit dans le petit atelier proposé.

D'ailleurs on ne suggère pas la construction de ce type de capteur dans la première phase, vu que tous les appareils à fabriquer dans cette phase peuvent fonctionner avec les capteurs à rendement plus faible. Compte tenu toujours des possibles variations dues aux choix de matériaux, à l'endroit et aux quantités de production, on peut arriver, pour le capteur plan à double vitre, à un prix de \$ 100 + 140 par m².

Les capteurs de ce genre peuvent chauffer l'eau jusqu'à une température de 85-90 °C, ce qui est indispensable pour le fonctionnement de toute une série d'emplois à haute température. Ces capteurs sont à mi-chemin entre les capteurs à concentration et ceux plans employés pour les basses températures. D'autre part ils sont plus faciles à construire par rapport

aux concentrateurs et, n'ayant pas de pièces en mouvement, ils demandent un entretien plus limité.

Dans la pratique ces capteurs, ayant un rendement de fonctionnement acceptable jusqu'à 90 °C environ, peuvent être utilisés pour le pompage de l'eau avec des machines à dilatation, pour la distillation MSF (Multi Stage Flash), convenant à des productions supérieures à 20 m³/j et dans les systèmes de refroidissement - ventilation pour entrepôts.

Les prestations de ces capteurs varient en fonction du système où ils sont insérés et ils peuvent en tout cas atteindre un rendement moyen de 20 à 40%.

b) Les capteurs plans sous vide sont encore plus raffinés que le premier type indiqué.

Dans ce cas, on fait le vide entre la vitre et le plan absorbant afin de réduire les pertes par convection et conduction.

Ces types de capteurs n'ont pas été, à l'heure actuelle, suffisamment expérimentés et ils ont un prix élevé.

Au présent, il n'existe aucune société ayant mis ce type de capteur dans le commerce.

Par conséquent, avant de réaliser les capteurs de ce type, il faut effectuer une recherche approfondie dans les centres d'étude existants ou en cours de développement dans les pays membres de l'OCAM.

c) Dans les capteurs à concentration (Fig. 2.24), la ré-

duction de pertes par convection et conduction est obtenue en réduisant la surface de l'absorbeur. On y parvient en concentrant, au moyen de systèmes optiques tels que miroirs ou lentilles, le rayonnement solaire sur l'absorbeur qui reçoit donc une radiation égale à celle qu'il recevrait s'il avait les mêmes dimensions que la zone du système optique qui concentre le rayonnement solaire, vue du soleil. Les capteurs à concentration réduisent les pertes par convection et conduction, mais ils ont des pertes dues au système de concentration (telles que : pertes par rayonnement réfléchi, par imperfection de l'élément réfléchissant, etc. . . .), que les capteurs plans n'ont pas.

Ces capteurs ont de bons rendements à haute température, mais ils sont plus compliqués que les capteurs plans tant en ce qui concerne la construction que l'entretien. De plus, dans la plupart des cas, ils demandent un système de poursuite du soleil dans son mouvement apparent, que l'on peut difficilement réaliser sans un apport énergétique extérieur.

Pour les premières phases on ne conseille pas la réalisation de capteurs à concentration, mais ils pourront en tout cas être produits après une étude et une expérimentation qui pourront être effectuées dans les différents centres d'étude des pays membres de l'OCAM.

Actuellement le prix des capteurs à concentration produits est sensiblement plus élevé que celui des

capteurs plans à double vitre. D'autre part ils sont irremplaçables quand les températures de fonctionnement dépassent 110 °C.

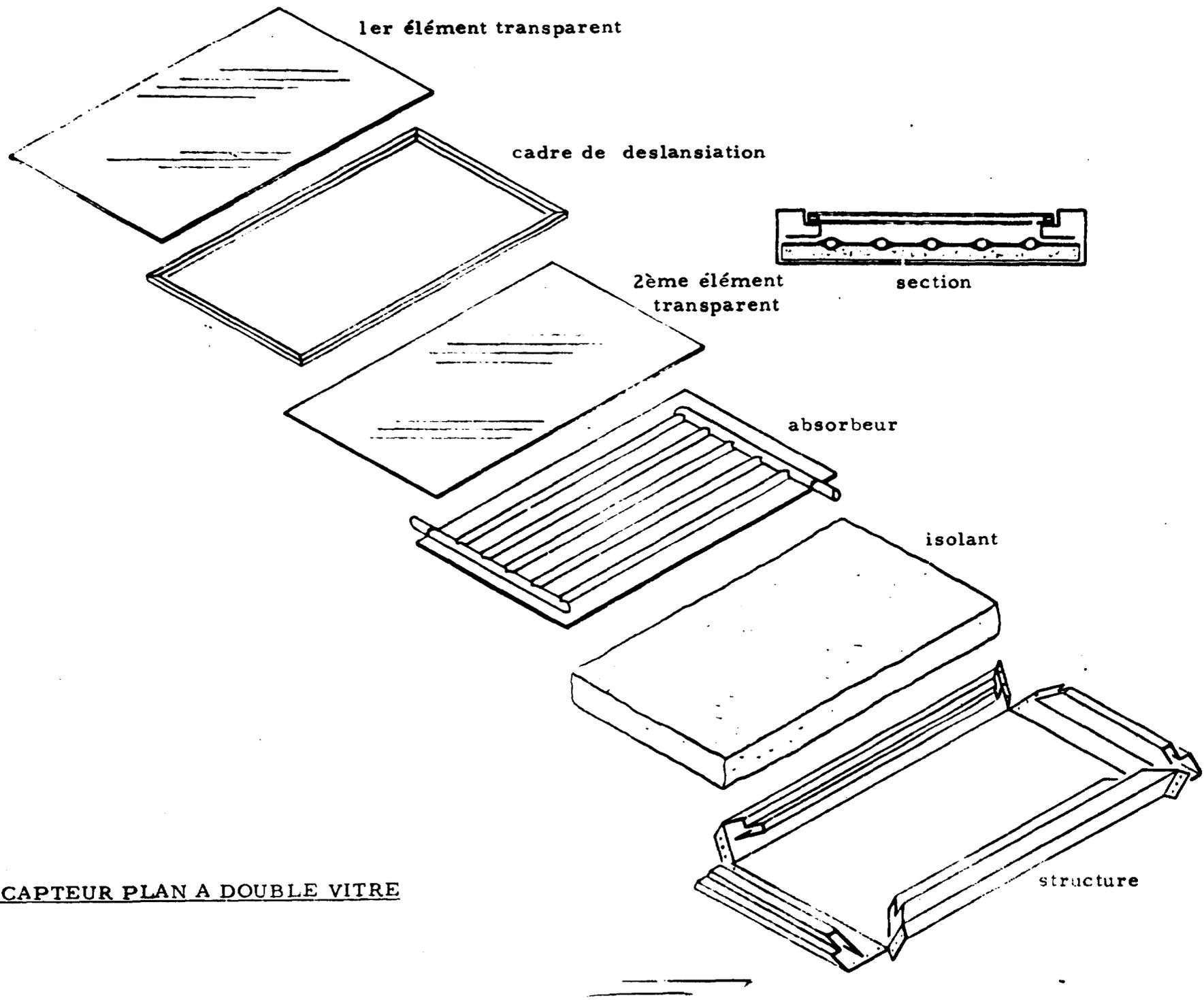


FIG. 2.23 - CAPTEUR PLAN A DOUBLE VITRE

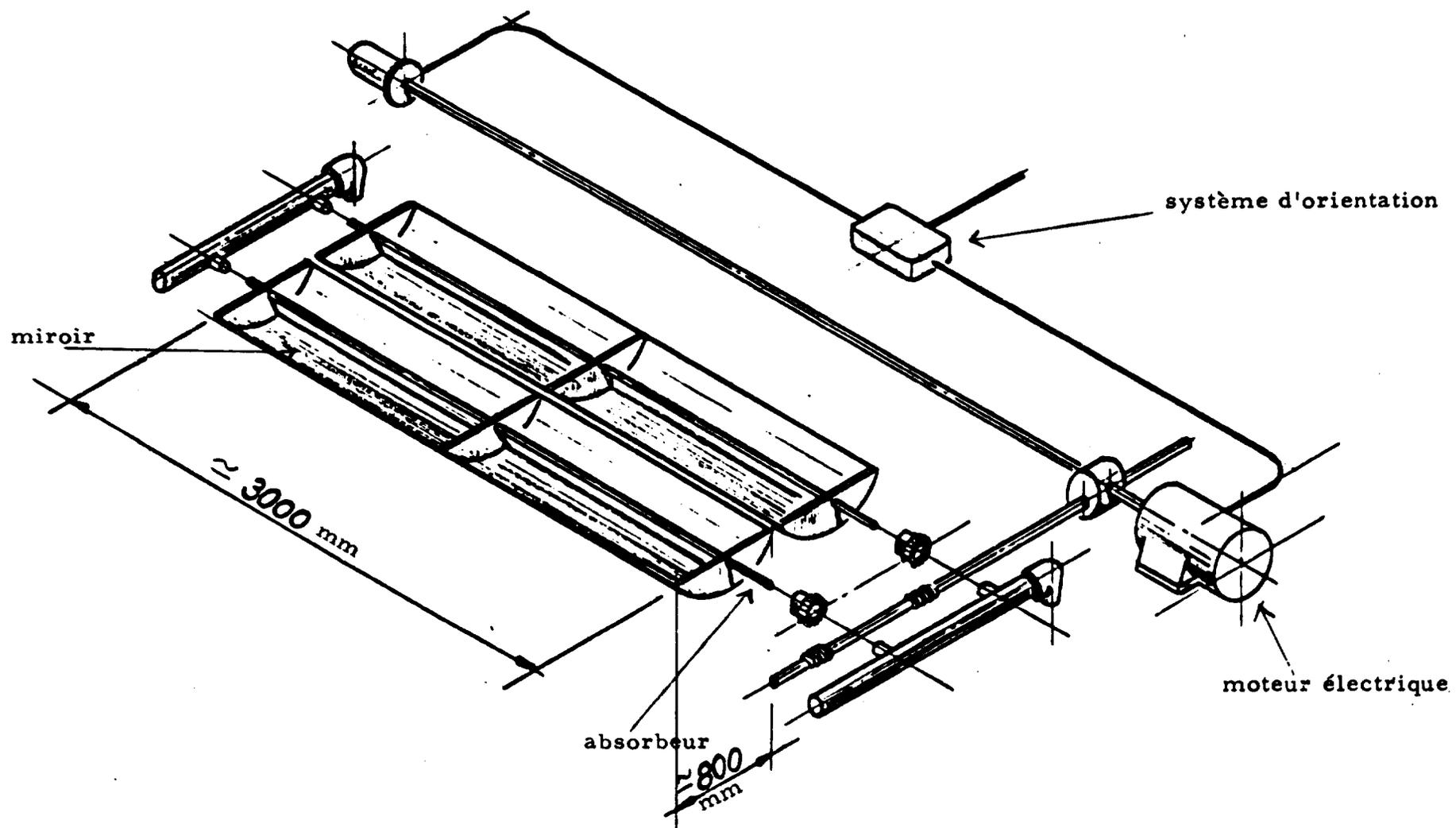


FIG. 2.24 - CAPTEUR A CONCENTRATION PARABOLE CYLINDRIQUE

2.2.2 Pompes à gravité

Le pompage de l'eau fait appel à une technologie de niveau élevé. Il existe différents moyens possibles pour entraîner une pompe solaire, comme, par exemple, les systèmes thermodynamiques ou les cellules photovoltaïques.

Les systèmes thermodynamiques peuvent être commandés de toutes sortes de manière. La pompe de type à gravité nécessite un niveau de technologie inférieur à celui de n'importe quelle autre. Elle possède une fiabilité élevée et n'exige aucun apport énergétique pour commencer à fonctionner.

Le principe de fonctionnement de cette pompe consiste dans le déplacement d'une masse de fluide permettant de provoquer le déséquilibre d'un système et par conséquent le mouvement de la pompe. Aux schémas des Fig. 2.25 et 2.26, nous avons représenté deux types de pompe à gravité différents.

Dans le premier type, pompe à balancier (Fig. 2.25), le système est formé par un balancier dont les extrémités sont munies de deux réservoirs connectés entre eux et remplis d'un liquide bouillant à basses températures, tel que le fréon.

Le réservoir ayant une plus grande quantité de fréon est celui le plus lourd, et il se trouve par conséquent placé dans la partie inférieure.

Le réservoir inférieur est en contact avec la source chaude du système. Le chauffage du réservoir entraîne l'évaporation du fréon qui se condense à l'autre extrémité du balancier, dans le deuxième réservoir, qui est refroidi par l'eau pompée. Le transport du liquide du réservoir placé en bas à celui du haut s'arrête

quand le dernier réservoir devient plus lourd que le premier et entraîne un déséquilibre du balancier. Ce phénomène entraîne l'opération suivante : d'abord le fonctionnement de la pompe qui est reliée au balancier, puis l'entrée en contact avec la source chaude du système du réservoir plus lourd pour recommencer le cycle.

La source chaude pour les pompes à gravité peut être constituée, soit par une série de capteurs solaires soit, étant donnée la faible température de fonctionnement par un étang solaire dont le coût peut être cinq fois moindre que celui d'un capteur.

Dans la Fig. 2. 26 on indique une variation basée sur le même principe. Dans ce système, le transport du fluide s'effectue entre un réservoir et celui placé du côté opposé de la circonférence. La différence de poids existant entre les réservoirs connectés le long de différents diamètres entraîne une rotation de la roue et par conséquent le mouvement d'une pompe. Dans ce cas -là aussi, la source chaude servant au fonctionnement de la pompe peut être à basse température (moins de 50°C) ce qui représente un des avantages de ce type de pompes.

D'autres avantages sont constitués par la simplicité de construction et de fonctionnement; ces pompes ne demandent aucune consommation d'énergie au démarrage, car, dès que la source chaude commence à chauffer, la pompe commence son cycle.

D'ailleurs ces pompes travaillent avec un rendement très faible (moins de 1%).

Ces types de pompes n'ont pas été suffisamment expérimentés; par conséquent, avant de les mettre dans le commerce, il faudra les expérimenter, ce qui pourrait être fait dans les centres de recherche existants où en cours de développement dans les pays membres de l'OCAM.

Le coût indicatif de ce type de pompage, avec une puissance de 1 KW pendant les heures de plus grand ensoleillement (700 W/m^2) est d'environ 1000 \$ pour le moteur, de 1000 \$ pour la pompe et de 12000 \$ pour l'étang solaire ($\approx 600 \text{ m}^2$) et il pourra varier en fonction du type de pompe qui sera expérimenté et choisi, de la quantité produite, des matériaux et du pays de production.

Dans ce cas l'étang solaire est du type mince avec couverture empêchant l'évaporation de l'eau.

A titre d'exemple, avec une puissance de 1 KW on peut pomper environ $15 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau avec une hauteur d'élévation de 25 m c. d. e ou bien $36 \text{ m}^3/\text{h}$ environ avec une hauteur d'élévation de 10 m c. d. e.

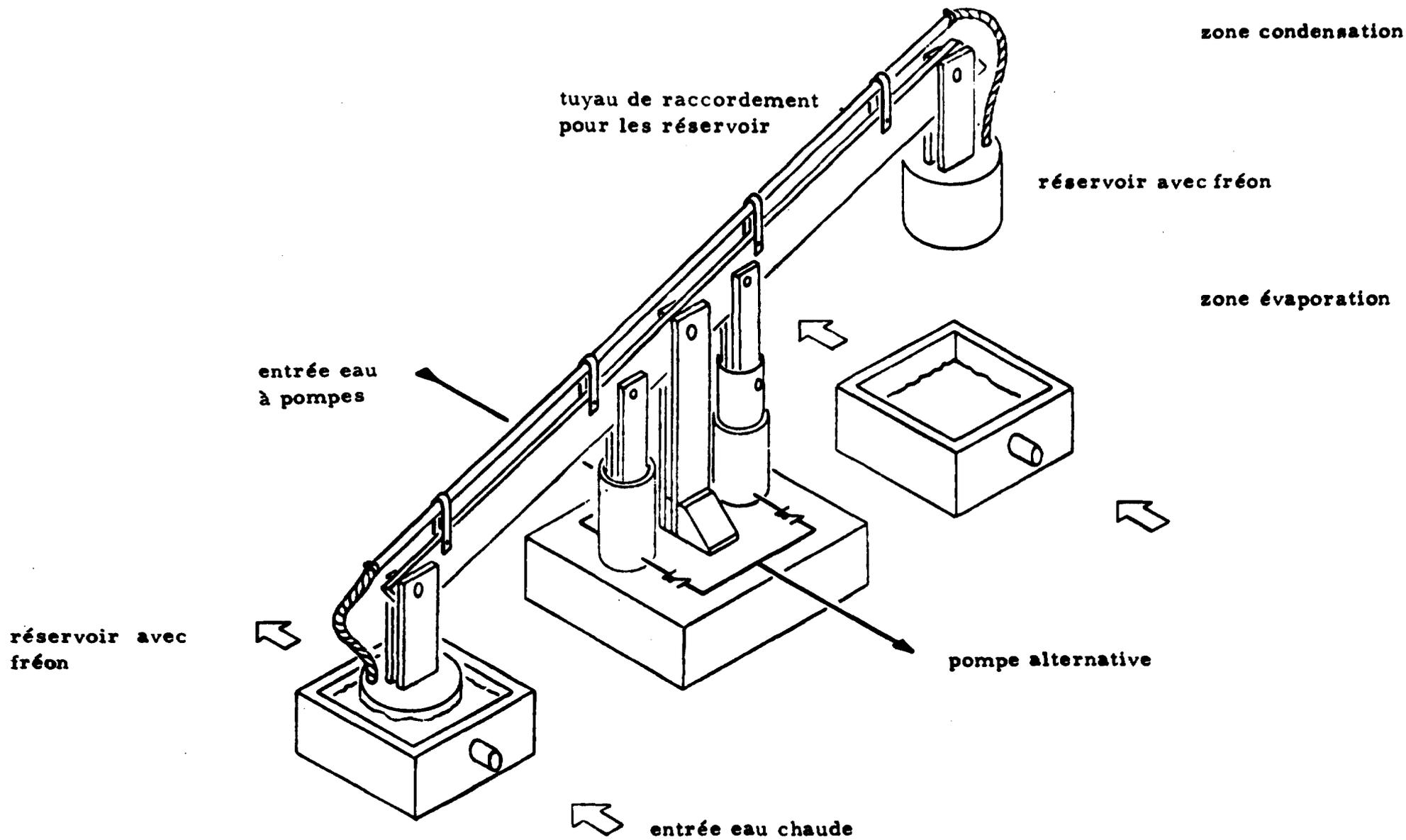


FIG. 2. 25-POMPE A GRAVITE A BALANCIER

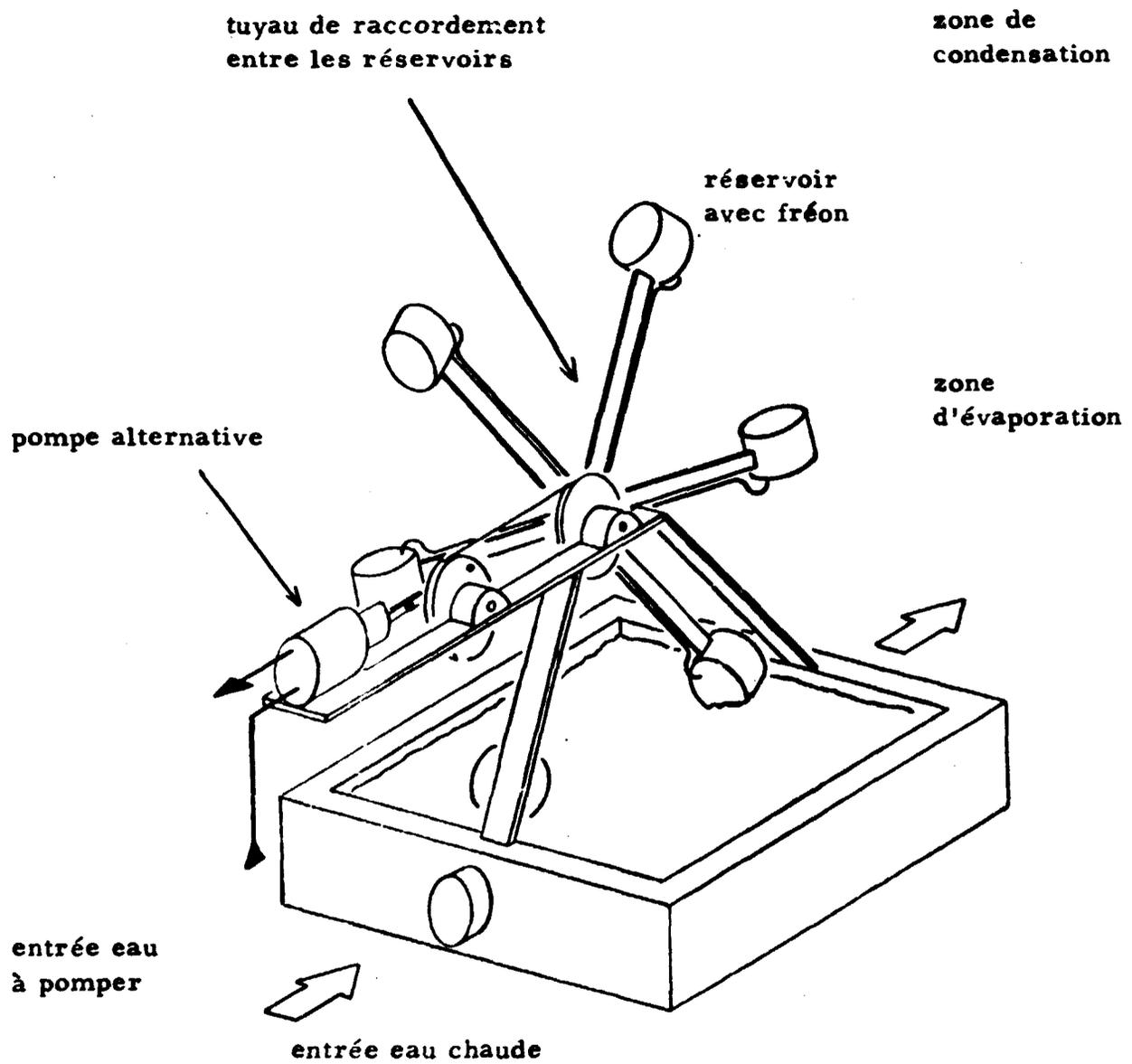


FIG. 2.26 - POMPE A GRAVITE A ROUE -

2.3 COMPOSANTES PRODUITES AU COURS DE LA TROISIEME PHASE

2.3.1 Systèmes de Refroidissement

Le refroidissement a une importance très grande, surtout dans le domaine de la conservation des produits agricoles. On peut réaliser, d'un point de vue technique, (en utilisant l'énergie solaire) soit la ventilation ambiante, soit le refroidissement des entrepôts pour la conservation des produits agricoles.

D'un certain point de vue ces applications s'adaptent bien à l'exploitation de l'énergie solaire étant donné que les charges thermiques sont plus grandes lorsque le rayonnement se trouve à son maximum.

Les mêmes systèmes de refroidissement utilisés avec l'énergie traditionnelle peuvent fonctionner avec l'énergie solaire avec des avantages économiques; ces systèmes sont les suivants :

- A) à absorption
- B) à compression
- C) à rayonnement

A) Systèmes à absorption

L'élément central des systèmes à absorption est formé par une machine en mesure de refroidir un fluide, en soutirant de la chaleur à un autre fluide. La Fig. 2.27 montre le schéma de ce système.

Le principe de fonctionnement des machines à absorption est basé sur le degré d'absorption du fluide réfrigérant dans un autre fluide. Le cycle est le suivant : on fait entrer le fluide réfrigérant pur dans l'évaporateur en prenant de la chaleur à la température T_a du milieu à refroidir; la vapeur obtenue passe dans l'absorbeur où elle est absorbée par le deuxième fluide absorbant.

Le mélange absorbant-réfrigérant passe dans le générateur, où, en soutirant de la chaleur à la source chaude (capteurs solaires), a lieu l'évaporation du fluide réfrigérant qui bout aux températures plus basses des deux : la partie vapeur est condensée en cédant de la chaleur à un fluide à une température plus basse que celle de la source chaude (eau provenant d'une colonne d'évaporation de refroidissement), tandis que la partie de fluide absorbant restée liquide revient dans l'absorbeur. Le condenseur de fluide réfrigérant va à l'évaporateur et le cycle recommence. Les absorbeurs les plus communs sont à bromure de lithium et eau ou à eau et ammoniac.

Les absorbeurs à $\text{Li Br-H}_2\text{O}$ sont plus simples à construire; la température minimum que l'on peut atteindre est de 6°C .

La température nécessaire à la source chaude de la machine est d'environ 90°C .

Pour obtenir une température plus basse il faut utiliser un absorbeur à $\text{H}_2\text{O-NH}_3$. Dans ce cas on peut atteindre une température de plusieurs degrés au-dessous de zéro.

D'autre part la machine est plus compliquée et requiert une température à la source chaude élevée (120°C environ), ce qui entraîne l'emploi de capteurs à concentration.

La technologie de réalisation de ces machines est avancée et ne peut être réalisée dans les ateliers proposés.

De plus, les systèmes à absorption demandent des contrôles assez poussés permettant de garantir un bon fonctionnement.

Le coefficient de rendement de la machine varie de 40 à 60%; pour le capteur à $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ il existe une vaste échelle de potentiels.

Actuellement les fabriques de ces machines frigorifiques ne sont pas nombreuses.

B)

Systèmes à compression

En employant un système de refroidissement à compression, l'installation solaire doit fournir de l'énergie mécanique ou électrique (Fig. 2.28). La machine frigorifique peut être un frigidaire à compression normal, comme ceux utilisés pour usage domestique, dans les hôpitaux, etc. . . .

Ce système augmente tant la possibilité d'obtenir les machines (de très nombreuses fabriques en produisent), que celle de les réparer, étant donné que les frigidaire à compression sont plus diffusés que ceux à absorption.

En ce qui concerne la production d'électricité ou d'énergie mécanique par l'énergie solaire, on a les mêmes problèmes que pour le pompage de l'eau. Le niveau technique est, en tout cas, toujours assez élevé et, à l'heure actuelle, il n'existe pas de moteurs alimentés par des installations solaires convenables, sauf dans les cas où l'on emploie des capteurs photovoltaïques. Les considérations qui seront faites pour le pompage de l'eau (paragraphe 2.3.2) sont valables ici aussi.

Pour comparer les deux systèmes de production du froid, à absorption ou à compression, il faut tenir compte des rendements des deux machines.

Dans les tableaux de Fig. 2.29 et Fig. 2.30 nous avons résumé les coefficients de rendement de deux différents systèmes, à compression et à absorption, avec différents schémas d'installation solaire et deux températures ambiantes pour l'entrepôt.

Pour ces systèmes quand les températures de fonctionnement se trouvent au dessous de 100 °C, les capteurs employés sont du type plan à rendement élevé pouvant être construits dans l'atelier proposé au cours d'une deuxième phase; ils sont du type à concentration si la température de fonctionnement dépasse 100 °C. Pour la première phase il n'a pas été prévu de produire les capteurs dans l'atelier proposé car ils sont très perfectionnés.

D'autres paramètres de choix entre les différents

systemes sont la rentabilité et l'avantage économique. A l'heure actuelle, ni les machines à absorption ni les moteurs susceptibles d'être connecté à des installations solaires ne peuvent encore être mis sur le marché. Un étude de ces équipements pourra être effectué auprès des centre de recherche existants ou en voie de développement, dans les pays membres de l'OCAM si l'on veut arriver à la création d'un produit commercial.

Cette exclusion n'est pas valable pour les capteurs photovoltaïques connectés aux machines frigorifiques à compression qui ont, d'ailleurs, un coût trop élevé. Ce fait leur empêche d'être compétitifs, même par rapport aux autres systèmes solaires et, qui est plus, ils utilisent une technologie très avancée, que seules quelques industries au monde possèdent.

Dans le Tableau de Fig. 2. 31 on peut noter une comparaison entre les différents types de systèmes.

Les prix se rapportent à une installation frigorifique avec un potentiel de référence de 1 tonne (3000 kcal/h) et à une température de 6 C pendant toute la journée, et ne considèrent pas les frais d'installation de la machine. Dans les frais d'installation sont compris les coûts relatifs aux tuyauteries, à l'accumulation thermique, à la mise au point, etc.....

Le potentiel de 1 tonne ne doit pas être considéré comme une limite inférieure, mais seulement une référence pour pouvoir comparer les différents systèmes. Les prix aussi sont à considérer comme indicatifs, mais valables pour une comparaison entre les diffé-

rents systèmes.

Le volume refroidi par une machine de 1 tonne est de 500 m^3 , si le temps de stockage est à longue échéance; dans le cas d'entrepôt utilisés tous les jours, ce volume est de 200 m^3 . Ces valeurs sont valables pour entrepôts bien isolés et dont la construction respecte toutes les mesures possibles pour obtenir une charge frigorifique basse et une température d'environ 6°C . Dans le cas de températures inférieures (-10°C), les volumes passent à 250 m^3 pour le stockage à longue échéance et à 120 m^3 pour le stockage journalier.

Ces valeurs sont indicatifs et dépendent aussi des matériaux contenus dans l'entrepôt.

La construction du magasin ne demande aucune technique particulière et peut être réalisée avec les divers matériaux que l'on peut trouver sur place. Dans la réalisation, comme nous l'avons déjà dit, il faudra suivre tous les principes permettant de réduire au minimum la charge frigorifique.

C)

Systèmes par rayonnement

Les systèmes de refroidissement par rayonnement se basent sur le principe qu'un corps s'il "voit" un corps plus froid, peut perdre de la chaleur, proportionnellement à la différence de la quatrième puissance de la température absolue des deux corps.

Généralement l'atmosphère n'est pas assez transparente pour permettre un'échange de chaleur par rayonnement. D'autre part il existe des "trous" dans le spectre d'absorption de l'atmosphère.

En particulière, pour des longueurs d'onde située entre 8 et 13 μ , l'atmosphère est très claire. Par conséquent, si on utilise une surface qui, à la température l'entrepôt que l'on désire refroidir, émet sélectivement dans cette échelle de longueur d'onde, la température de cette surface diminue. Naturellement le matériel de cette surface doit être soit être réfléchissant dans les autres longueurs d'onde, afin de ne pas recevoir la chaleur du soleil. Les résultats obtenus avec ces matériaux sont assez encourageants.

La puissance rayonnée varie de 25 à 50 W/m^3 en fonction de la différence de température avec le milieu ambiant.

L'influence réfrigérante a lieu soit pendant le jour, soit pendant la nuit et sans aucune partie en mouvement, mais elle est fortement pénalisée par la présence de climats humides.

Le refroidissement radioactif ne peut pas couvrir tout seul les nécessités thermiques d'un entrepôt froid, mais il sert surtout à venir en aide à un autre système de production du froid.

Il est, en tous cas, souhaitable, dans la construction de l'entrepôt de prendre toutes les mesures nécessaires pour réduire au minimum la charge frigorifique.

**La réalisation d'une surface adaptée au refroidissement
radioactif demande une technologie très avancée.
Actuellement une seule société dans le monde va mettre
sur le marché une surface appropriée à cet objectif.**

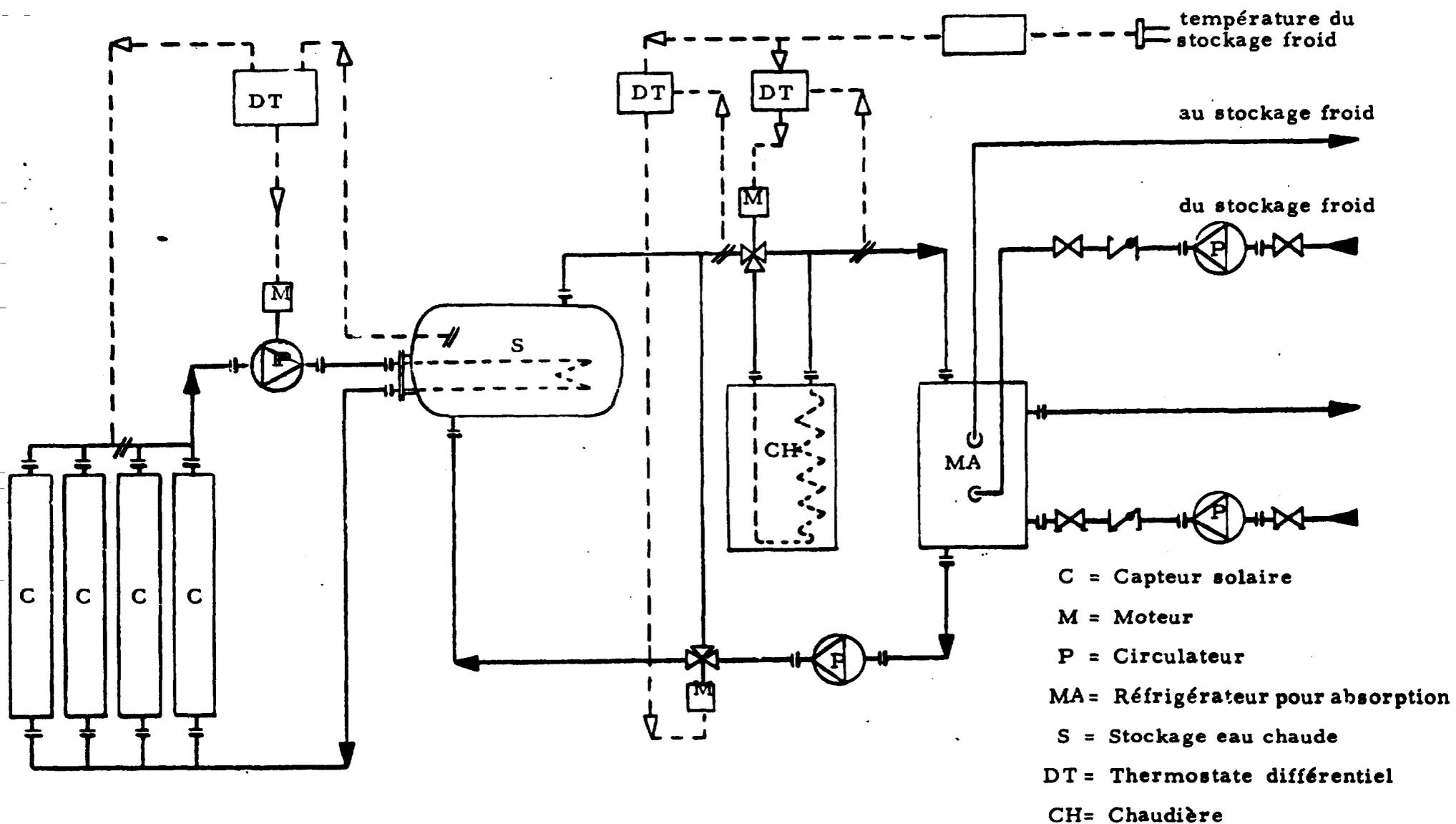


FIG. 2.27 - REFRIGERATION PAR ABSORPTION -

- C = Capteur solaire
E = Evaporateur
T = Turbine
CD = Condensateur
SF = Stockage froid
P = Circulateur

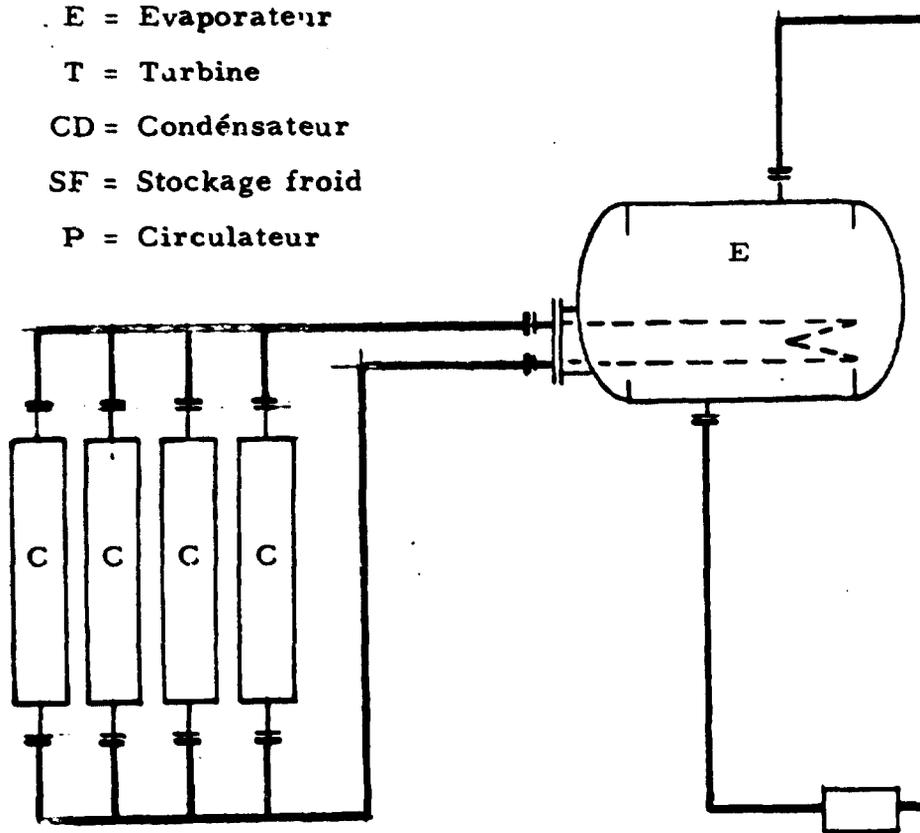
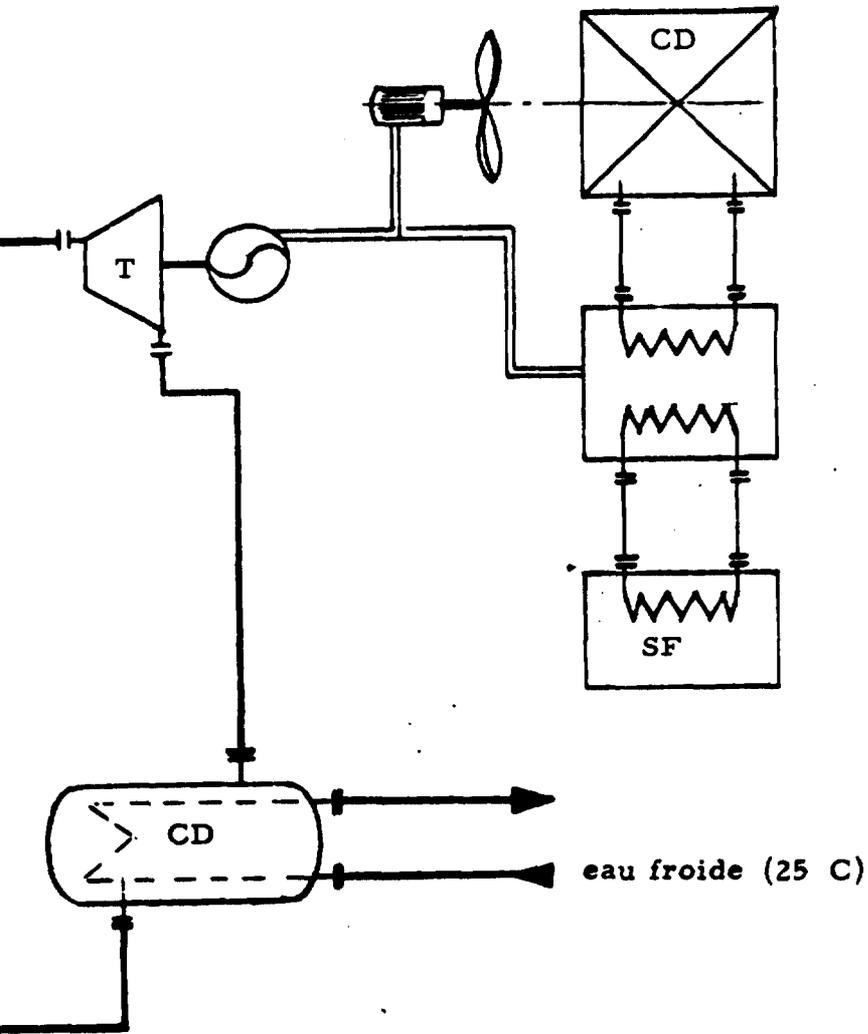


FIG. 2, 28 - REFRIGERATION PAR COMPRESSION



Systeme	Capteur %	Moteur %	Machine frigorifique %	Total %
Capteurs photovoltaïques et compresseurs	10	90	300	0.27
Capteurs plans moteur à turbine (80+40°C) et compresseur	50	7.5	300	0.11
Capteurs à concentration moteur à turbine (110+40°C) et compresseur	50	12	300	0.18
Capteurs plans, machine à absorption (80 + 40°C)	50		65	0.32

TABLEAU 2.29 - RENDEMENT DES DIFFERENTS SYSTEMES (TEMPERATURE DU MAGASIN 6 C)

Systeme	Capteur %	Moteur %	Machine frigorifique %	Total %
Capteurs photovoltaïques et compresseurs	10	90	170	15
Capteurs plans moteur à turbine (80+40°C) et compresseur	50	7.5	170	6.5
Capteurs à concentration moteur à turbine (110+40°C) et compresseur	50	12	170	10
Capteurs à concentration machines à absorption	50		40	20

TABLEAU 2.30 - RENDEMENT DES DIFFERENTS SYSTEMES (TEMPERATURE DU MAGASIN -10 C)

Systeme	Capteur %	Moteur %	Machine frigorifique %	Total %
Capteurs photovoltaïques et compresseurs	78000 (2)	4000	250	82250
Capteurs plans moteur à turbine et compresseur	16500 (3)	30000	250	46750
Capteurs plans machine à absorption	5400 (4)	7000	600	13000

TABLEAU 2.31 - COMPARAISON ECONOMIQUE ENTRE LES DIFFERENTS SYSTEMES -

(1 tonne = 3000 kcal/h) (les prix comprennent les frais d'installation)

1) Les prix sont exprimé en U. S. \$.

2) 20 \$/W de pointe.

3) 135 m² à 120 \$/m²

4) 45 m² à 120 \$/m²

2.3.2 Autres systèmes de pompage

Les pompes alimentées par un moteur à expansion ou celles reliées à des moteurs électriques constituent une amélioration des pompes à gravité exposées au paragraphe 2.2.2.

Dans les deux cas, la source d'énergie primaire peut être le soleil. Cette transformation peut suivre deux sortes de processus :

- transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique (capteurs photovoltaïques) et branchement successif à une pompe actionnée par un moteur électrique;
- transformation d'énergie solaire en énergie mécanique par l'intermédiaire d'un cycle thermodynamique.

A) Pompe à panneaux photovoltaïques

Les pompes actionnées par l'électricité photovoltaïque sont fiables et fonctionnent déjà depuis plusieurs années. Elles deviennent économiquement compétitives avec les pompes à cycle thermodynamique. Leur plus grand avantage réside dans leur simplicité d'opération et dans l'abaissement prévu du coût des photocellules. Toutefois, nous ne pensons pas que ces pompes ni ces panneaux photovoltaïques soient adaptés à la fabrication locale.

La construction des capteurs photovoltaïques implique un niveau de technologie très avancé et les conditions de construc

tion n'existent que dans quelques rares pays hautement industrialisés. En outre ils ne peuvent être assemblés et installés que par des équipes spécialisées.

B) Pompes à cycle thermodynamique

Il est possible d'obtenir la transformation de l'énergie solaire en énergie mécanique en faisant se répandre un fluide approprié dans des moteurs alternatifs ou rotatifs.

Un système de ce genre se compose d'une surface de capteurs solaires, d'un évaporateur, d'un moteur à expansion et d'un condensateur.

Les capteurs transforment l'énergie rayonnante en énergie thermique en la transférant à un fluide conducteur de chaleur (l'eau). Le fluide conducteur cède de la chaleur dans l'évaporateur à un fluide organique approprié qui, une fois évaporé, va se répandre dans le moteur alternatif ou rotatif avec production relative d'énergie mécanique.

Après son expansion le fluide organique se trouve condensé et reporté dans l'évaporateur.

Le moteur peut être relié mécaniquement à une pompe ou, par l'intermédiaire d'un alternateur, à une pompe électrique conventionnelle.

En plus des caractéristiques propres des divers éléments qui le composent, le rendement d'un système de ce genre dépend des températures, maximum et minimum, entre lesquelles se produit l'expansion du fluide organique.

En effet, pour un cycle de Carnot ou d'un de ses dérivés, l'efficacité augmente dans la même mesure que le saut ther

mique subi par le fluide pendant son expansion.

Pour améliorer l'efficacité, il faut donc augmenter la température de service. Il se pose un problème d'optimisation du fait que l'accroissement de la température du cycle thermodynamique peut accroître l'efficacité totale du moteur mais réduit en fait l'efficacité du capteur. En faisant appel aux technologies habituelles, l'idéal serait d'avoir une température de service de l'ordre de 150-120°C impliquant l'utilisation de capteurs à concentration.

Mais on peut aussi utiliser des cycles thermodynamiques à températures plus faibles qui soient compatibles avec des capteur plans. Ceux-ci peuvent être fabriqués localement. Il est recommandé qu'un petit nombre de moteurs et de pompes soient fabriqués localement dans un pays en voie de développement.

La fabrication de ces pompes et moteurs relève d'une technologie assez avancée que l'on ne peut pas envisager de diffuser à ce stade. En effet, elle nécessite un outillage de précision qui n'est pas indispensable dans la plupart des technologies solaires.

Toutefois, l'unité de production pilote révélera la compatibilité des technologies requises avec les compétences existantes.

Pour pouvoir faire une comparaison entre les divers systèmes de pompage dont il a été question plus haut, nous avons reporté au tableau de Fig. 2.32 et au tableau de Fig. 2.33 leurs coûts et efficacités respectifs.

Les données se réfèrent toujours à une puissance de 1 kW et elles ont une valeur de comparaison entre les différents sy-

stèmes et non pas une valeur absolue; ceci, comme nous l'avons déjà dit à plusieurs reprises, parce que les facteurs locaux peuvent influencer les prix auxquels on se réfère et aussi du fait que les coûts d'installation n'ont jamais été compris dans les prix.

Ces frais d'installation sont en tous cas élevés en ce qui concerne les pompes à panneaux photovoltaïques et celles à cycles thermodynamiques, celles-ci exigeant pour leur installation l'intervention de techniciens spécialisés, alors que les frais d'installation en ce qui concerne les pompes à gravité sont de loin inférieurs.

Au tableau de Fig. 2.34 enfin on a résumé les avantages et les inconvénients des différents systèmes présentés.

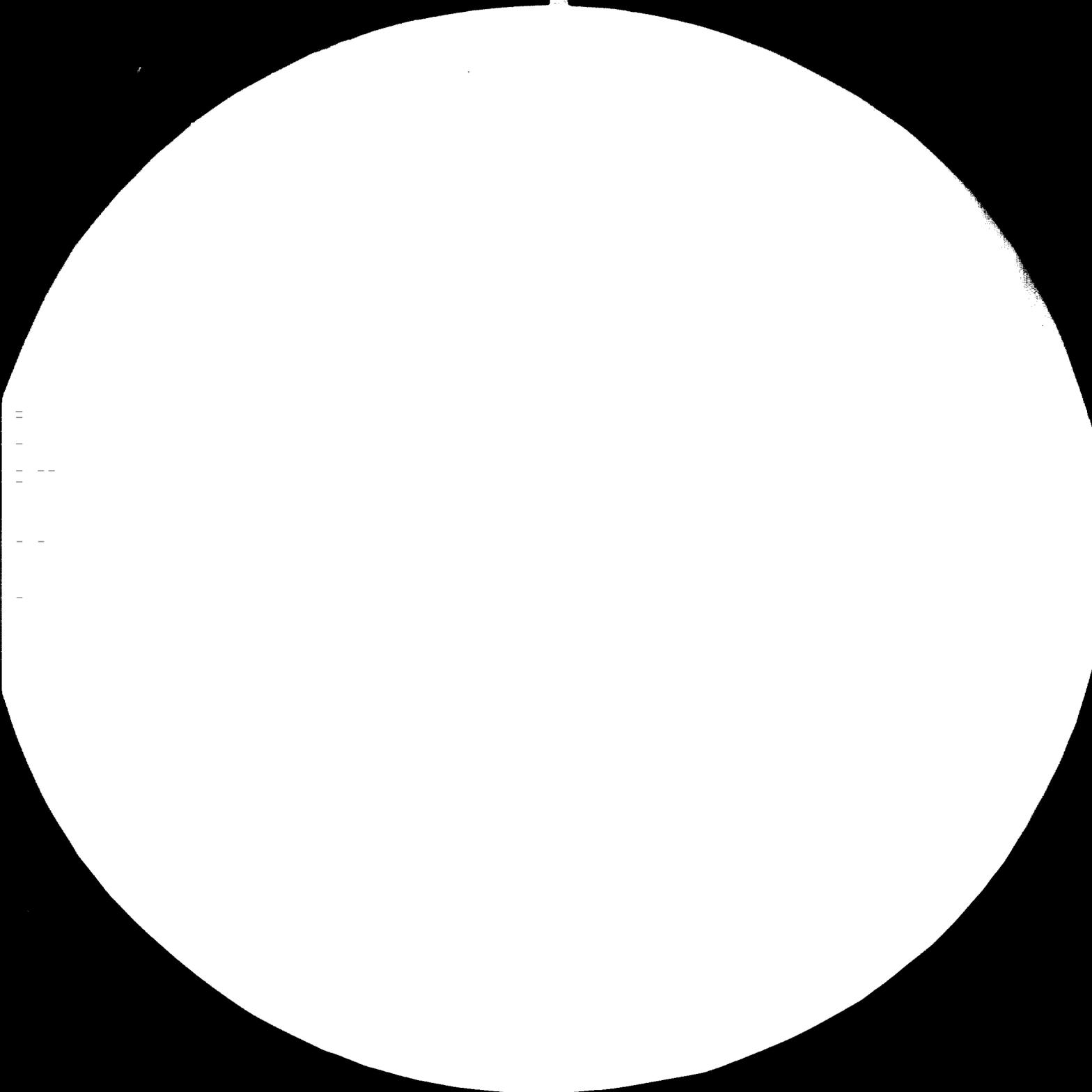
TYPE DE MOTEUR	AVANTAGES	DESAVANTAGES
Electrique alimenté par des photopiles planes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fiable. Aucun pièce des capteurs n'est en mouvement. 2. La pompe peut être traditionnelle avec un haut coefficient d'efficacité. 3. Les photopiles vont devenir bon marché. 4. Il ne faut pas donner de l'énergie au démarrage. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La production des photopiles exige une technologie avancée. 2. Actuellement les photopiles ont un prix très élevé. 3. Tant les photopiles que les moteurs ne peuvent être réparé localement.
Turbine alimenté par la vapeur d'un fluide organique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Possibilité de construire des pièces sur place. 2. Possibilité de produire aussi de la chaleur. 3. Possibilité de démarrage automatique. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La construction doit être très précise. 2. Il n'est pas possible de faire des réparations sur place. 3. Il faut fournir de l'énergie pour le démarrage. 4. S'il n'est pas automatique ces moteurs ne sont pas très fiables.

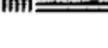
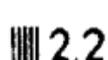
TYPE DE MOTEUR	AVANTAGES	DESAVANTAGES
Mécanique (non-turbine)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ces moteurs sont plus fiables et plus simples que les moteurs à turbine. 2. Possibilité de démarrage automatique. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ces moteurs ont un coefficient d'efficacité assez faible et ont besoin d'entretien. 2. Il faut fournir de l'énergie pour le démarrage s'il n'est pas automatique. 3. La construction doit être précise.
A gravité et autres	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ils peuvent être produits dans les pays e. v. d. d. 2. Ils sont à démarrage automatique. 3. Les éléments pour la construction sont économiques. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Il n'existe pas beaucoup de systèmes de ce type déjà réalisés. 2. Ces moteurs ont une efficacité très faible. 3. Ce type a encore besoin d'être expérimenté.

FIG. 2.34 - COMPARAISON ENTRE DE DIFFERENTS MOTEURS -

Système	Coefficient de rendement			Total %
	Capteur %	Moteur %	Pompe %	
Photopiles et moteur électrique	10	90	50	4.5
Capteurs et turbine (80 + 40 C)	50	7.5	50	1.8
Capteurs et moteurs mé- canique (non turbine) (80 + 40 C)	50	5	50	1.25
Capteurs et moteur à gravité (50 + 30 C)	50	1	50	0.25

FIG. 2.33 - COEFFICIENT D'EFFICACITE' DES DIFFERENTS SYSTEMES -





MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS-1963-A

Système	Prix (1)			Total
	Moteur	Pompe	Capteur	
Capteurs et moteur mécanique (non turbine)	15000	2000	7000 (2)	26000
Photopiles et moteur électrique	1000	2000	20000 (3)	23000
Etang solaire et moteur à gravité	1000	1000	1200 (4)	1400

- (1) Les prix sont en \$; coût d'installation non compris.
- (2) 75 m² de capteurs à 120 \$/m².
- (3) 20 \$/m² ensoleillement maximum.
- (4) 600 m² d'étang solaire à 20 \$/m².

FIG. 2.32 - COMPARAISON ENTRE LES PRIX DES DIFFERENTS SYSTEMES -

CHAPITRE 3
ATELIER DE PRODUCTION

INTRODUCTION

Les produits illustrés dans les chapitres précédents ont été répartis en trois groupes suivant le degré de technologie que leur production et leur utilisation demandent et le niveau d'expérimentation auquel ils ont été soumis, jusqu'à présent, dans différents laboratoires et industries travaillant dans le domaine de l'énergie solaire.

Le petit atelier illustré dans le présent chapitre a été conçu pour la production immédiate de produits faisant partie du premier groupe, c'est à dire ceux techniquement plus simples et plus expérimentés.

Ils servent à la production d'eau chaude, à la dessalaison d'eau de mer et saumâtre, au séchage de produits agricoles et à la cuisson des aliments.

Cet atelier pourra être, au cours d'une deuxième phase, modifié pour comprendre la production de pompes à gravité (qui, comme nous l'avons déjà dit, sont les types de pompes plus simples et qui demandent une expérimentation successive avant de pouvoir être mises en vente) et la production de capteurs à rendement élevé.

Ces derniers pourront être associés à des systèmes de réfrigération et des systèmes de pompage plus compliqués que ceux des pompes à gravité, qui devront être fabriqués dans un atelier plus grand et ayant des techniques plus avancées.

La description générale du grand atelier est donnée après les informations plus détaillées sur le petit atelier.

Dans l'attente de pouvoir réaliser le grand atelier, il existe la possibilité d'importer les systèmes de réfrigération et ceux de pompage, en les associant aux capteurs à rendement élevé qui sont, par contre, produits localement dans le petit atelier.

L'importation des systèmes de réfrigération et pompage permettra de conduire un'expérimentation sur des installations pilotes, avant de fabriquer toutes les composantes des systèmes localement.

3.1 PETIT ATELIER

3.1.1 Production prévue

Etant donnée la technologie simple qu'exige la production et le type de produits, destinés pour la plupart à des unités familiales ou à de petites communautés et villages, les chauffe-eau, les distillateurs, les fours et les séchoirs pourront être réalisés dans des ateliers de petites dimensions ayant des niveaux de production relativement bas. Une fois réalisé un premier atelier pilote et après avoir conduit une expérimentation, l'atelier pourra être répété dans différentes régions d'un même pays pour répondre surtout aux exigences de marché de ces régions.

Il est évident que la production sera modifiée d'une région à l'autre, selon les conditions et les besoins du lieu.

La production journalière de l'atelier pourra être la suivante :

- 22 - 25 m² de capteurs plans (à eau ou à air)
- 10 capteurs avec accumulation incorporée
- 20 m² de distillateurs d'eau saumâtre
- 2-5 séchoirs de grandes dimensions
- 10 fours solaires pour usages domestiques

Grâce à cette production on arrivera à utiliser au maximum les équipements décrits ci-après. On pourra évidemment modifier la production pour fabriquer, certains jours, un type seulement de systèmes et, les autres jours, les autres types.

Le choix des différents produits dépendra des exigences du marché local.

Les temps de production suivants sont prévus, de manière

indicative, pour les différents produits :

- 1 m² de capteur plan (à air ou à eau) = 90 + 120 minutes environ
- 1 m² de capteurs avec accumulation incorporée = 75 + 90 minutes environ
- 1 m² de distillateur = 50 + 75 minutes environ
- 1 séchoir = 240 minutes minimum
- 1 m² de four solaire = 75 + 100 minutes environ

Il est important de remarquer que les temps indiqués se rapportent à des temps d'usinage nets ne comprenant pas les temps morts et ceux de transport et stockage entre une machine ou un usinage et l'autre, et de répéter qu'ils sont absolument indicatifs, susceptibles de varier suivant les niveaux de production journalière qui seront adoptés et selon les matériaux employés.

3. 1. 2 Bâtiments et installations

Le bâtiment sera réalisé en charpente métallique avec une couverture en tôle ondulée ou en fibro-ciment et des murs à vue en blocs de béton ou autres matériaux que l'on peut trouver sur place. Le plancher sera en béton.

Au début, le bâtiment aura une dimension en plan de 15 x 30 m (450 m²) et une hauteur de 4 mètres.

Par la suite, le bâtiment pourra être agrandi pour la mise en route de la production des capteurs à rendement élevé et de la pompe à gravité.

Dans le bâtiment il y aura place pour le bureau du chef de l'atelier et pour ses assistants. Un autre bureau pourra être installé dans une dépendance et sera utilisé par le personnel comptable et commercial.

A l'extérieure il y aura un entrepôt pour les matériaux et les produits finis dont les dimensions seront en fonction de la production (250 x 350 m² pour la production indiquée au paragraphe 3. 1. 1).

Les installations nécessaires seront les suivantes :

- un système d'éclairage électrique
- un système d'alimentation des équipements à courant triphasé
- un système hydrique pour le refroidissement des équipements à courant triphasé
- un système d'air comprimé pour la peinture et la commande pneumatique des équipements

Si le branchement à un réseau de distribution de l'électricité est impossible, on installera un groupe électrogène avec une production de pointe de 50 KVA.

Le prix indicatif du bâtiment, y compris toutes les installations, sera de 140 à 180 \$/m², avec un coût global de 63.000 - 81.000 \$ pour la première phase.

3.1.3 Equipements et Personnel

Les équipements suivants sont prévus pour le petit atelier et sont en mesure de faire face à la production du petit atelier tant au cours de la première phase, qu'au cours de la deuxième :

- 1) - dévidoir
- 2) - ciseau
- 3) - presse-cintreuse
- 4) - soudeuse électrique à fil continu
- 5) - soudeuse rotative et par points
- 6) - soudeuse à argon
- 7) - déshumidificateur de milieux
- 8) - deux compresseurs à air (avec éventuels déshumidificateurs)
- 9) - outils et moules divers
- 10) - un petit atelier mécanique (avec meule, perceuse à colonne, scie à disque, scie à ruban, établi, armoires pour le personnel, etc..)
- 11) - équipement de bureau
- 12) - équipements pour l'entrepôt

Le coût global prévu pour les équipements et les outillages est de 95.00 + 120.000 \$.

Le personnel employé sera constitué par 15 + 20 ouvriers moyennement qualifiés et formés sur place en mécanique, soudure électrique ou autogène, carrosserie hydraulique, électricité. Outre ces ouvriers, toute une série d'assistants (8 + 12) sera nécessaire pour les phases intermédiaires du travail (mouvement

des matériaux, stockage, etc....)

Il est indispensable que le contremaître soit mécanicien expérimenté et qu'il soit en mesure d'effectuer l'entretien et le réglage des équipements, de même que le contrôle de la production et la manutention des équipements.

Le chef de l'atelier sera aidé par 2 à 5 employés comptables et commerciaux.

Un magasinier et 1 à 2 assistants travailleront dans l'entre
pôt.

Les équipements et le personnel employés pourront varier en fonction des composantes qu'on désire réaliser et des produits plus diffusés localement.

3.1.4 Schéma de Production

Les machines décrites au paragraphe précédent trouvent leur place dans l'atelier proposé et servant à la production des composantes décrites au paragraphe 2.1.

La Fig. 3.1 donne une représentation schématique de l'ensemble des cycles d'usinage des diverses composantes.

Les temps d'utilisation des différentes machines varient selon la composante produite; en outre, certaines machines servent uniquement pour certaines composantes.

En considérant la diversification de la production, les machines peuvent toutes fonctionner à plein temps.

On a deux principales lignes de production :

- A) Production de capteurs à liquide à rendement faible et élevé, capteurs à air, chauffe-eau avec accumulation incorporée.
- B) Production de distillateurs, cuisines solaires, séchoirs et, en une deuxième temps, pompes à gravité.

A) Dans l'hypothèse des composantes proposées, la ligne de production utilise spécifiquement les machines suivantes :

- dévidoir
- ciseau
- presse cintreuse
- soudeuse rotative et par points
- soudeuse à argon ou soudeuse à fil continu
(selon les matériaux utilisés)

Elle utilisera en outre toutes les machines en service à l'atelier comme les compresseurs à air, le déshumidificateur, ainsi que divers outils.

La machine dont le temps d'occupation est le plus grand est la soudeuse continue et on aura donc, au cours du cycle de production, des accumulations de matériaux semi-finis.

Pendant les temps morts où on ne produit pas de composantes du point A), les machines ayant un moindre temps d'occupation pourront être utilisées pour produire d'autres semi-finis.

Le système le plus rentable de production est certainement celui où chaque machine fonctionne pendant un certain temps pour fabriquer une composante et où sont prévus des endroits où on peut accumuler les produits semi-finis.

Ceci devient obligatoire quand, pour produire différents produits, la machine doit subir une modification, comme cela est à supposer en ce qui concerne la presse cintruse.

Avec la création de postes d'accumulation de produits semi-finis on peut utiliser la même surface pour le montage de différents produits.

En ce qui concerne les capteurs plans à liquide et à air et les chauffe-eau, la phase finale de montage doit être effectuée dans un local à humidité contrôlée pour éviter des problèmes successifs de condensation dans le cas où les capteurs sont étanches.

On peut voir à la Fig. 3.2 le parcours effectué par

les matériaux et par les semi-finis pour les produits du point A).

B) Pour la production des séchoirs des cuisines solaires et des distillateurs, on utilise un nombre inférieur de machines que pour les produits du point A).

Par contre le temps d'assemblage manuel des différents pièces augmente.

Pour les séchoirs de grandes dimensions, comme pour les gros distillateurs, la production en atelier se limite à la réalisation de produits semi-finis qui sont successivement assemblés sur le lieu d'installation.

Les petits séchoirs, les fours et les petits distillateurs, par contre, sortent de l'atelier en tant que produits finis.

La zone peinture et montage final des diverses composantes est la même que pour ceux du point A).

La production des composantes du point B) s'effectue en partie à la chaîne et en partie parallèlement à la réalisation des composantes du point A).

A la chaîne pour ce qui concerne l'utilisation de machines qui sont utilisées pour les deux groupes de produits; parallèlement pour les machines, comme la soudeuse continue, qui ont des temps d'utilisation plus élevés que les autres par unité de produit fini.

On peut voir à la Fig. 3.3 le parcours effectué par les matériaux et les produits semi-finis en ce qui con

cerne les produits du point B).

L'atelier devra également être muni d'un entrepôt extérieur pour les produits finis lequel pourra d'ailleurs se réduire à une simple toiture dont les dimensions seront en fonction de la production (environ 250-350 m²).

L'introduction dans la deuxième phase de nouvelles productions comme celle des pompes à gravité, des capteurs plans à rendement élevé et de séchoirs fonctionnant à des températures moyennes (s'ils sont réalisés en tôle) ne change pas le schéma de production de base de l'atelier, étant donné que les capteurs auront le même cycle d'usinage que ceux réalisés dans les premières phases; les pompes à gravité et les séchoirs sont eux aussi caractérisés par une grande partie d'assemblage manuel de produits semi-finis et ils suivront le même cycle que les produits du point B).

Les machines décrites et les usinages sont caractéristiques de certains produits réalisés avec matériaux donnés.

Il n'est évidemment pas dit que, pour des raisons de marché, on puisse réaliser toutes les composantes. Certaines machines pourront donc ne pas être utilisées à plein temps (dans le cas, par exemple, où l'on ne voudrait construire que de capteurs).

Les produits envisagés sont essentiellement réalisés avec de la tôle métallique; dans le cas où on voudrait remplacer certaines parties par d'autres matériaux (par exemple du bois pour la structure extérieure des capteurs) l'introduction de machines différentes se rendra nécessaire.

Ces estimations ne doivent être faites qu'après une analyse approfondie des différentes réalités locales et il n'est pas dit que dans tous les endroits la même composante pourra être réalisée de

la même manière.

3.2 LE GRAND ATELIER

Alors que dans le passage de la première à la seconde phase on a un changement dans les systèmes réalisés, même si cela comporte des composantes importées, avec le passage de la seconde à la troisième phase, ce sont les productions qui changent.

Il s'agit ici d'un passage essentiellement de qualité : on passe de productions à technologie réduite réalisés dans l'atelier décrit au paragraphes 3.1 à des productions à technologie avancée telles que machines frigorifiques et moteurs à expansion. Etant donné le niveau de technologie nécessaire pour ces composantes, tout laisse supposer qu'un seul atelier se prête mieux à cette production.

La réalisation de ces composantes devra être organisée sur des bases industrielle et elle pourra être développée sur la base des expériences faites au cours des deux premières phases, sur les études effectuées dans les centres de recherche existants dans les pays membres de l'OCAM et sur la collaboration avec les pays ayant un degré de technologie plus élevé.

Le choix de la réalisation du grand atelier doit évidemment être conséquent avec ces expériences et ces études, mais il doit également partir d'une analyse du marché et du l'investissement que l'on veut effectuer. Dans cette optique, les temps de départ en ce qui concerne la troisième phase peuvent même être relativement courts.

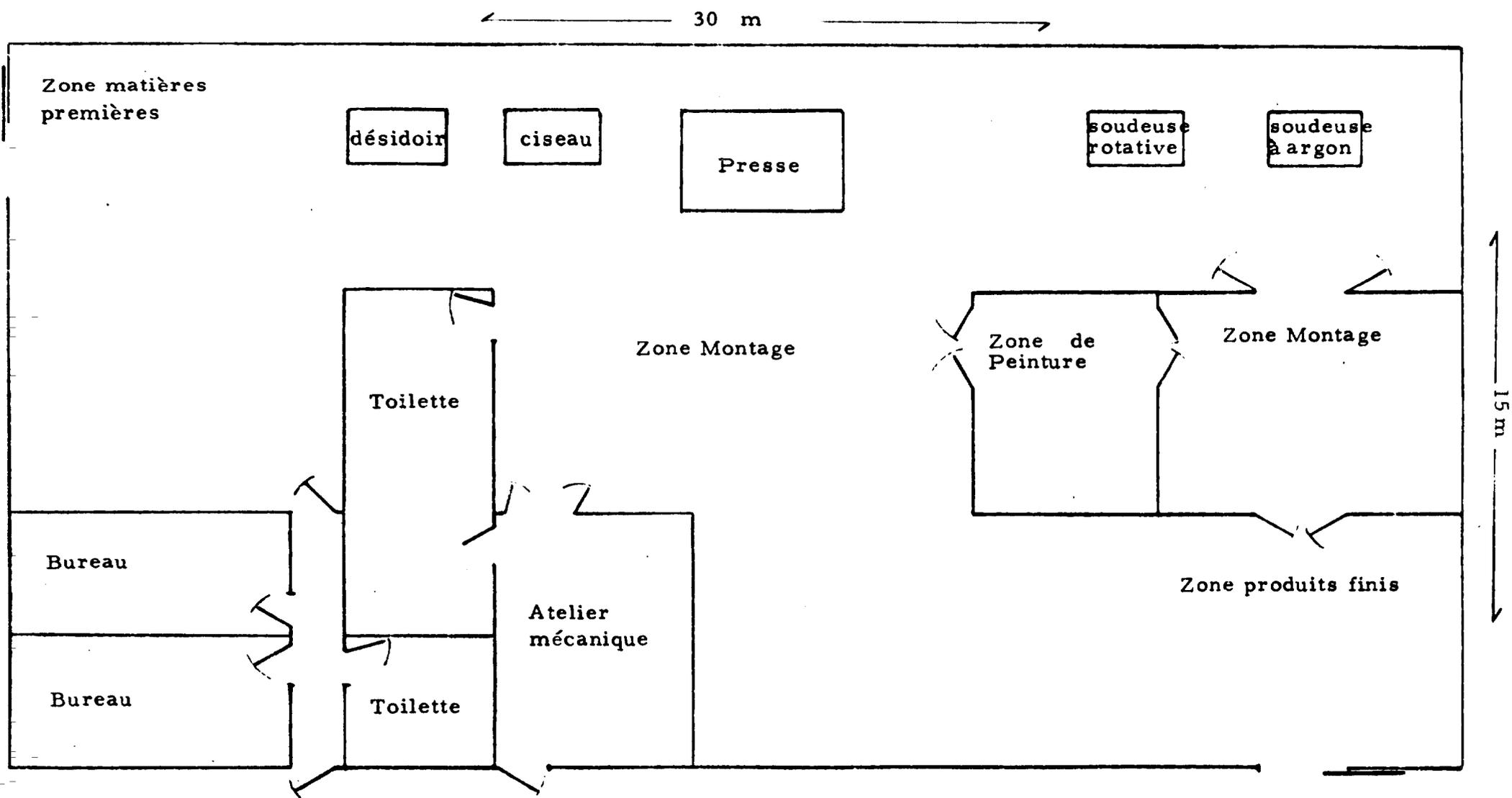


FIG. 3.1. - PETIT ATELIER -

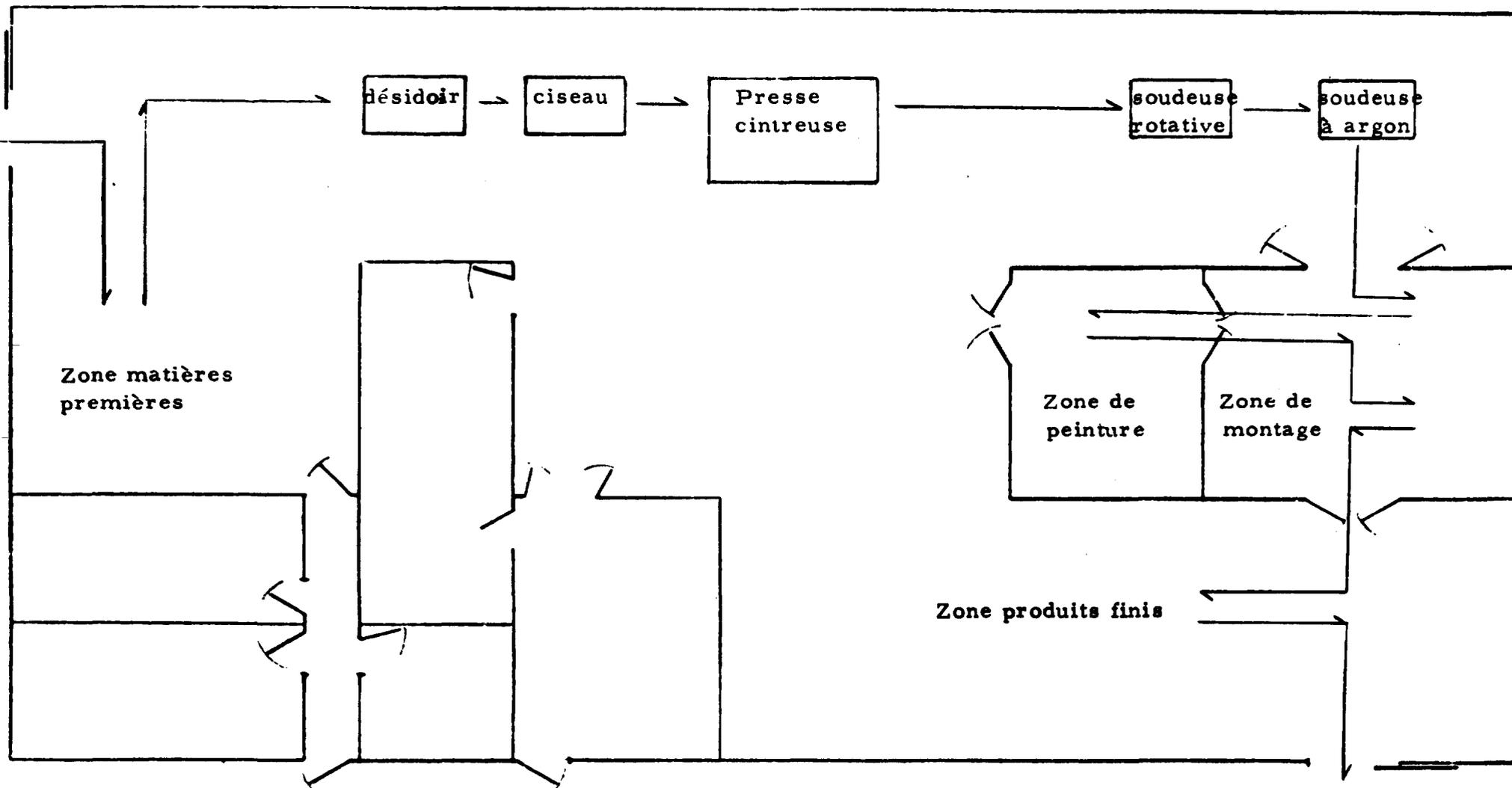


FIG. 3.2. - PRODUCTION DES COMPOSANTS DU GROUP A -

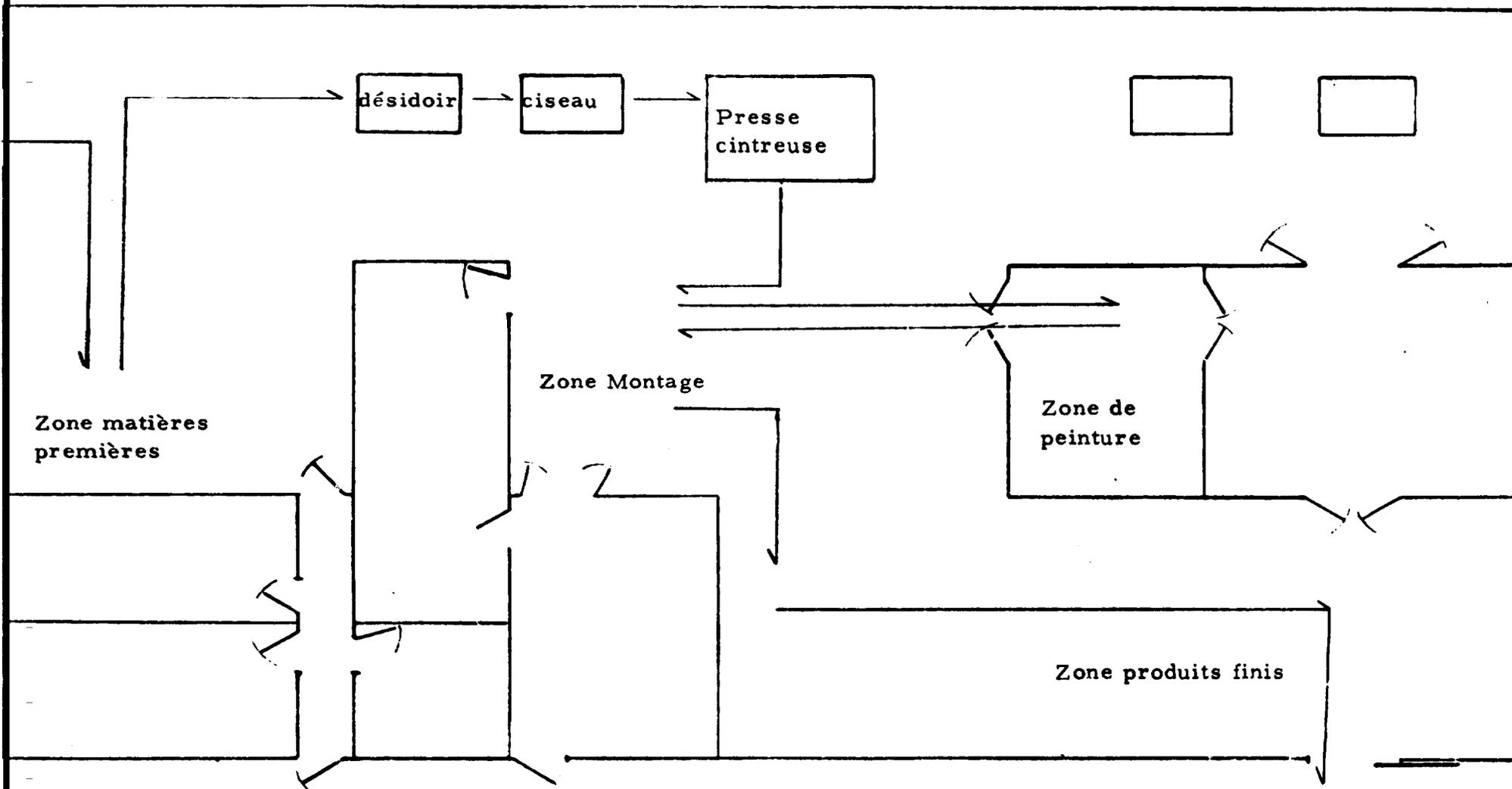


FIG. 3.3 - PRODUCTION DES COMPOSANTS DU GROUP B -

CHAPITRE 4

RESUME DES PRIX D'ESTIMATION

INTRODUCTION

Après avoir décrit aux chapitres précédents les caractéristiques des différents produits qui pourront être fabriqués localement et de l'atelier servant à leur fabrication, nous résumons ci-dessous les principales données concernant les coûts prévus pour les produits en question et les quantités d'eau chaude, d'eau dessalée, de produit séché, etc... qu'ils sont en mesure de fournir.

Etant donné le caractère de la présente étude qui se réfère à un atelier localisé dans un lieu non précisé de l'un des pays de l'OCAM et par conséquent destiné à une production en vue d'un marché qui n'a pas encore été défini, de nombreuses solutions ont été laissées au choix quant aux matériaux à utiliser et aux dimensions des produits fabriqués.

Ceci comporte évidemment la nécessité d'indiquer les intervalles prévus pour les coûts plutôt des prix précisés avec exactitude.

De même, les productions exactes des différents systèmes ne pourront être définitivement établies que lorsque l'on aura fait le choix concernant la localisation du premier atelier et la ligne de production.

4.1 COMPOSANTES ET SYSTEMES PRODUITS DANS LE PETIT ATELIER

a) Chauffe-eau solaires

Pour une production moyenne de 100 l/jour, avec des variations saisonnière allant de 75 à 150 l/jour, il faut un système composé de 1,5 m² de capteur plan, un réservoir de 120 l

et divers tuyaux (système à circulation naturelle) dont le coût total variera de 130 à 170 dollars.

La présence du réservoir d'accumulation et les caractéristiques de ce système permettront une disponibilité assez continue d'eau chaude même dans les journées très nuageuses et éviteront la nécessité de recourir à recharger le système une ou plusieurs fois par jour.

On pourrait obtenir des coûts inférieurs en utilisant un capteur du deuxième type illustré au par. 2.1.1, autrement dit un capteur à accumulation incorporé qui ne permet toute fois pas d'assurer une production élevée les jours où les conditions climatiques sont défavorables et exige un écoulement de l'eau chaude dès que la température requise a été atteinte ainsi qu'une nouvelle recharge d'eau froide. Pour une production moyenne de 100 l/jour serain, on peut prévoir un coût de 60-80 dollars.

b) Distillateurs solaires

Une unité de 3 m² est en mesure de produire en moyenne 15 l/jour d'eau douce, avec des minimum et des maximum pendant l'année de 14 et 18 l respectivement par jour.

Son coût peut varier de 80 à 120 dollars.

Il est important de souligner que, contrairement à l'eau chaude, l'eau distillée peut être emmagasinée à un coût nul. Il est donc possible de comparer les productions plus faibles des jours relativement moins favorables par celle plus élevée des journées plus ensoleillées.

c) Fours et cuisinières solaires

Les trois modèles sans accumulation proposés au paragraphe 2. 1. 3 peuvent être construits dans le petit atelier.

On peut prévoir les prix de revient suivants :

Cuisinière (Fig. 2. 12) = 15 + 25 \$ l'unité

Four (Fig. 2. 13) = 30 + 40 \$ l'unité

Four (Fig. 2. 14) = 35 + 40 \$ l'unité

La capacité de cuisson est de 4 kgs pour le premier modèle, de 4 kgs en deux casseroles pour le deuxième et de 2 kgs pour le troisième.

d) Séchoirs

Différents types de séchoirs ont été illustrés au chapitre 2. La fabrication de certains d'entre eux sera immédiatement possible dans le petit atelier tandis que pour deux de ces types qui exigent des températures élevées il faudra attendre la deuxième phase, au cours de laquelle l'atelier sera agrandi pour produire des capteurs à grand rendement.

d. 1) Séchoir fonctionnant également de stockage du produit

Pour une capacité allant jusqu'à 60 tonnes, on aura un coût de 10.000 - 14.000 dollars.

d. 2) Séchoir pour céréales sans stockage du produit :

Ce type exige d'être relié à des capteurs à grand rendement pour pouvoir atteindre des températures élevées.

On peut traiter jusqu'à 5 tonnes de céréales par jour avec un séchoir de ce type dont le coût variera de

24.000 à 28.000 dollars.

d. 3) Petit séchoir pour fruits

A usage résolument familial, il permettra le séchage de fruits jusqu'à 10 kgs et coûtera entre 30 et 40 dollars.

d.4) Séchoir de moyennes dimensions pour céréales, fruits, fourrage

Ce type permet de sécher des produits ayant un maximum de volume de $0,5 \text{ m}^3$ ou 100 kgs de foin.

La limitation du volume est valable, par exemple, pour le fourrage (20 kgs max.) alors que celle du poids est valable pour les céréales (19 kgs max.)

d. 5) Séchoir pour le fourrage

On en a décrit deux types au chapitre 2. On ne pourra déterminer leurs dimensions et leurs coûts qu'une fois qu'on aura déterminé exactement la localisation de l'atelier ainsi que le marché que sa production devra servir.

e) Pompes à gravité

Une pompe à gravité ayant un potentiel de 1 kW, associé à 600 m^2 de solar pond, pour une hauteur manométrique de 10 m, coûtera environ 14.000 dollars et sera en mesure de fournir l'eau nécessaire à 100 personnes, à 150 ovins et à l'irrigation d'un hectare de terrain.

Une plus petite pompe, ayant une puissance de 50 Watts et une hauteur manométrique toujours de 10 m, aura besoin de 30 m^3

de solar pond ou de capteur plats et fournira l'eau nécessaire à 10 personnes, 15 ovins et 5 bovins. Son coût sera de 600-900 dollars.

4.2 L'ATELIER ET LES MACHINES

Comme nous l'avons déjà indiqué au chapitre 3, les coûts prévus seront de 63 - 81.000 dollars pour le bâtiment et les installations, et de 95-120.000 dollars pour les machines.

CHAPITRE 5

SERVICES D'INSTALLATION, COMMERCIALISATION
ET ASSISTANCE

INTRODUCTION

Conformément aux indications précédentes, cette étude a eu pour objectif de mettre au point des systèmes à énergie solaire pouvant être fabriqués dans les pays de l'OCAM, en faisant une distinction entre ceux qui peuvent être fabriqués immédiatement car suffisamment expérimentés et demandant des niveaux techniques faibles-moyens, et ceux qui pourront être pris en considération au cours d'une deuxième et d'une troisième phase.

Etant donné le manque d'homogénéité géographique du point de vue agricole et industriel des différents pays de l'OCAM et, dans certains cas, des différentes zones à l'intérieure d'un même pays, nous avons préféré indiquer une série d'alternatives pour les matériaux et des dimensions de chaque système et donner seulement des indication d'ensemble sur les équipements et l'atelier destiné à la production, de même que sur les niveaux de production.

Ce n'est qu'une fois choisi l'endroit précis où installer le premier atelier, que l'on pourra définir complètement les systèmes à produire et dimensionner définitivement l'atelier. Ceci demandera :

- a) une enquête sur les matières premières disponibles localement, pour arriver aux plans de construction des systèmes;
- b) une analyse des besoins principaux du système agricole et des villages que la production de l'atelier, devra servir décider les types de systèmes des plus intéressants pour l'utilisation locale aussi que leurs capacités et caractéristiques;

- c) Une étude du niveau de qualification du personnel que l'on peut trouver afin d'établir un programme de formation.

5.1 PHASES D'INSTALLATION ET APRES-INSTALLATION

Une fois les études préliminaires complétées (voir paragraphe précédent) et les plans de construction des systèmes à énergie solaire et d'atelier préparés, un groupe de consultants opérant dans ce domaine se chargeront de assistance à :

- a) l'organisation de l'achat des équipements et des matériaux (pour les premières périodes de production et pour les stocks) et la supervision de la construction de l'atelier;
- b) la mise en route de la production;
- c) la formation du personnel affecté à la fabrication, au montage, à l'assistance et à l'entretien. (L'organisation de l'assistance après-vente est indispensable pour assurer un correct emploi des systèmes et la continuité dans le temps de leur fonctionnement).
- d) préparation d'un plan de sensibilisation des communautés locales aux nouvelles technologies, par la formation du personnel et la remise d'une simple documentation qu'il pourra employer pour illustrer aux usagers les caractéristiques des systèmes.

L'organisation de tous ces services a une importance fondamentale pour insérer avec succès les nouvelles techniques dans la société locale. Cette insertion sera facilitée par le caractère local de la production et par la simplicité d'emploi des systèmes proposés.

5.2 DELAIS D'EXECUTION

La Fig. 5.1 présente un schéma indicatif de la durée des diverses phases de réalisation : étude et élaboration du projet, construction, etc... par lesquelles il faudra passer une fois décidée la réalisation d'un atelier dans une zone donnée.

L'étude du projet consistera à rassembler des informations sur les matières premières disponibles, sur les principaux besoins en énergie et sur le niveau de spécialisation du personnel, et elle demandera à un expert un travail de 6 mois.

Les données rassemblées au cours de l'étude serviront d'input à l'équipe chargée de réaliser aussi bien les systèmes solaires que l'atelier de production. Il faudra à cette équipe de 2-3 techniciens un travail de 4 mois pour mener à bien l'élaboration du projet.

L'achat des machines destinées à l'atelier pourra commencer un mois avant la fin de l'élaboration du projet. Il faudra environ 6 mois pour que toutes les machines soient prêtes à être installées.

La construction de l'atelier et l'installation des machines prendra environ 4 mois.

Deux mois avant la fin de l'installation complète de l'atelier, le chef d'atelier devra avoir terminé une période de 3 mois de formation professionnelle dans une entreprise de dimensions moyennes produisant déjà des systèmes à énergie solaire simples. La présence du chef d'atelier, déjà formé, nous semble fondamentale pendant la dernière phase de construction.

Du matériel d'information sur les produits devra être prêt au moment où l'atelier sera terminé pour qu'il puisse être assimilé par les préposés à la commercialisation de ces mêmes produits,

lesquels les utiliseront dans leur travail de vente et de sensibilisation des usagers. La préparation du matériel d'information exigera le travail d'un expert pendant environ 2 mois.

Les matières premières à usiner devront être commandées dans des délais qui dépendent strictement de la localisation de l'atelier et des disponibilités locales.

La mise en route de l'installation exigera la présence de 1 ou 2 experts qui s'occuperont de la formation aussi bien du personnel affecté à la production que de celui commercial pendant une période d'au moins 4 mois.

Il est évident que les délais indiqués ci-dessus le sont tout à fait à titre indicatif et que la réalisation d'un premier atelier pilote pourra durer plus longtemps que celle d'ateliers successifs pour lesquels se répéteront quelques unes au moins des caractéristiques de l'unité pilote.

ETUDE DU PROJET	0 _____ 6
ELABORATION DU PRO. ET	6 _____ 10
ACHAT ET EXPEDITION DES MACHINES	9 _____ 15
CONSTRUCTION ATELIER	13 _____ 16
FORMATION PROFESSIONNELLE DU CHEF D'ATELIER	11 _____ 14
PREPARATION MATERIEL D'INFORMATION	14 _____ 16
MISE EN ROUTE ET FORMATION PROFESSIONNELLE DU PERSONNEL TECHNIQUE ET COMMERCIAL	16 _____ 20

Les temps sont indiqués en mois

FIG. 5.1 - DELAIS D'EXECUTION

