

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

11/78

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DÉPARTEMENT MÉCANIQUE


Resc!

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

ÉTUDE ET RÉALISATION D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Proposé par : la S.E.S. de Bouzaréah

Dirigé par :

Étudié par :

MM. M. BOUHADEF

MM. Farouk OUAIL

M. DJEBLOUN

Rabah ZEGADI

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية

— المكتبة —

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

JUIN 1978

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE ET REALISATION D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Proposé par : la S.E.S. de Bouzaréah

Dirigé par :

MM. M. BOUHADEF
M. DJEBLOUN

Etudié par :

MM. Farouk OUAIL
Rabah ZEGADI

JUIN 1978

A LA MEMOIRE DE MON FRERE
OUAIL SADAK QU'IL REPOSE EN PAIX.

" " " " " "
" Ce travail a été effectué sous le " "
" patronnage de l'O.N.R.S à la Station " "
" de l'Energie Solaire de Bouzareah " "
" Qu'il trouve ici l'expression de notre " "
" sincère reconnaissance..... " "
" " " "
" " " "

R E M E R C I E M E N T S

Que Monsieur BOUHADEF Mustapha, Directeur de la Station de l'Energie Soalire, trouve ici nos remerciements les plus vifs et notre gratitude la plus profonde pour l'aide qu'il n'a pas de nous apporter et les conseils qu'il nous a prodigué tout au long de notre travail. Son soutien constant nous a été des plus précieux.

Nous remercions Monsieur DJEBLOUN M'hamed Enseignant à l'école nationale Polytechnique pour les fructueuses discussion que nous avons eues au sujet de ce travail.

Nous remercions notre ami SADAT Hamou Ingénieur à la Station de l'Energie Solaire de Bouzareah pour le soutien qu'il nous à apporté pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions Monsieur BOUSSARD, Enseignant à l'école nationale Polytechnique d'El-Harrach, d'avoir aimablement fait partie du Jury.

Nous remercions la S.N.L.B (UMO4) ROUIBA qui à bien voulu réaliser les capteurs dans ses ateliers.

Nous remercions Monsieur TOUILEB Ahmed qui tout au long de la réalisation n'a cesse de nous aider

Nous remercions Melle BOUSLAMA , qui a aimablement mis son art dans la "frappe" des Stencils.

Nous ne saurions terminer sans remercier tout le personnel de la Station pour leur aide et leur soutien.

*A /NOS /PARENTS /ET /NOS /AMIS.

Sommaire

- A.) Introduction:
- B.) But de l'étude:

Chapitre I: "Etude Bibliographique.

11) Introduction.

12) Rayonnement

13) Rayonnement solaire

1.3.1) Constante solaire I° .

1.3.2) Influence de l'atmosphère

1.3.3) Rayonnement direct

1.3.4) Rayonnement diffus

1.3.5) Rayonnement réfléchi

1.3.6) Rayonnement global sur un plan quelconque.

1.4; comportement de corps vis-à-vis du rayonnement

1.4.1) Généralités

1.4.2) Corps noir

1.4.3) Repartition spectrale de l'énergie émise

1.4.4) Le soleil.

1.4.5) Mesures solarimétriques.

2. Applications de l'Energie solaire "le chauffe-eau solaire"

2.1) Introduction.

2.1.1) L'effet de serre.

2.1.2) Conversion thermique

2.1.3) Stockage.

2.2.) Le chauffe -eau solaire

2.2.1 les capteurs plans.

2.2.2 conception de l'absorbeur

a;) Pour notre chauffe - eau

b.) Types de capteurs plans.

Chapitre II : "Calcul théorique"

- 2.1 Energie fournie par un insolateur plan .
- 2.2 Analyse de cette équation
 - a/ Rappel de la théorie de Bliss
- 2.4 Dimensionnement de l'installation
- 2.4 Principe du thermosiphon
 - 2.4.1 Charge hydromotrice
 - 2.4.2 Evaluation de la force du thermosiphon
 - 2.4.3 Calcul théorique de la force du T.S
- 2.5 Calcul des pertes de charge
- 2.6 Estimation des pertes de l'insolateur plan
- 2.7 Calcul du débit du fluide caloporteur
- 2.8 Influences des conditions extérieures.

Chapitre III "Réalisation pratique"

- 3.1 Généralités
 - 3.1.1 Présentation du chauffe-eau
 - 3.1.2 Orientation des capteurs
 - 3.1.3 Montage modulaire des capteurs
- 3.2 Construction du convertisseur plan
- 3.3 Réalisation du boîtier
- 3.4 La cuve
- 3.5 L'échangeur
 - 3.5.1 Calcul d'échangeur.

Chapitre (4) "Expérimentation"

- 4.1 Description de l'installation
- 4.2 Instrumentation de mesure
- 4.3 Mesures concernant système
 - 4.3.1 Methode de calcul
- 4.4 Etalonnage des thermocouples
- 4.5 Tableau de mesure
- 4.6 Graphique
- 4.7 Analyse des resultats
- 4.8 Suggestions d'amélioration de la methode expérimentale.

Chapitre (5)

- 5.1 Problèmes technologiques rencontrés
- 5.2 Etude critique
- 5.3 Etude économique
- 5.4 Présentation du chauffe-eau de la cantine
- 5.5 Conclusion

ANNEXE.

Auteurs cités

- (1) Chr. Berrin de Boichonbaut Chaiers AFEDES.
Juillet 1975
- (2) J?L Vaillant "Utilisations et
promesses de l'enertie
solaire"ed. Eyrolles76
- (3) Marcel Perrot "Houille d'or"
Edition. Fayard 1963.
- (4) Thermal Energy Storage "Report. OfaNato Science
Committée conférence
1-5 Mars 1976"pergamon-
presse.
- Jacques Percebois "L'Energie Solaire
Perspective économiques"
CNRS 1975
- (5) Thierry Cabirol "Le chauffe-eau solaire
Albert Pelisson coll. Tch.Douces-"
Daniel Roux Edisud.
- (6) J. SACADURA "Equations caractéri-
stiques des capteurs
solairesplans sans
concentration"
Rev. Gén. Tchern.
Française N°= 171
Mars 1976.
- (7) G. Peri "Les capteurs conver-
tisseurs Héliothermiques
sans concentration"
Cahiers A FEDES. N°= 4 77.

ماخولي

يتعلق البحث الذي قمنا به بمشروع جهاز لتسخين الماء معتمد و
على استعمال الطاقة الشمسية

إننا في أول الأمر نقوم بعدة تجارب والمدف منها
لصومعرفة الطاقة الإنتاجية. إن هذه التجارب
ستسمح لنا بمعرفة كل التفاصيل حتى نتقارنا لما حينها
يقوم بمشروع الجهاز الثاني الذي سيجهز مطعم المعطلة
للاطاقة الشمسية.

إن المواد المستعملة كلها من السوق الوطنية ولها
كان مدفنا معرفة مدى تجاوب الصناعة الوطنية
مع الأبحاث العلمية القائمة.

كل آمالنا تمثل في أن يساعد هذا البحث على خلق
صناعة وطنية وتندرج في إطار -

ABSTRACT:

A model is developed for the heat transfer in a flat plate solar collector with a rectangular channel for water. This 2 dimensional geometry offers the maximum area of between the fluid and collecting surface exposed to the sun. The collector is made of two parallel, flat steel sheets, 0,8mm thick, spaced 3mm apart and spot welded at various points to withstand the pressure water inside. The edges are welded to make them water tight.

Our solar water heater has 4m² of collecting surface. That realisation is experimental. After tests, we shall realise a solar water heater for the "S.E.S. Kit-Case".

Different materials are tested (steel vat, asbestos cement tub, steel sheets.....)

We expect that realisation contributes to approach of the industrialisation of this production in ALGERIA.

Résumé:

Nous développons un modèle de transfert thermique dans un collecteur solaire plan, avec un tunnel rectangulaire pour l'écoulement de l'eau à lame d'eau". Cette géométrie bidimensionnelle offre la possibilité d'avoir une surface de contact maximum entre le fluide et la surface collectrice exposée au soleil. Le collecteur est constituée de deux tôles planes parallèles en acier de 0,8mm d'épaisseur, espacées de 3mm et pointées par soudure, en ayant internalé des rondelles entre les deux tôles pour qu'elles résistent à la pression de l'eau. Les bords sont soudés et étanches. Notre chauffe-eau solaire à une surface collectrice de $4m^2$. Cette réalisation est expérimentale. Après les tests, nous réaliserons un chauffe-eau solaire pour la cantine de la S.E.S.

Différents matériaux sont utilisés et testés: cuve en acier, cuve en amiante - ciment, capteurs en tôles noires...) Notre espoir est que cette réalisation contribue à une approche de l'industrialisation de cet appareil en Algérie.

....Le Soleil.

On ne peut plus contempler les levers du Soleil d'antan sans qu'un four nous gêne. Finies les belles matinées où les premiers rayons caressaient les fleurs sauvages du printemps! Qui réveillera la Nature, privée de son éternel compagnon: le Soleil? Est-ce les immenses tours dressées par la bêtise humaine, ces épines enfoncées dans les entrailles tressaillant de notre Terre.

Un pauvre comme Diogène disait "Ote-toi de mon Soleil" et personne ne songeait à lui contester la libre jouissance du rayonnement solaire, ce bien inestimable qui n'appartient à personne, mais dont tout le monde peut tirer parti à loisir, à condition qu'on ne se trouve pas sur le terrain d'autrui! Mais avec un four solaire, croyez-moi qu'on absorbera le rayonnement. On porte atteinte à autrui...

Et l'équilibre thermique de la Terre, qu'est-ce que vous en faites! On en parle pas...

Un jour, l'oiseau migrateur, en survolant les immenses paraboliques ne croira-t-il pas au mirage, n'aura-t-il pas l'idée innocente d'être arrivé au lac lointain, là où il a l'habitude millénaire d'y aller? A-t-on songé à sa déception, à son désarroi, si par hasard, il effleure le foyer qu'on dit pourtant linéaire... mais qui brûle quand même!.....

A- INTRODUCTION

L'exploitation de l'Energie Solaire

Le soleil qui joue un rôle essentiel dans les phénomènes météorologiques tandis qu'il anime le grandiose cycle de l'eau indispensable à la vie sous toutes ses formes peut-il être par une exploitation rationnelle de son énergie source supplémentaire de richesse ?

Depuis son origine l'homme n'a cessé de faire appel soit pour se chauffer ou se nourrir ou se placer sous sa protection pour édifier les civilisations et fonder ses empires. Jamais, à l'exception de quelques tentatives spectaculaires que repportent la chronologie mais dont la portée est discutable, l'homme n'a sérieusement songé jusqu'au 20^{ème} siècle à capter directement et à grande échelle les fabuleuses quantités d'énergie que le soleil rayonne incésamment vers nous.

Il faut peut-être voir les raisons de ce retard dans le fait que nous ayons trouvé expédient d'utiliser l'eau, le vent, le bois, le charbon, le pétrole plus aisément accessibles et exploitables. Mais il est cependant certain que quelque soit encore actuellement les degrés de perfectionnement de la technique moderne en toutes matières des étapes préalables, scientifiques, techniques et technologiques sont encore à franchir avant que l'on puisse aborder de plain pied le problème de l'utilisation économique de l'énergie solaire avec quelque chance de succès.

En gros il a fallu attendre le 20^{ème} siècle pour que cette énergie et ses applications suscitent et entrent réellement, bien que modestement, dans le domaine

du laboratoire et les exploitations pilotes.

Il est vrai de dire cependant que l'intérêt porté en ce milieu de siècle à l'énergie solaire ne cesse de s'accroître.

L'une des principales raisons en est l'insuffisance constatée des ressources mondiales en combustibles solides et liquides. Selon des estimations de géologues un accroissement probable de la consommation moyenne annuelle d'énergie de 4% entraînerait l'épuisement des réserves de pétrole et de charbon actuellement connues en moins de 100 ans. Au même rythme de 4% les réserves d'uranium, de thorium, -ainsi que l'énergie provenant de la fusion du deutérium en supposant que l'on puisse un jour s'en rendre maître, ne nous mènerait guère, au-delà de 600 ans.

Enfin, l'accroissement alarmant de la population mondiale qui comptera près de 3,5 milliards d'hommes vers l'an 2000, aux besoins de laquelle il faudra satisfaire à un quantum individuel croissant, joint à la demande considérable en provenance des populations encore insuffisamment développées, ne peuvent que justifier les craintes exprimées de pénurie prochaine d'énergie et le regain d'intérêt porté aux problèmes de l'utilisation de l'énergie solaire qui se manifeste un peu partout dans le monde.

L'énergie nucléaire n'a certes pas fini de nous réserver des surprises et n'est encore à proprement parler qu'à ses débuts. Un mineur d'uranium produit dans son poste une matière première énergétique contenant aujourd'hui 20, plus tard peut être 2000 fois plus de KWH que son camarade du charbon.

Mais l'énergie nucléaire est limitée dans son temps d'utilisation tandis que l'énergie solaire,

malgré ses difficultés d'appréhension, ouvre des perspectives plus riches et peut, mieux que toutes les autres formes évoquées ci-dessus, représenter cette ressource à large assise, à durée quasi illimitée, dont nous souhaitons l'avènement. Les estimations les plus récentes fixent en effet à 50.000 Millions d'années au moins la durée du rayonnement solaire, tandis que les stocks actuels de combustibles équivalent au total à trois journées de radiation solaire. De plus, l'énergie solaire est partout disponible sur le lieu même de la consommation.

Elle offre d'ailleurs une large gamme de possibilités outre celles des autres formes d'énergie chauffage, climatisation, réfrigération, cuisson des aliments, alimentation des moteurs thermiques et électriques; elle est seule à permettre les hautes températures requises pour la fusion des matériaux réfractaires auxquelles les creusets ne sauraient résister. La photosynthèse artificielle qui permet la croissance accélérée de certaines plantes et dans l'avenir la conversion directe en énergie électrique offre un domaine immense d'applications.

Nous avons fait allusion déjà à quelques unes des raisons qui font que jusqu'ici cependant, en dépit de ses avantages marquants, l'énergie solaire n'est pas employée à une plus large échelle.

Mais il est bien évident que l'un de ses handicaps importants, exclusion faite de ceux qui sont inhérents à sa propre nature, réside dans la forme même prise par le développement industriel, économique et social de notre civilisation qui s'est bâtie autour de normes conventionnelles d'énergie que nous connaissons: le charbon et les hydrocarbures.

Les pays techniquement évolués sont loin en effet d'être mûrs pour les applications de l'énergie solaire tant que l'on pourra trouver du combustible et que les espoirs fondés sur l'énergie atomique iront croissant, l'exploitation de l'énergie solaire sera limitée à l'économie de combustibles là où suffisent de basses températures, aux expériences de laboratoire de laboratoire et aux usines pilotes pour l'avenir. Etat de choses regrettable, car le potentiel technique et financier de ces pays les rendrait les mieux aptes à promouvoir efficacement ces recherches qui exigent par nature de puissants moyens techniques et importants investissements.

Dans le domaine industriel, la tendance actuelle est à la concentration de grandes unités énergétiques très puissantes, depuis l'événement de l'énergie atomique notamment, tandis que les machines solaires conduiraient probablement au résultat inverse, se traduisant par une foule d'éléments de petite puissance entraînant une dispersion de la population vers des zones à faible densité.

Cette forme d'application normale que prendrait au début tout au moins l'énergie solaire en indique automatiquement les zones préférentielles d'emploi. Cette énergie est à proprement parler la richesse des pauvres, des isolés, des nations dépourvues d'énergie, insuffisamment développées et peuplées... elle est vraiment la manne des déserts... plus besoin en effet de chemins de fer, de lignes et de transports de force à haute tension, d'intermédiaires commerciaux, là où l'énergie solaire directement vers l'utilisateur

Il faut avouer que tout cela est bien séduisant et susceptible de représenter à coup sûr un important moyen d'action et une prodigieuse économie. Pour les nations pauvres en énergie, pour les zones difficiles désertes,

Dépeuplées ou inaccessibles. où manquent l'eau le charbon, le pétrole, le soleil représente sinon l'évènement économique possible et l'industrialisation, du moins l'élévation du niveau de vie, l'expansion de la civilisation, la stabilité sociale, la paix et sans doute la prospérité pour ces pays pauvres, mettre en oeuvre d'une façon raisonnable d'utilisation de l'Est exige un rapport préalable énorme de capitaux dont ils ne peuvent pas actuellement disposer.

Dependant l'énergie solaire peut dès maintenant permettre une amélioration certaine des conditions de vie dans la plupart des déserts de la planète, contribuer en particulier à l'irrigation, à la création et au développement de l'artisanat sous certaines formes favoriser même le peuplement et la fixation des populations aider au développement d'une certaine industrialisation enfin, dans un autre, elle peut fortement contribuer à l'amélioration des conditions de confort d'habitat et de vie sociale dans tous les pays.

C'est au Sahara, le plus grand desert du globe, que l'énergie solaire apparait alors dans toute sa lumière avec ses caractères de complémentarité et d'ubiquité qui le rendent si intéressante pour nous, d'autant plus intéressante qu'aux caractéristiques ci-dessus s'ajoute la "souplesse" de son adaptation aux besoins, qui permettra, quelque soit l'emploi auquel on la destinée, de pouvoir en général toujours dimensionner les installations à la demande, qu'il s'agit des besoins de l'isolé, d'un petit groupe, voire d'une collectivité réduite. Est-il besoin d'ajouter qu'à la différence de l'énergie atomique, l'énergie solaire pose peu de problème de sécurité collective, ni surtout d'évacuation de déchets de combustions et si dangereux par ailleurs.

Ces arguments justifient l'intérêt que porte l'algerie à l'énergie solaire et à son développement. Mais esperons pour que le soleil brillera encore.

B-BUT DE L'ETUDE

Nous nous proposons de réaliser un chauffe-eau solaire pour la Station de l'Energie Solaire de Bouzareah.

Le but essentiel est de réaliser une série de tests pour déterminer les caractéristiques de ce chauffe-eau (rendement instantané des insolateurs production journalière d'eau chaude).

Dans la première partie de cette étude, notre travail consistera à réunir dans une mise au point bibliographique les éléments essentiels concernant le rayonnement et les applications de l'énergie solaire en particulier "le chauffe-eau solaire".

Ensuite, dans la seconde partie, en essayant de résoudre les problèmes technologiques surgis en cours de réalisation, nous réalisons un chauffe-eau solaire "opérationnel" qui équipera la cantine de la S.E.S.

Tout au long de cette réalisation, notre souci constatant a été un compromis entre la recherche d'une solution simple et économique en tenant compte de l'efficacité critère essentiel.

Enfin et malgré les contraintes et pénuries, nous nous sommes efforcés d'utiliser au maximum les produits de notre industrie, et même parfois de travailler en collaboration avec des sociétés nationales qui nous ont offert leur support (ex:S.N.L.B.).

CHAPITRE I.ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.

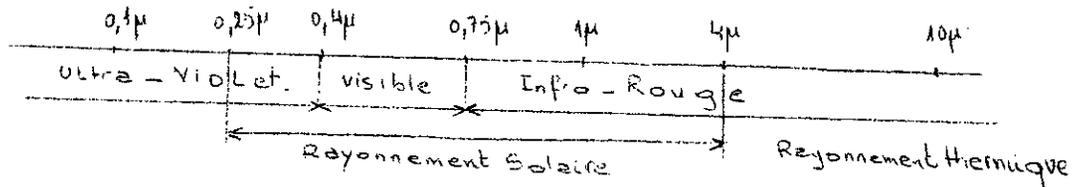
MISE AU POINT BIBLIOGRAPHIQUE:1.) Introduction:

Durant les dernières années, une abondante littérature spécialisée a vu le jour traitant de tous les aspects de cette "nouvelle d'énergie" qu'est l'énergie solaire.

Il nous a paru dès lors essentiel de rappeler au départ quelques notions permettant d'appréhender l'utilisation de l'énergie solaire et les problèmes liés à la conversion thermique et le stockage, le rayonnement solaire, le comportement des corps vis-à-vis du rayonnement. Ensuite, nous aborderons les problèmes relatifs au chauffe-eau solaire et l'étude des différents capteurs.

1.2) Le Rayonnement:

Le rayonnement est un mode de transfert de chaleur, à la vitesse de la lumière, d'énergie sous forme d'onde électromagnétique de différents longueurs couvrant tout le spectre.



Le rayonnement électromagnétique prend naissance chaque fois qu'il y a déplacement d'une charge électrique. Lors du réarrangement de la structure électronique d'un corps (celle-ci ayant été préalablement modifiée), un électron revient à son niveau normal en libérant la quantité d'énergie supplémentaire qu'il possédait, sous forme d'une radiation électromagnétique.

Il s'agit, là d'une quantité d'énergie émise par un corps placé dans certaines conditions. Pour l'essentiel de ce qui nous intéresse ici, cette excitation préalable se traduit au niveau du corps considéré par de la chaleur, et les conditions cidessus sont des conditions de température. Notons qu'un corps placé dans les conditions telles que sa température soit supérieure à celle de son environnement, va émettre de l'énergie, sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Cette énergie se manifeste à nous de différentes manières, suivant sa longueur d'onde. C'est ainsi que les longueurs d'ondes comprises ^{entre} 0,4 et 0,8 microns correspondent aux radiations visibles.

Et c'est quand l'énergie rayonnée tombe sur un corps absorbant pour les longueurs d'ondes qui la composent qu'elle se transforme partiellement ou totalement en chaleur.

En conclusion, nous pouvons dire que le rayonnement, qui est le transfert d'une énergie nature particulière, non calorifique, fournit donc finalement grâce à cette dégradation, une transmission de chaleur.

1.3) Le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire est une superposition d'ondes les "longueurs" vont de 0,25 à 4 microns. Le rayonnement solaire global au sol est la sommation des distributions spectrales du rayonnement direct, du rayonnement diffus et du rayonnement réfléchi par le sol environnant.

1.3.1) Constante solaire: I_0

Pour la distance moyenne, séparant la terre au soleil ; l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires, situé hors atmosphère, et en ne tenant pas compte l'extinction atmosphérique est de l'ordre de $1,4 \text{ kw/m}^2$. Elle serait plus exactement de $1353 = 21 \text{ w/m}^2$. Selon les mesures récentes effectuées par satellite, elle serait de: 1380 w/m^2 . Cette valeur correspond donc au maximum de ce que peut capter l'appareil le plus sophistiqué placé dans les meilleures conditions et hors atmosphère.

1.3.2 Influence de l'atmosphère:

Lors de la traversée des différentes couches de l'atmosphère, le rayonnement solaire va subir un certain nombre d'altérations:

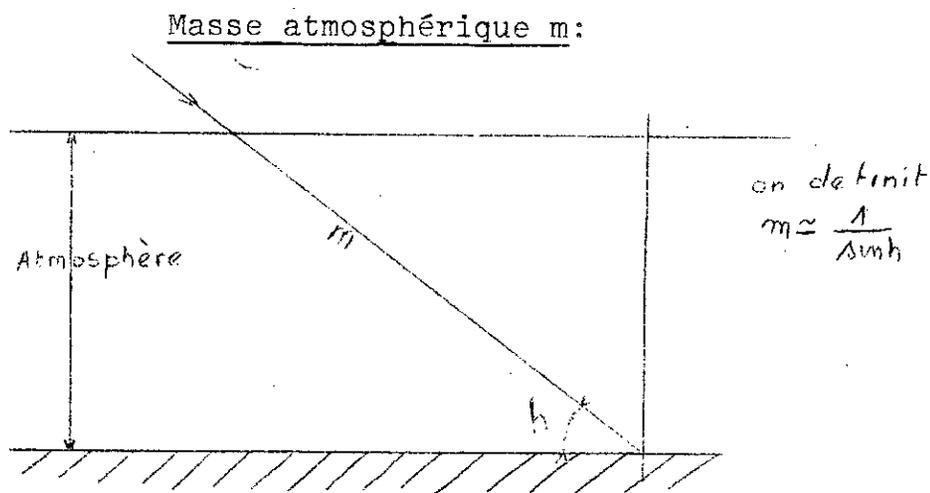
-Reflections sur les premières couches atmosphériques d'une partie du rayonnement qui est ainsi déviée vers l'espace.

-Diffusion moléculaire; provoquée la présence des molécules gazeuses (surtout pour l'ultra-violet et qui agit différemment selon la longueur du spectre.

-Absorption gazeuse, dû à certaines radiations du spectre.

-Diffusion par les aérosols, c'est à dire par les particules en suspension dans l'air, et qui agissent indifféremment sur toutes les longueurs d'onde.

La première conséquence de ces altérations est de réduire le rayonnement direct, dont la puissance au sol, sur une surface normale et dans les meilleures conditions climatiques n'est plus que de 1000 w/m^2 . Cet affaiblissement du rayonnement direct est d'autant plus important que l'atmosphère traversée est plus grande. On définit ainsi un coefficient sans dimension appelé masse atmosphérique ou masse aplique d'air m .



D'autres facteurs sont définis pour tenir compte des diverses causes d'affaiblissement.

Ce sont notamment :

b Coefficient du trouble (angström lié au nombre d'aérosols présents ($0 < b < 20$))

E : épaisseur réduite d'ozone ($0,1 \text{ cm} < E < 0,4 \text{ cm}$)

W : épaisseur d'eau condensable ($0,5 < w < 8 \text{ cm}$)

1.33. Le rayonnement direct:

C'est l'éclairement énergétique d'une surface receptrice perpendiculaire aux rayons solaires par le seul rayonnement provenant du disque solaire. Le rayonnement direct peut s'évaluer à partir de I_0 et en tenant compte des différents affaiblissements lors de la traversée de l'atmosphère. Ou bien, il est plus simple de définir, pour un lieu donné des "conditions atmosphériques normalisées" et en déduire I pour ces conditions. La relation (1) a été proposée:

$$I_{\psi} = I_0 [\sinh \cos \psi + \cosh \cos(a - a_N) \sin \psi]$$

a : Azimut du soleil à l'instant considéré.

h : Hauteur du soleil.

a_N : Azimut de la normale au plan

ψ : Angle du plan avec le plan horizontal.

1.3.4 Le rayonnement diffus.

C'est le rayonnement prélevé sur le rayonnement solaire direct pour les molécules ou particules diffusantes des couches atmosphériques les plus proches du sol.

Le rayonnement diffus ne possède pas de direction privilégiée et provient donc au sol en provenance de toute la voûte céleste. Ce sont les régions

Spectrales des courtes longueurs d'ondes qui sont le plus fortement diffusées.

Pour un plan d'inclinaison quelconque, la relation suivante a été proposée (1)

$$D_{\psi} = 0,065 (1 + \cos \psi) \cdot I$$

1.3.5 le Rayonnement réfléchi (diffusé)

par le sol environnant:

Ce rayonnement provient de la reflexion diffuse du sol, et qui interesse l'ensemble des rayonnement direct et diffus que ce dernier reçoit . La formule (1) approchée a été proposée:

$$R_{\psi} = 0,11 (1 - \cos \psi) \cdot I$$

1.3.6 Le Rayonnement global sur un plan quelconque.

L'addition des rayonnements I_{ψ} , D_{ψ} , et R_{ψ} , nous conduit à la formule (1) suivante:

$$G_{\psi} = I \left[\sin h \cos \psi + \cos h \cos (\alpha - \theta_{\psi}) \sin \psi + 0,065 (1 + \cos \psi) + 0,11 (1 - \cos \psi) \right]$$

cette relation approchée, nous permet d'obtenir un ordre de grandeur des apports aux quels on doit s'attendre, par ciel clair, pour des conditions normalisées, sur un plan de captation défini par ψ et α , à un instant donné caractérisé par la position du soleil h , et a

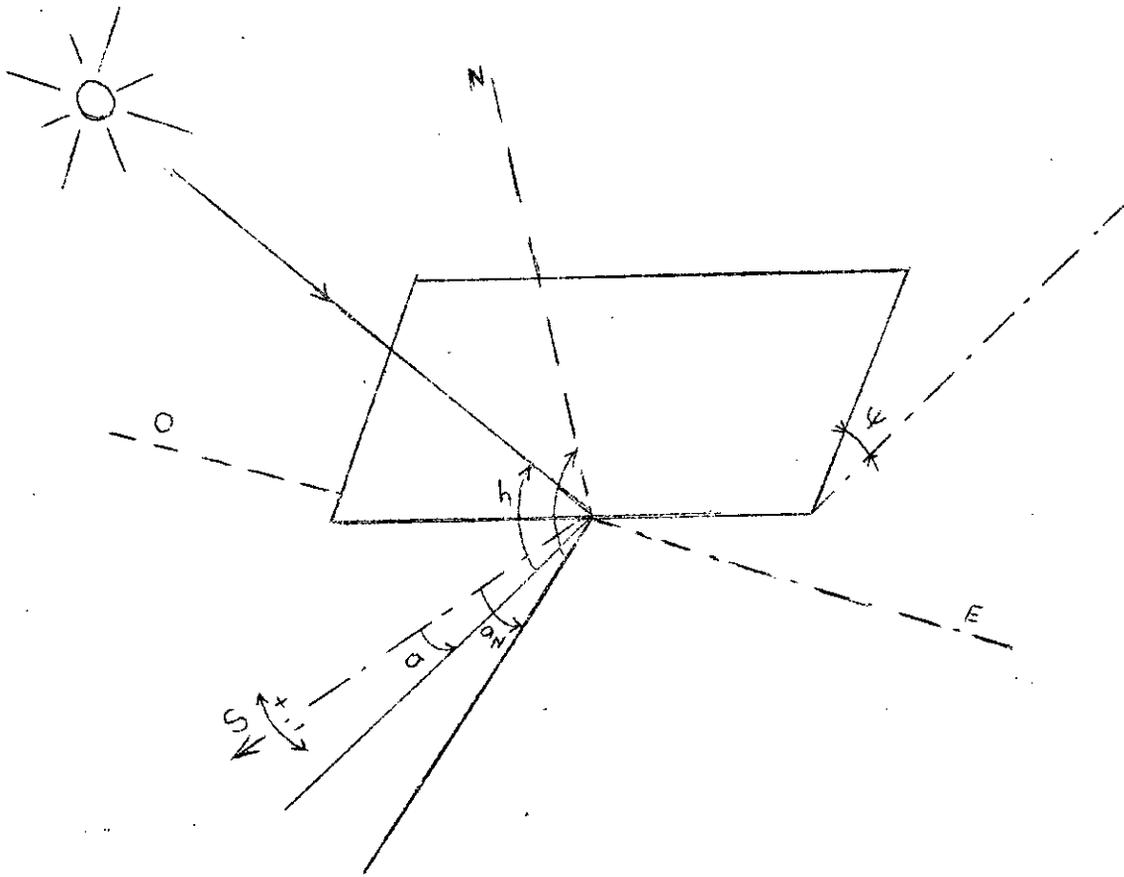
1.3.7 Fraction d'ensoleillement:

UNE fois le plan d'orientation choisi, il faut tenir compte du facteur d'ensoleillement.

-si SS_0 est la durée maximum d'ensoleillement en un lieu donné (défini par sa latitude φ) et à une époque de l'année (determinée par la déclinaison δ du soleil),

-si SS est la durée effective ce jour là :

Rayonnement solaire arrivent sur une
plaque d'inclinaison quelconque.



ψ : angle d'inclinaison sur le plan
horizontale.

α_w : Azimut de la normale en plan

α : Azimut du Soleil à l'instant considéré.

(qui peut être plus petite du fait de la nébulosité).

On définit le rapport : $\sigma = \frac{SS}{SS_0}$

1.4 Comportement des corps vis - à vis du rayonnement.

1.4.1 Généralités:

Un corps quelconque, échange en permanence, de l'énergie avec les corps qui constituent son environnement. Cet échange dépend, dans le cas général, des températures respectives des corps considérés: l'équilibre du système tendant à se réaliser, les corps les plus chauds cèdent de l'énergie au corps les plus froids.

1.4.2 Le corps noir:

On appelle corps noir, tout corps absorbant complètement tout rayonnement incident. C'est un corps complètement opaque le facteur de réflexion est nul pour toutes les radiations qu'elles qu'en soient les longueur d'ondes.

Un corps recouvert d'un pigment noir (noir de fumée, noir de platine) réalise approximativement un corps noir à la condition que ce pigment ne soit pas un barrage thermique.

Considérons un corps noir idéal, " émetteur", parfait à la température T, dans un milieu au zéro absolu, il va émettre un rayonnement dont la puissance par unité de surface est donnée par la loi de Stefan/

$$M_{CN} = \sigma T^4$$

σ : Coefficient de Stefan - Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/M}^2 \text{K}^4$)

Pour un corps quelconque placé dans les mêmes conditions de température que le corps noir, son émittance est

donnée par la formule:

$$M = \epsilon \sigma T^4$$

ϵ : Facteur d'émission (émissivité) du corps.

1.4.3 . Répartition spectrale de l'énergie émise.

Tout corps peut être considéré comme une source du rayonnement . Cependant l'énergie rayonnée n'est pas également répartie dans tout le domaine de ces longueurs d'onde. Cette énergie est maximum pour une longueur d'onde λ_m , déduite de la loi de Wien:

$$\lambda_m = \frac{2898}{T}$$

λ_m en microns lorsque T est exprimée en °K
Toute l'énergie est pratiquement concentrée dans le domaine délimité par les valeurs λ_1 et λ_2 telles que:

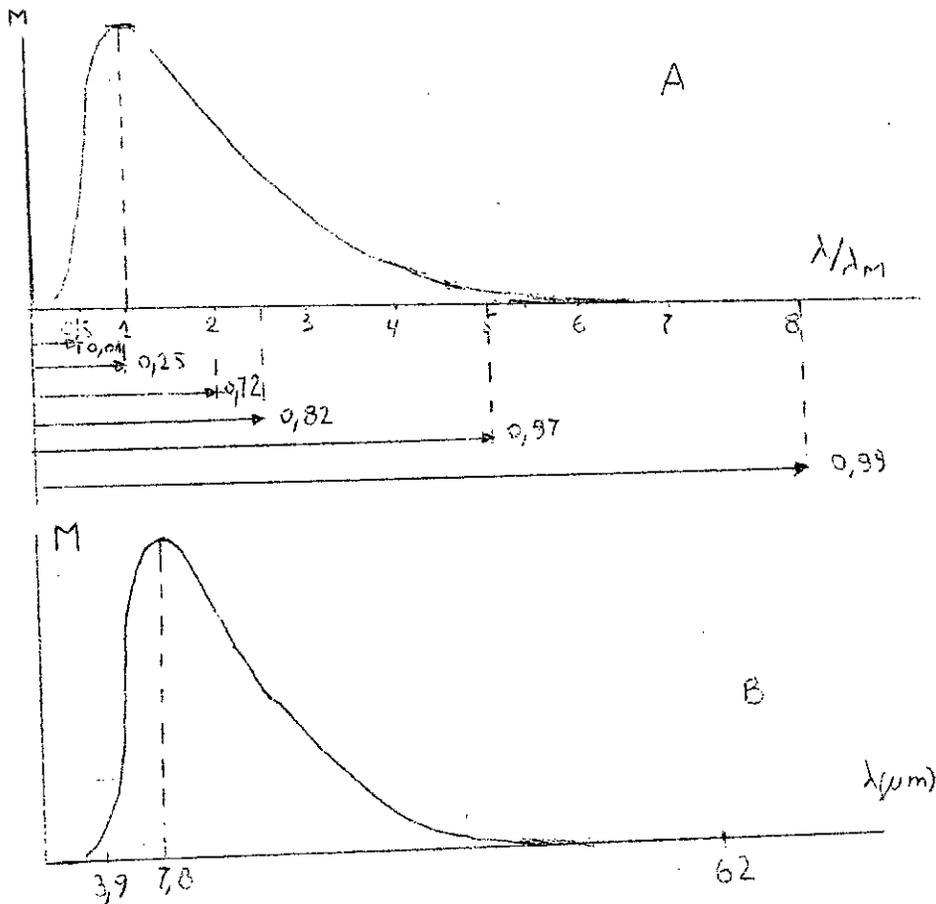
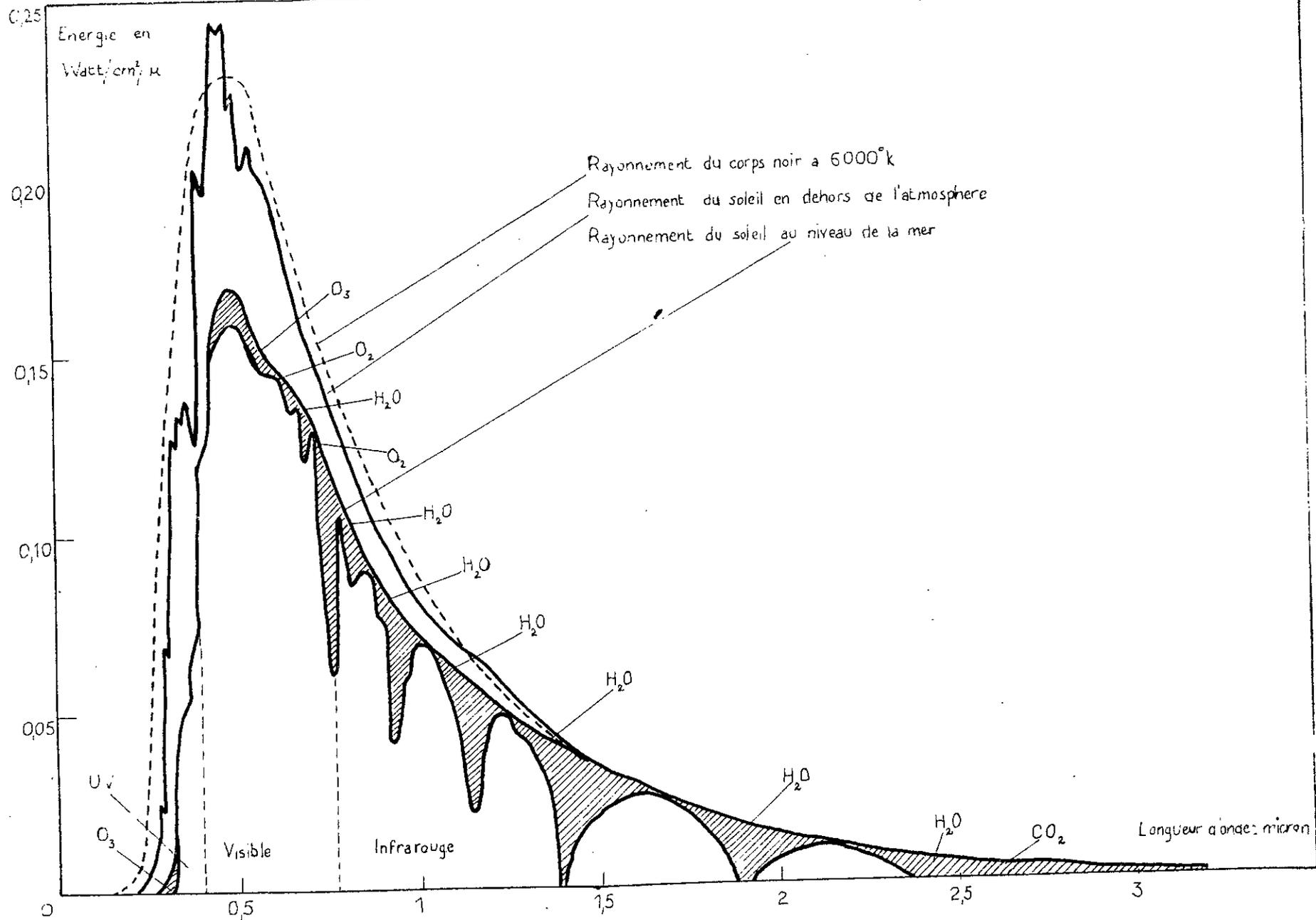


Fig A: Répartition spectrale de l'énergie émise par un corps noir à la température T

Fig B: Application à $T = 373^\circ K$ ($100^\circ C$)



1.4.4. Le Soleil

L'analyse du rayonnement parvenant du soleil montre que tout se passe comme si ce dernier se comportait comme un corps noir placé à une température comprise entre 5 800 et 6 000 K . Donc nous pouvons considérer le soleil comme tel placé dans ces conditions et lui appliquer la loi de stéphan.

$$M = \sigma T^4.$$

$$= 5,67 \cdot 10^{-8} (5800)^4 = 64 \cdot 10^6 \text{ w/m}^2.$$

le rayonnement émis est maximum pour les radiations voisines de:

$$\lambda_m = \frac{2898}{5800} = 0,5 \text{ um.}$$

L'énergie rayonnée est incluse dans la bande:

$$0,25 \leq \lambda \leq 4 \text{ um.}$$

Voir planche N° = 1

1.4.5. Mesures Solarimétriques

Pour l'exploitation de l'énergie solaire, on a besoin avant tout de connaître la valeur de l'énergie solaire reçue au sol . Les mesures solarimétrique ont pour but principal de dresser les cartes faisant apparaître l'intensité et la fréquence du rayonnement solaire.

Voir planche N° 2

a/ la déclinaison :

La déclinaison angulaire du soleil varie de manière presque sinusoidale en fonction de la date de l'année:

$$\sin \delta = 0,4 \sin t$$

t: correspond au nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe du printemps, multiplié par $\frac{360}{365}$ Facteur correctif.

La formule approchée suivante est proposée:

$$\sin \delta = 0,4 \sin 0,986 (J - 82).$$

J: correspond au quantième de l'année (depuis le 1er Janvier).

b/ Angle horaire du soleil AH:

L'Angle horaire est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe polaire: il est directement lié à l'heure solaire vrai.

Par convention, 0° correspond au passage du soleil au plan méridien d'un lieu: il est alors midi vrai^{au} soleil.

Ainsi à 06 h (temps solaire vrai), $AH = -90^\circ$
à 18 h (Temps solaire vrai), $AH = +90^\circ$

il ya parfaite symétrie par rapport à midi (T.S.V).

c/ Détermination de la hauteur angulaire du soleil h:

La hauteur du soleil est donnée par:

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cdot \cos AH$$

où ϕ : Latitude du lieu

δ : déclinaison du soleil

Ah: angle horaire du soleil

Pour un jour et un lieu donnés, la hauteur maximale du soleil à midi vrai, lors de son passage au méridien est donné par:

à midi vrai: $Ah = 0$.

$$\begin{aligned} \text{donc, } \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta = \cos(\phi - \delta) \\ &= \sin\left(\frac{\pi}{2} - \phi + \delta\right) \end{aligned}$$

$$\text{et } h_{\max} = \frac{\pi}{2} - \phi + \delta$$

d/ Appareils de mesure:

-Le pyranomètre mesure le rayonnement global reçu par une surface plan. Dans ce cas, le rayonnement global G se compose le rayonnement direct S et du rayonnement diffusé par l'atmosphère D. Nous avons ainsi $G = D+S..$

Si Z est la distance zenithale du soleil et I le rayonnement solaire direct, on a:

$$S = I \cos Z \quad G = I \cos Z + D.$$

Pour effectuër les mesures dans de telles conditions l'appareil doit être capable de recevoir le rayonnement dans toute hémisphère.

Cet appareil peut être accompagné d'un enregistreur ou d'un dispositif intégrateur (appareil à la S.E.S avec lequel nous effectuons les mesures).

Il existe d'autres appareils, citons:

-Le pyrhéliomètre: permet de mesurer l'énergie reçue par une surface exposée perpendiculairement aux rayons du soleil. (Ryt. Direct).

Le pyranomètre à thermopile: mesure le rayonnement diffus par l'atmosphère et, éventuellement le rayonnement direct.

e/ Mesure de la durée d'ensoleillement:

Divers dispositifs sont actuellement en usage:

-Un dispositif photoélectrique composé de 3 cellules, l'une est exposée au soleil, l'autre est cachée par un écran qui masque le soleil direct. Ces deux cellules sont branchées en opposition sur un enregistreur, un courant apparaît seulement en présence du soleil.

-Héliographe:

c'est un appareil , composé d'une sphère de verre, qui agissant comme une lentille, concentre le rayonnement en un point sur un papier spécial qui brûle. Quand le soleil se déplace le point brûlé trace une courbe dont la longueur est proportionnelle à la durée d'insolation. On peut apprécier également l'intensité du rayonnement d'après l'aspect de la partie brûlée.

Quelques indications sur la région de Bouzaréah:

Altitude: 345m

Latitude: 36°48'04"8 Nord

Longitude: 0 h12'08"58 Est

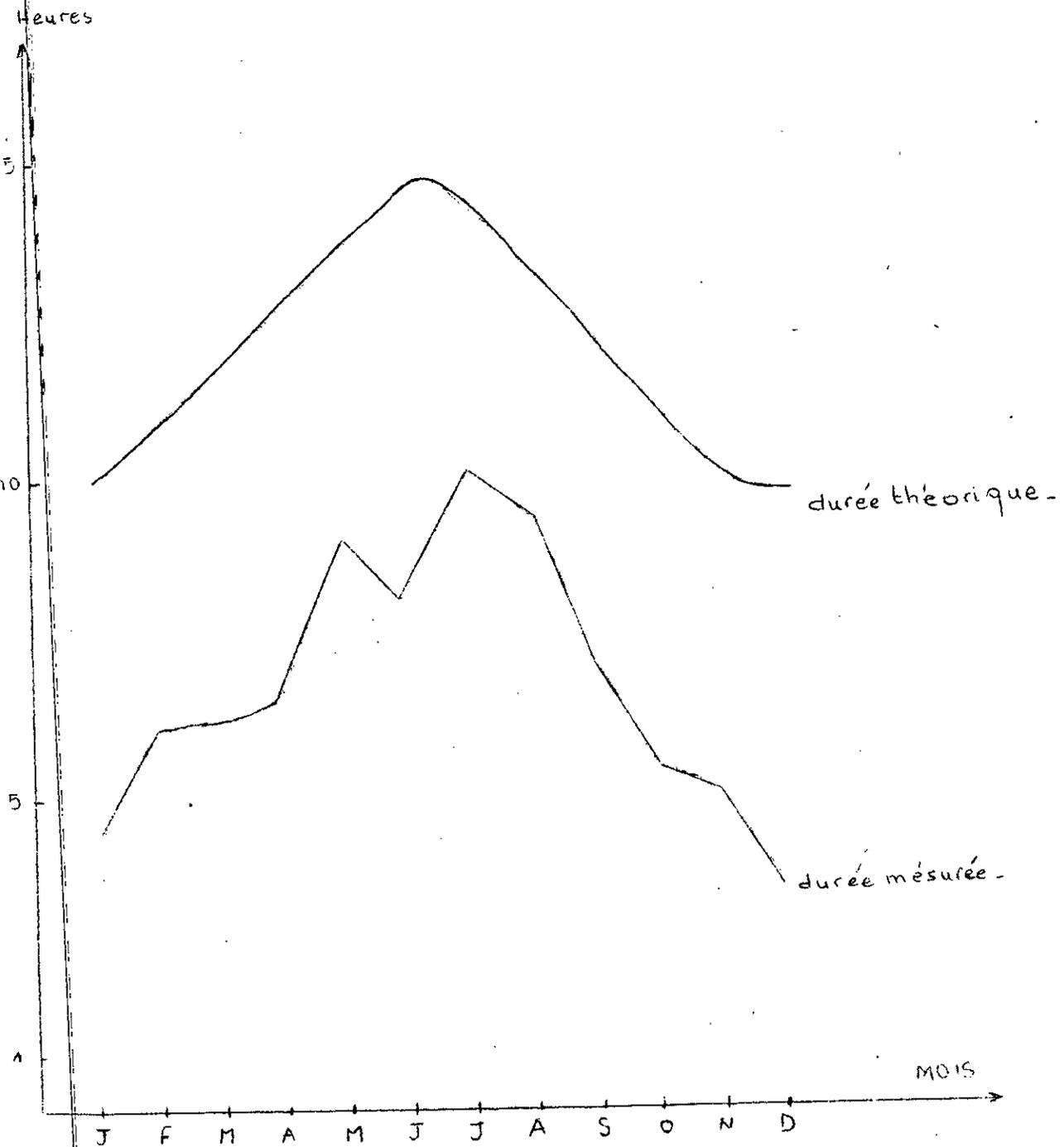
Durée moyenned'insolation: 28200s (Mai-juin-Juillet-Août)

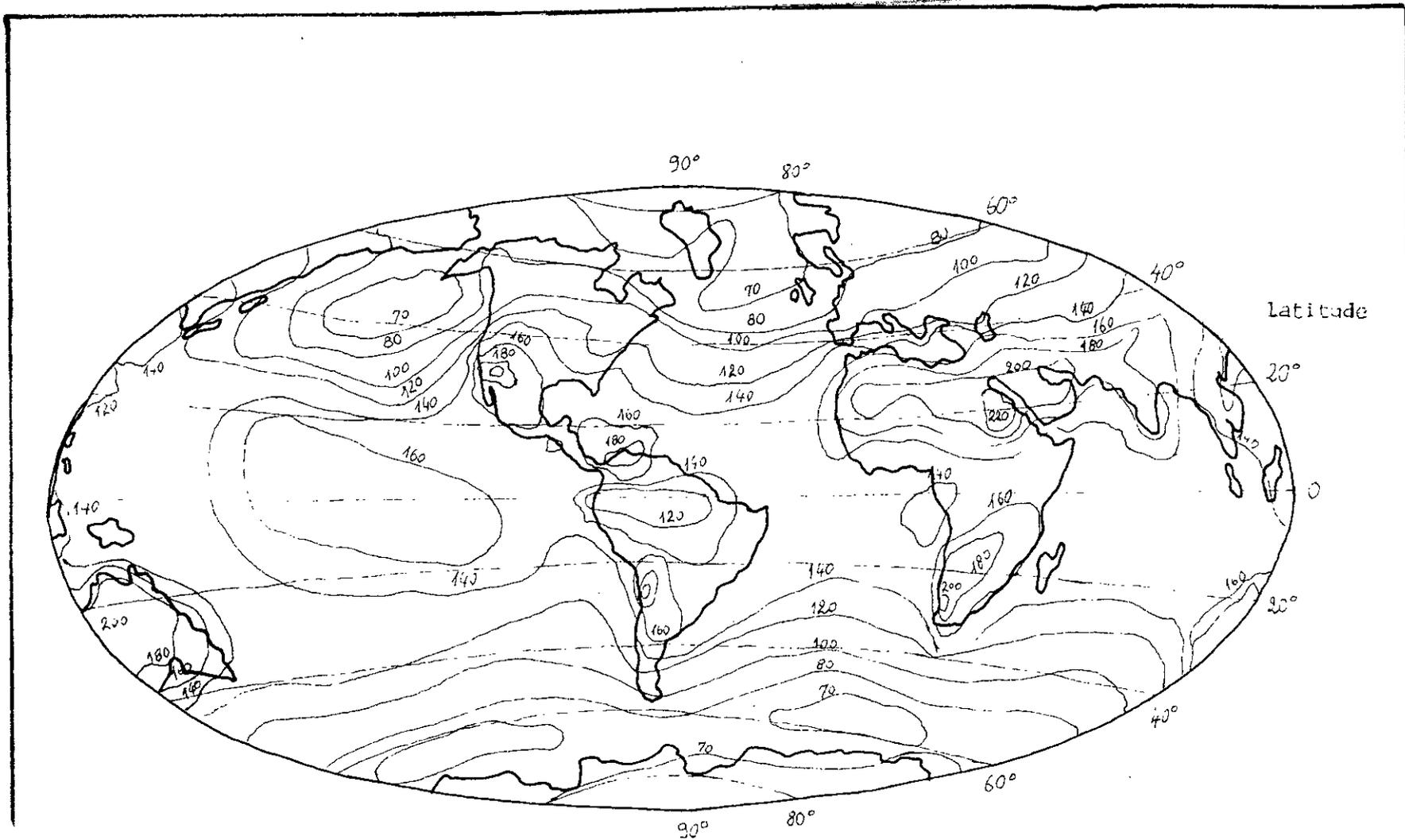
Br. atm. moyenne: /

Temp. amb. annuelle: /

Puissance moyenne annuelle : 2244,6 J/cm²

Moyenne des heures d'insolation à
Bouzaréah.
(années 1950 à 1961).





— Courbes d'égal irradiation annuelle E_g de la terre au niveau du sol. Les cotes portées correspondent à l'irradiation moyenne journalière exprimée en $10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$ (\leftrightarrow) $115,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (\leftrightarrow) $3,65 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$.

2° APPLICATIONS DE L'ENERGIE SOLAIRE

" LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE "

2.1) INTRODUCTION:

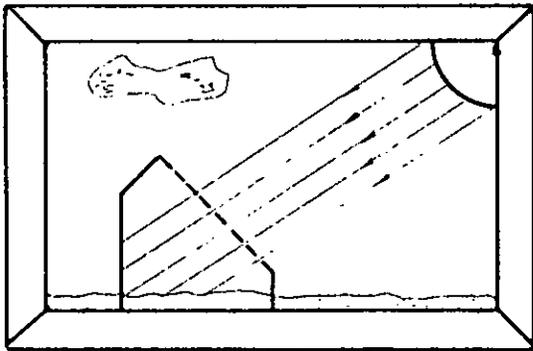
Les applications de l'énergie solaire sont nombreuses et variées. Parmi elles, citons le chauffage des habitations, des piscines, des serres, la production d'eau chaude sanitaire, la distillation solaire le four solaire...

De toutes les utilisations possibles de l'énergie solaire, le chauffage de l'eau à usage domestique est le plus immédiat et le plus simple.

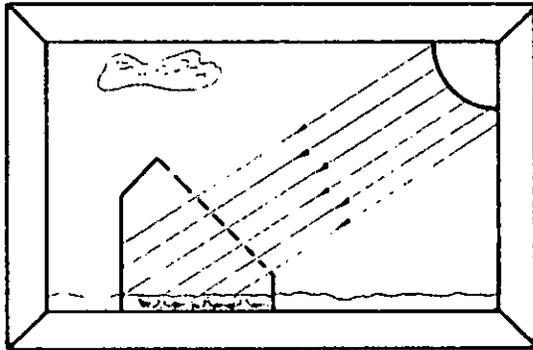
Dans cette partie, avant d'aborder l'étude du chauffe-eau, nous donnerons un aperçu sur l'effet de serre, la conversion thermique et le stockage de l'énergie solaire.

Ensuite nous préciserons les éléments qui ont déterminé notre choix pour la solution adoptée (capteur plan à lame d'eau). Nous évoquerons le rôle des différents constituants des capteurs plans.

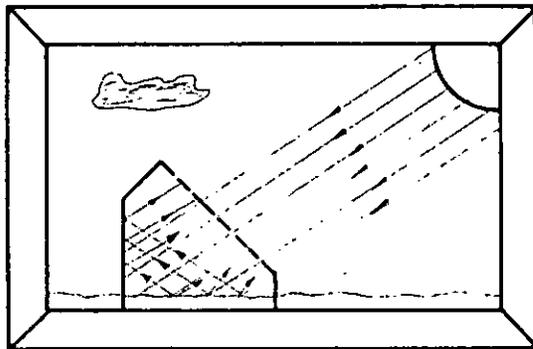
Enfin, nous ne saurions terminer sans citer les différents types de capteurs plans.



Les rayons traversant le verre pénètrent à l'intérieur.



Les rayons sont en partie absorbés : la surface noire s'échauffe.



La surface noire chauffée rayonne à son tour.
Les radiations thermiques sont émises sous forme de grandes longueurs d'onde.

L'EFFET DE SERRE EN 3 TABLEAUX

2.1.1 L'effet serre:

L'effet de serre consiste à emprisonner l'énergie apportée par le rayonnement solaire. Un corps placé au soleil s'échauffe, mais reperdra par rayonnement une partie de l'énergie gagnée. Ce rayonnement se fera dans des longueurs d'ondes de 6 à 10 microns alors que la plus grande partie du rayonnement solaire est comprise entre 0,2 et 2 microns de longueur d'onde.

Si on place au dessus de ce corps une couverture transparente au rayonnement solaire mais opaque aux rayonnements de grande longueur d'onde, on aura constitué un véritable piège à rayonnement, c'est ce que l'on appelle l'effet de serre...

Le verre permet de créer un tel effet car il est presque totalement transparent aux rayonnements de longueurs d'onde inférieure à 3 microns et opaque pour des longueurs d'onde supérieures.

L'effet de serre permet de limiter les pertes par convection forcée dûes aux courants d'air.

2.1.2 Conversion thermique (2).

a/ Généralités.

L'énergie solaire peut être convertie en chaleur en électricité en énergie chimique et en énergie mécanique. Mais il faut distinguer les procédés directs et indirects (3). Les conversions directes comprennent les conversions photothermique, photoélectrique, photobiologique et photochimique.

Les conversions indirectes utilisent la voie thermique et comprennent, d'une part les opérations purement thermiques qui ne font intervenir ^{que} des échanges de chaleur, et d'autre part, les opérations thermodynamiques

pour les quelles on fait d'intervenir une source chaude et une source froide. Avec ses opérations thermodynamiques, l'énergie apparaît sous forme thermique ou mécanique (avec utilisation d'un fluide ou bien sous forme électrique (thermoélectricité, thermo-ionique).

b/ Conversionⁿ photothermique:

La conversion photothermique consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur. Cette conversion comporte des applications très diverses et très éloignées les unes des autres au point de vue des températures d'exploitations. C'est en effet, le type de conversion qui est réalisée dans les fours solaires (2500°C pour les fours à très haute température) les chaudières solaires (500°C environ), ou pour la distillation solaire, le décharge agricole, le chauffage de l'eau ou de l'air pour des usages domestiques.

c/ Conversion thermique:

Tout le gaz porté à une température très élevée, supérieure à 2000°C, s'ionise spontanément en formant un plasma. Cette ionisation peut être obtenue grâce au rayonnement solaire, qui permet d'atteindre les hautes températures.

d/ La conversion photoélectrique:

Cette méthode consiste à exploiter le caractère quantique du rayonnement électromagnétique solaire et infrarouge pour exciter des charges électriques, les séparer en charges positives et négatives et les amener à fournir un travail dans un circuit extérieur avant de se recombinaer.

Nous citons comme exemple les photopiles solaires constituées de couples semi conducteurs qui permettent la conversion du rayonnement intégral en énergie

électrique avec un rendement déjà de l'ordre de 10%

e/ La conversion photobiologique

La photosynthèse chlorophyllienne se réalise dans les plantes vertes en utilisant le gaz carbonique de l'atmosphère et il se dégage de l'oxygène. Cette photosynthèse n'utilise dans le spectre solaire que le rayonnement visible et le rayonnement du proche ultra-violet, la zone d'absorption par les pigments actifs des plantes s'étendent sur les longueurs d'onde de 0,35 à environ 0,7 micron.

Dans les molécules d'hydrates de carbone des plantes vertes de l'énergie ex-solaire se trouve stockée sous forme d'énergie de liaison entre atomes de carbone et atomes d'hydrogène. Pour obtenir par ce moyen des produits énergétiques, la culture intensive d'algues monocellulaires du type "algues énergétiques" est préconisée. Il est facile de procéder à une production accélérée d'algues, dans des "insolateurs biologiques" en milieu contrôlé, avec mesure de la température de la teneur en gaz carbonique, dont le séchage par voie solaire permettra de stocker l'énergie ex-solaire sous formes chimiques. On pourra alors utiliser les algues sèches comme combustibles ou bien les soumettre à la fermentation par digestion anaérobie pour produire du méthane.

f/ La conversion chimique

L'utilisation du rayonnement solaire en chimie peut prendre plusieurs aspects:

- déplacement d'équilibres chimiques par voie thermique
- synthèse chimique mettant en oeuvre une étape photochimique
- Synthèse de composés riches en énergie par voie photochimique

Ce type de conversion est essentiellement représenté

par la production d'une matière énergétique appelée à un grand avenir : l'hydrogène.

L'hydrogène peut être obtenu, soit par décomposition de la valeur d'eau, à une température de l'ordre de 1000°C et avec l'aide d'un catalyseur, soit par électrolyse de l'eau. en effet, l'hydrogène intéresse de plus en plus en raison de son pouvoir calorifique très élevé, de ses propriétés réductrices et de sa qualité de combustible non polluant; de plus il est facile à transporter et à stocker.

g/Transformations thermodynamiques:

Basse température: à partir des collecteurs solaires plans, le fluide caloporteur conduit la chaleur vers l'unité de conversion qui peut-être une machine thermique à bas rendement (moteur, pompe, générateur.....)

Température moyenne:

La mise en oeuvre de miroirs convergents fixe ou mobile permet de produire de la vapeur à 120 150 °c pour les microncentrales

Haute température:

C'est une solution pour produire de l'électricité à grande échelle consiste à alimenter une turbine par de la vapeur produite en concentrant le rayonnement solaire sur une chaudière. Les températures de fonctionnement sont de l'ordre de 300 à 600°C.

2.1.3. Le stockage (4)

L'énergie solaire permet de résoudre en partie le problème dans l'espace de l'énergie produite puisque, étant disponible partout, elle:

-Évite d'une part la concentration en quelques points de la production d'énergie et partant à recourir à un réseau complexe de distribution jusqu'à l'utilisateur final.

relativement élevé. Ces procédés indirects sont:

- Production d'électricité durant les périodes creuses (le jour pour le soleil), afin d'accumuler de l'air comprimé que l'on stockera dans des excavations souterraines et que l'on injecterait dans les turbines à gaz pendant les périodes de nuit ou de forte nébulosité;

- Production d'électricité durant les périodes creuses afin d'emmagasiner dans certaines roches souterraines (sels fondus par exemple) de la chaleur, laquelle serait retransformée en énergie électrique la nuit;

- Production d'électricité durant les périodes creuses afin de pomper de l'eau qui serait accumulée dans des réservoirs le plus haut possible et retransformée en électricité pendant la nuit dans des centrales hydrauliques.

- Production d'électricité durant les périodes creuses afin de la stocker dans des batteries du type zin-cair..

- Production d'électricité durant les périodes creuses en vue de la convertir en énergie mécanique qui serait stockée dans des volant d'inertie puis reconvertie la nuit en électricité...

Mais l'électricité, à la différence des combustibles fossiles utilisés comme vecteurs, est difficile à transporter et à stocker. On peut donc s'efforcer de concilier les avantages de l'électricité au stade de l'utilisation avec les vecteurs liquides ou gazeux au stade du transport et du stockage, en transformant l'électricité produite par les centrales solaires en liquide ou gaz que l'on transporterait et stockerait à volonté et qui, pourrait être reconverti en électricité

Le gaz retenu devra être plus maniable que n'est l'air comprimé ou la chaleur. Des espoirs se fondent pour utiliser à ces fins l'hydrogène.

-Permet d'autre part l'utilisation sur place pour un grand nombre d'applications "décentralisées et qui n'exigent pas de fortes puissances la plus part du temps.

par contre le problème du transport dans le temps, c'est à dire du stockage se pose dans certains cas avec acuite en raison de phénomène d'intermittence du rayonnement solaire.

Certes, pour toutes les applications de l'énergie solaire qui ne nécessitent pas une conversion de cette énergie primaire en énergie secondaire, le problème du stockage peut-être assez facilement résolu dans la mesure où il se pose à petite échelle. Il s'agit par exemple d'applications telles que le chauffage d'un fluide (liquide ou gazeux), la distillation de l'eau ou la culture par serre. Il suffira de prévoir simplement des procédés d'emmagasinement de la chaleur pendant la nuit ou les périodes de forte nébulosité: le piégeage des calories est certes un problème, mais il peut-être résolu grâce à un stockage sous forme thermique dans des empilages réfractaires susceptibles de restituer la chaleur emmagasinée (cas du chauffage ou par des dispositifs calorifugés. Dans certains cas le problème ne se posera même pas : on distillera suffisamment d'eau le jour pour en disposer la nuit... Le problème du stockage pourra trouver également une solution satisfaisante dans le cas de procédé de conversion à petite échelle de l'énergie solaire, qu'il s'agisse d'une conversion en énergie mécanique ou d'une conversion en énergie électrique. Il suffira par exemple dans le cas d'une conversion mécanique (pompe solaire) de faire fonctionner le moteur suffisamment longtemps durant les périodes ensoleillées pour emmagasiner la quantité de produit nécessaire à la satisfaction des besoins en période d'absence du

du soleil , et dans le cas d'une conversion électrique de recourir à un stockage par batteries.

D'une façon générale le problème est soluble dans le cas d'applications à petite échelle, Il l'est également dans le cas de la conversion à grande échelle par photosynthèse puisqu'il suffit de stocker les végétaux pour que la production de combustible ne subisse pas de rupture.

Le problème du stockage se posera en revanche au niveau de la production à grande échelle d'électricité à partir de l'énergie solaire, bien que ce problème n'est pas spécifique à l'électricité d'origine solaire. Il demeure posé pour la production d'électricité par les centrales classiques et les centrales nucléaires. L'absence de moyen de stocker économiquement l'électricité conduit à prévoir un parc très important de centrales les centrales servant à satisfaire la demande de pointe devant en outre généralement pouvoir être mise en service très rapidement.

Il serait donc faux de croire que le problème du stockage est un problème particulier à l'énergie solaire: on peut dire seulement que ce problème est contourné dans le cas du nucléaire ou du fuel , du charbon et du gaz par la mise en place d'une capacité de production plus importante -alors qu'il doit être résolu dans le cas du solaire puisque l'intermittence du rayonnement solaire fait que la production d'électricité est impossible dans certaines périodes.

Il existe toute fois un certain nombre de procédés indirects permettant de stocker l'électricité mais outre le fait , que de tels procédés , qui engendrent un certain nombre de conversion, conduisent à des pertes énergétiques non négligeables, il n'est guère dans l'état actuel de la technologie de les envisager comme une solution généralisable compte tenu de leur coût

l'ère de l'hydrogène.

Pour l'instant, la thermochimie a pris le pas en bénéficiant des progrès réalisés par l'énergie nucléaire.

En effet, la décomposition de l'eau en oxygène et hydrogène peut constituer le vecteur d'énergie d'avenir. Ces cycles qui ont été développés pour stocker la chaleur des centrales nucléaires, donnent déjà à l'énergie solaire une ouverture sur grande échelle.

Si les systèmes thermiques, mécaniques et électriques sont propres parcequ'ils ne libèrent aucune matière polluante et ne consomment aucun atome d'oxygène, les systèmes de conversion chimique basés sur le cycle H_2/H_2O produisent dans des conditions égales au moins 100 fois plus d'oxygène que le champ le plus vert par photosynthèse.

L'hydrogène sans être une source d'énergie nouvelle constitue un vecteur de choix pour l'énergie solaire et nucléaire. De même, l'hydrogène est une matière de base pour la chimie, la sidérurgie, les engrais, la propulsion...

Contrairement, par exemple à l'électricité, l'hydrogène est stockable et transportable en quantités massives sans pertes notables. Il n'est pas toxique et représente moins de risques que tout autre combustible.

Autres formes de stockages

Le stockage thermique utilise aussi la chaleur sensible des corps, la chaleur latente ou la combinaison des deux.

-Stockage dans des matériaux inertes (chaleur sensible).
les différents matériaux utilisés sont surtout l'eau, les pierres et les métaux.

A titre d'exemple, signalons que pour une élévation de température de $20^\circ C$ de 1 dm^3 d'eau, de pierres, de cuivre,

On accumule respectivement 20; 8 ; et 17,8 kcal

L'eau semble être une forme de stockage privilégiée, tant du point de vue thermique que économique mais l'obligation d'utiliser un réservoir peut faire baisser l'intérêt économique.

Néanmoins, c'est l'eau qui est utilisée à l'heure actuelle, elle joue en même temps le rôle de fluide caloporteur dans le système de chauffage.

-Stockage sous forme de chaleur latente.
Les matériaux changent de phase en s'échauffant. La chaleur absorbée est ensuite récupérée lors de la transformation inverse.

On utilise surtout les sels hydratés- les corps organiques (paraffines et les mélanges entectiques organiques.

LE CHAUFFE - EAU SOLAIRE

2.2 Le chauffe - eau solaire

Le chauffe - eau solaire peut -être considéré comme l'une des applications rentables de l'énergie solaire.

Le chauffe-eau est constitué des éléments suivants; (5).

a/ Le circuit primaire:

Le circuit primaire, destiné à capter et à transporter les calories solaires est composé de:

- Un capteur plan à effet de serre.
- Un échangeur de chaleur (evitant de faire passer l'eau sanitaire dans les capteurs)
- Les tuyauteries de raccordement
- Un liquide caloporteur.

L'ensemble est, généralement, aménagé pour que la circulation se fasse naturellement par thermosiphon. Dans ce cas un clapet empêche éventuellement la circulation de ce liquide lorsque la température au capteur est inférieure à la température de l'échangeur.

La circulation du fluide peut également être assuré^e par circulateur.

Dans le cas de notre chauffe-eau, la circulation du fluide caloporteur est assurée par thermosiphon.

o/ Le circuit secondaire:

Le circuit secondaire, servant à chauffer et stocker l'eau de consommation, comprend:

- Un réservoir de stockage, d'eau chaude, calorifugé.

- Un échangeur de chaleur.
- Un dispositif de appoint de chaleur éventuellement.
- Les dispositifs de raccordement à l'alimentation du réservoir en eau de consommation (par le bas) aux robinets de prélevement (par le haut).

2.2.1 Les capteurs plans:

L'insolateur plan est un appareil qui capte par une surface plane et fixe le rayonnement (direct et diffus) qui est absorbé et transformé en chaleur. Sous la surface moircie se trouve le circuit caloporteur.

Les composants essentiels des capteurs plans sont les suivants.

- Une surface absorbante (absorbeur)
- Isolation thermique latérale et arrière
- Une couverture transparente en avant de l'absorbeur (verre).
- Un circuit caloporteur situé sous l'absorbeur et destiné à évacuer les calories produites vers le lieu d'utilisation
- Le boîtier.

a/ Rôle des différents constituants:

L'absorbeur: le rôle essentiel de l'absorbeur est de réaliser en un lieu choisi et dans les meilleures conditions possibles les fonctions suivantes:

- Intercepter le maximum de rayonnement (direct et diffus) pour un volume de capteur donné.

↳ Absorber la plus grande part de ce rayonnement.

RAYONNEMENT SOLAIRE

PERTES

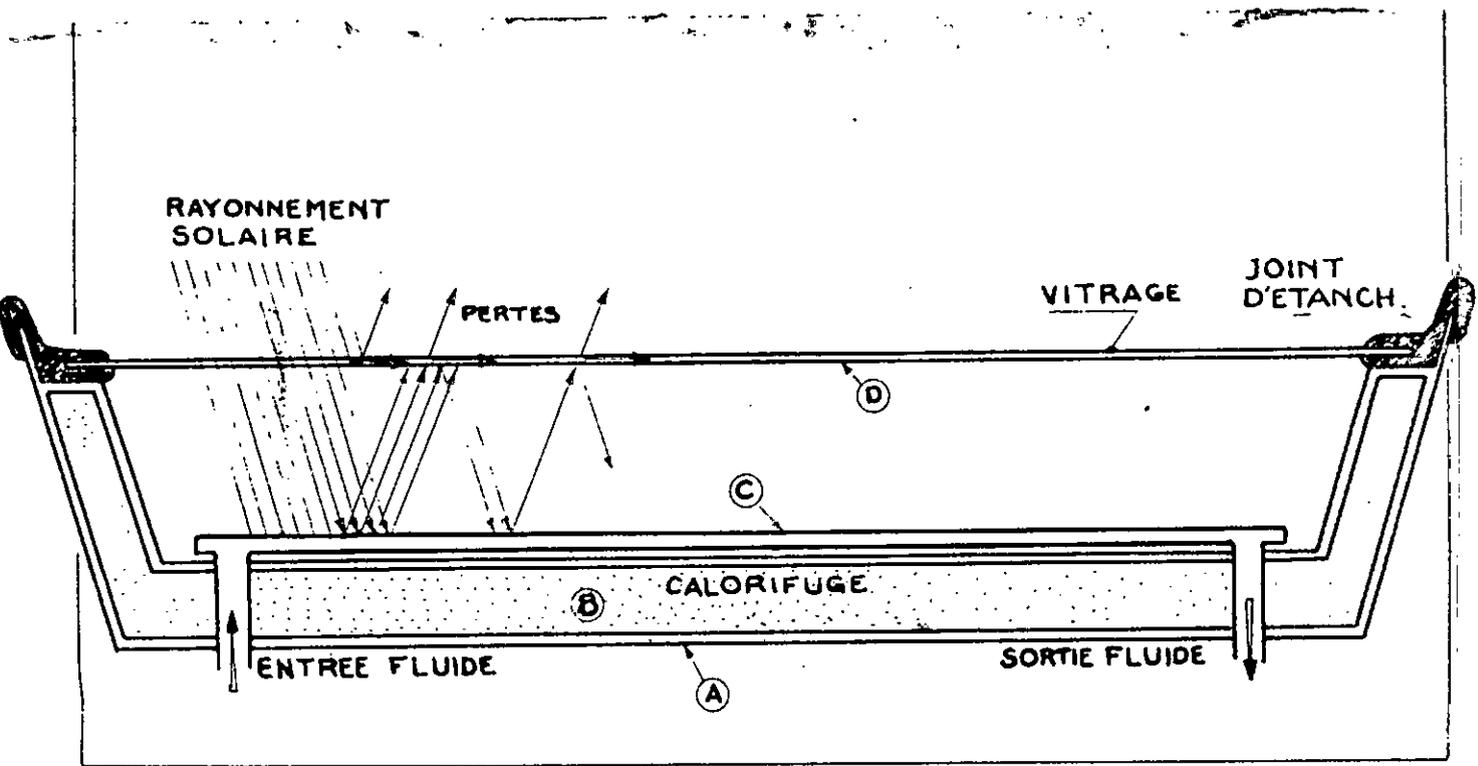
VITRAGE

JOINT D'ETANCH.

CALORIFUGE

ENTREE FLUIDE

SORTIE FLUIDE



-Transmettre la chaleur produite par cette absorption vers le circuit caloporteur.

-Ne consentir que le minimum d'échanges thermiques vers l'extérieur.

Les critères énoncés exigent que l'absorbeur soit réalisé avec un matériau bon conducteur thermique présentant une surface ayant un coefficient d'absorption le plus élevé possible.

-Circuit caloporteur: son rôle consiste à transférer la chaleur produite dans l'absorbeur au fluide caloporteur. Ce transfert pose deux problèmes.

-Assurer "l'irrigation" la meilleure de l'ensemble de la surface absorbante.

-Assurer le meilleur transfert thermique entre la paroi et le fluide.

-La couverture transparente (Verre):

Le rôle de la couverture permet de réaliser une isolation de la face avant de l'absorbeur. Cette isolation a le comportement particulier suivant:

-Laisser se produire le maximum d'échange d'énergie dans le sens de l'environnement vers l'absorbeur.

-S'opposer à tous les échanges inverses: de l'absorbeur vers l'environnement: c'est la réalisation de l'effet de serre.

-Isolation arrière:

L'isolation arrière ne pose pas de problèmes. L'utilisation des isolants classiques permet de résoudre ce problème. Dans le domaine de nos températures, la laine de verre suffit amplement.

47 45

2.2.2 Conception de l'absorbeur:

a/ Pour notre chauffe-eau.

La solution adoptée est un convertisseur à "lame d'eau", dans lequel le circuit caloporteur est une boîte mince dont une paroi constitue l'absorbeur. La "lame d'eau" a une épaisseur de 3 mm. Ce système présente, outre la simplicité de fabrication, l'avantage de conférer un excellent transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur. Le contact thermique se fait sur toute la surface de l'absorbeur et la résistance thermique résultante est faible.

Cependant, l'inconvénient majeur réside dans le fait que "l'irrigation" de tout l'absorbeur n'est pas assurée convenablement. La circulation du fluide n'est pas homogène sur toute la surface, il pourrait résulter des portions d'absorbeur où la circulation du fluide est presque nulle, et où la chaleur produite par l'absorption du rayonnement solaire n'est pas utilisée: la température locale est plus élevée et les pertes thermiques plus importantes.

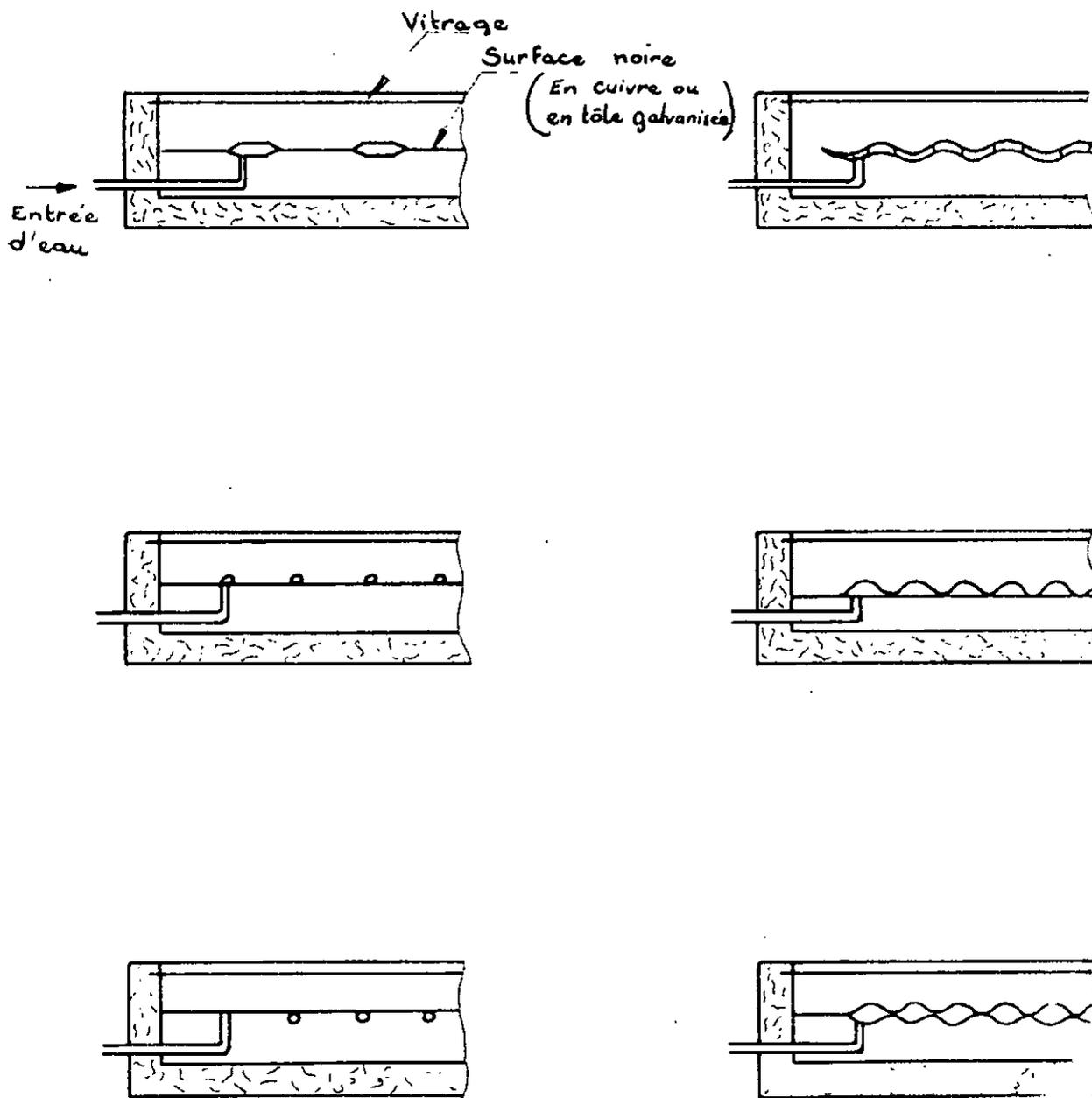
L'organisation rationnelle de cette circulation pose des problèmes. Diverses solutions ont été proposées dans le but d'assurer:

-Le meilleur transfert conductif absorbeur fluide caloporteur.

-Une construction simple

b/ Quelques types de capteurs plans:

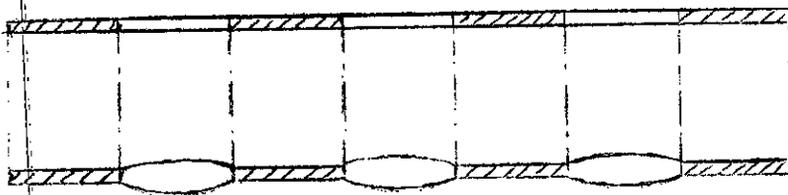
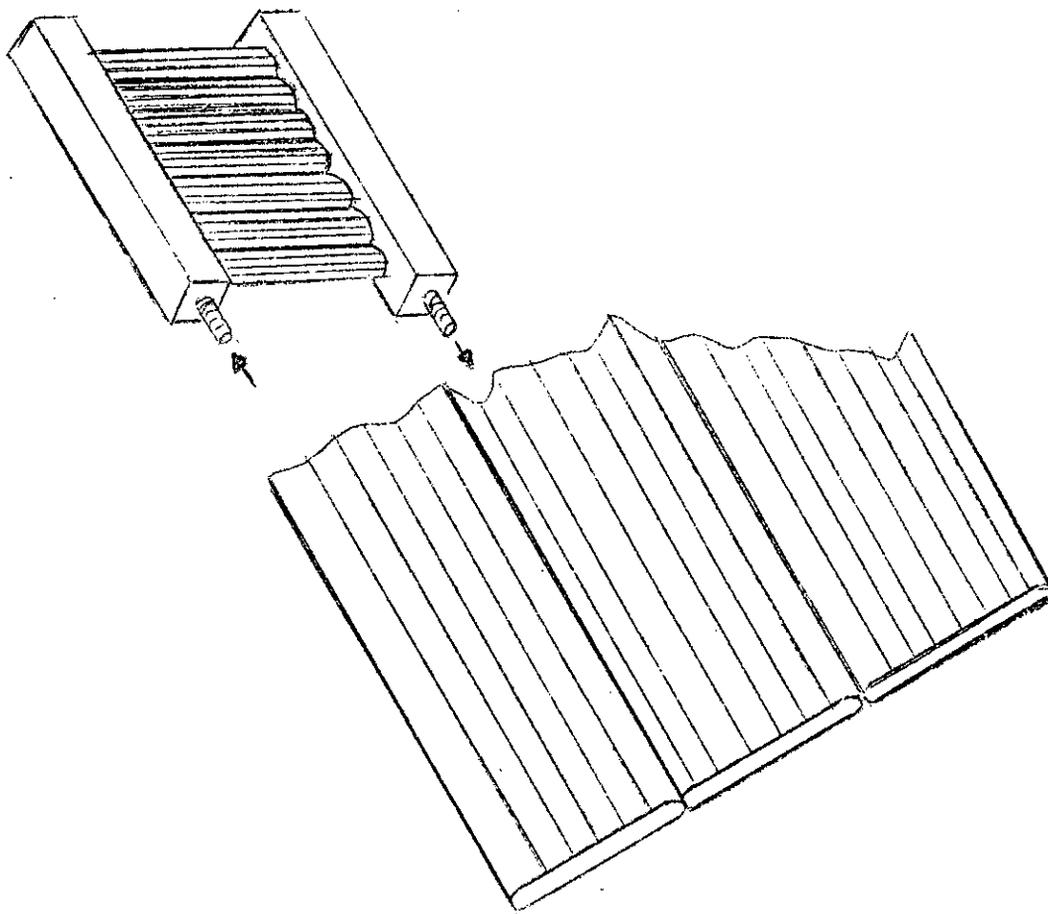
Chacune des solutions présente avantages et inconvénients liés au transfert thermique et aux problèmes de construction que seule une étude comparative peut déceler.



QUELQUES TYPES DE CAPTEURS
PLANS.

Citons quelques types de capteurs plans permettant une circulation plus rationnelles: capteurs à tubes.

Il existe différentes variantes. Le principe est toujours le même : les tubes sont placés au fond d'un bac plat. Ils sont recouverts d'une fine couche de peinture absorbante (noir de hougie) ou bien recouverts d'une tôle mince conductrice.



17
14 HAPTTRE II

2. 1A ALCUL THEORIQUE

Notations utilisées pour l'estimation de l'apport
de chaleur.

Symboles	Signification	Unités.
C:	Facteur optique de l'insolateur	Sans
Cp:	Capacité thermique massique du fluide caloporteur.	J/kg.K
En:	Composante normale au capteur de la densité de flux solaire incident	W/m ² .
F1:	Facteur caractérisant la qualité du transfert de chaleur entre l'absorbeur et le fluide	Sans
L /	Longueur de l'absorbeur	metre
Hc:	Coefficient de conversion entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.	W/m ² °K.
K :	conductance global des pertes thermiques du capteur	W/m ² ok.
Kx:	Conductance des pertes locales du capteur, à la distance x de l'entrée de l'appareil.	W/m ² °K
M :	débit massique du fluide caloporteur	Kg/s.m ² .
Qu:	Puissance utile extraite par unité de surface de l'absorbeur	W/m ²
Qp:	Pertes globales du capteur.	W/m ² .
Qn:	Puissance absorbée par l'unité de surface de l'absorbeur Qn= CEn	W/m ²
Ta:	Température extérieure ambiante	°K.
Tfe :	Température d'entrée du fluide caloporteur	°K.

Tfs:	Température de sortie fluide caloporteur	°K.
Tcx:	Température locale de l'absorbeur à la distance x, de l'entrée de l'appareil	°K.
Tfx	Température locale du fluide caloporteur à la distance x de l'entrée de l'appareil	°K.
Kav:	Conductance avant del l'insolateur	W/m ² °K
Kar:	Conductance arrière de l'insolateur	W/m ² °K
ΔT:	Tfs - Tfe.	°K

2.1.) Energie fournie par l'insolateur plan:

D'une manière générale, la puissance absorbée par unité de surface de l'absorbeur se décompose en puissance utile récupérée par le fluide caloporteur et les pertes. On peut écrire:

$$Q_n = Q_u + Q_p$$

$$\text{D'où : } Q_u = Q_n - Q_p$$

$$\text{avec : } Q_n = C E_n$$

Le fonctionnement des capteurs plans sans concentration est décrit par l'équation générale suivante (6).

$$Q_u = C E_n - K \left(\frac{T_{fe} + T_{fs}}{2} - T_a \right)$$

Où encore en faisant intervenir le débit:

$$M C_p = C E_n / \Delta T - K \left(1/2 + \frac{T_{fe} - T_a}{\Delta T} \right)$$

2.2.) Analyse de cette équation :

a/ Rappel de la théorie de Bliss: comme nos insolateurs sont à "lame fluide", cette théorie les décrira donc.

La puissance recueillie, à l'abscisse x, de l'entrée par unité de surface est:

$$Q_x = Q_n - K_x (T_{ex} - T_a) \quad -1-$$

où encore :

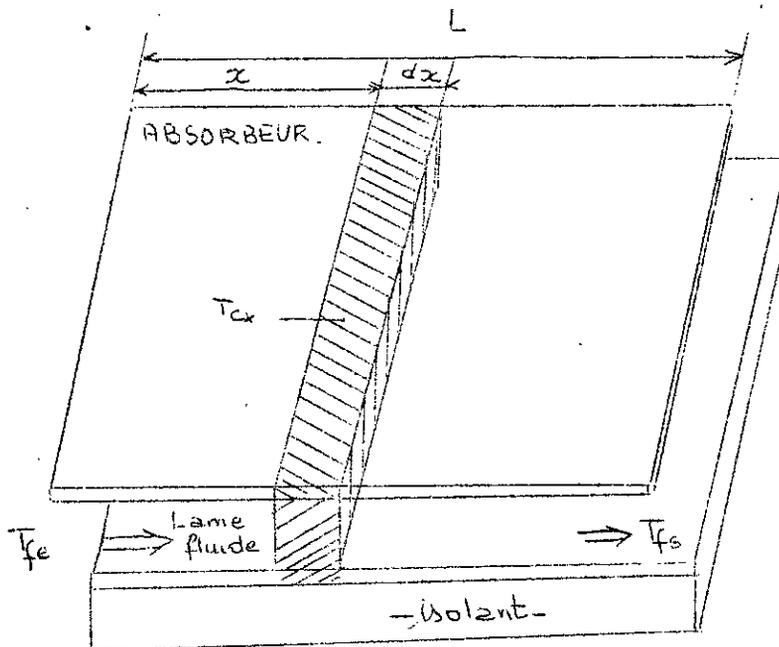
$$Q_x = H_c (T_{cx} - T_{fx}) \quad -2-$$

L'élimination de T_{cx} entre -1- et -2-, nous donne

$$Q_x = H_c / (H_c + K_x) \cdot (Q_n - K_x (T_{fx} - T_a)) \quad -3-$$

la puissance utile recueillie par l'ensemble de l'insolateur s'obtient en intégrant le long de l'appareil:

$$\begin{aligned} Q_u &= 1/L \int_0^L Q_x dx. \\ &= 1/L \int_0^L H_c / (H_c + K_x) \cdot (Q_n - K_x (T_{fx} - T_a)) dx. \end{aligned}$$



Dans l'intégration, les hypothèses suivantes sont introduites

- Kx : Sensiblement constant le long de l'appareil ($=K$)
- Q_n : Uniformément répartie sur toute sa surface

Nous obtenons :

$$Q_u = H_c / (H_c + K) \cdot (Q_n - K (T_{fm} - T_a))$$

Car: $1/L \int_0^L T_{fx} \cdot dx = T_{fm}$: Température de mélange du fluide.

Poseons : $F_1 = H_c / (H_c + K)$.

Il vient donc :

$$Q_u = F_1 \cdot (Q_n - K (T_{fm} - T_a))$$

Cette equation n'est utilisable qu'à la condition que T_{fm} soit connue. Nous pouvons en première approximation la prendre égale à la température moyenne de l'absorbeur.

Revenons à l'équation -3- en faisant intervenir de débit:

$$Q_u = 1/L \int_0^L Q_x \cdot dx = \dot{M} C_p \int_0^L dT_{fx}$$

il vient: $Q_x \cdot dx = \dot{M} C_p L dT_{fx}$, et en remplaçant Q_x par sa valeur.

$$\text{On obtient: } F_1 \cdot (Q_n - K (T_{fx} - T_a)) \cdot dx = \dot{M} C_p L dT_{fx}$$

ce qui nous donne:

$$\frac{dT_{fx}}{Q_n - K (T_{fx} - T_a)} = \frac{F_1}{\dot{M} C_p L} dx$$

L

l'
L'intégration de cette équation, en appliquant les conditions aux limites $x = 0$ nous obtenons.

$$\int_0^x \frac{dT_{fx}}{Q_n - K(T_{fx} - T_a)} = \int_0^x \frac{F_1}{\dot{M} C_p L} dx$$

ce qui nous donne:

$$-1/K (\text{Log} (Q_n - K(T_{fx} - T_a))) = \frac{F_1}{\dot{M} C_p L} x$$

Pour $x = 0$

$$T_{fx} = T_{fe}$$

Nous obtenons:

$$\text{Log} \frac{(Q_n - K(T_{fx} - T_a))}{(Q_n - K(T_{fe} - T_a))} = - \frac{F_1 K}{\dot{M} C_p L} x$$

$$\text{D'où : } Q_n - K(T_{fx} - T_a) = (Q_n - K(T_{fe} - T_a)) \cdot \exp\left(-\frac{F_1 K}{\dot{M} C_p L} x\right)$$

$$Q_x = Q_{fx} = F_1 (Q_n - K(T_{fe} - T_a)) \exp\left(-\frac{F_1 K}{\dot{M} C_p L} x\right)$$

La puissance utile extraite le long de l'appareil est:

$$Q_u = 1/L \int_0^x Q_x dx$$

ce qui donne:

$$Q_u = \dot{M} C_p / K (1 - \exp(-F1 K / \dot{M} C_p)) \cdot (Q_n - K(T_{fe} - T_a)).$$

Cette méthode exige la connaissance de nombreux paramètres, qui ne sont accessibles les uns qu'après le choix des matériaux, les autres qu'après réalisation de l'installation.

2.3) Dimensionnement de l'insolateur:

Les calculs sont effectués sur la base d'une production journalière de 200 litres d'eau chaude à 60°C. Nous admettons que ces besoins sont constants le long de l'année.

L'eau doit-être portée de la température de 15° à 60°c (nous prendrons pour les calculs une marge de sécurité 65°c). Ceci correspond à l'apport suivant d'énergie.

$$Q = m C_p \Delta T \\ = 200 \cdot 1 \cdot (65 - 15) = 10000 \text{ Kcal.}$$

En période estivale, nous disposons de:

$$Q_j = 2244,6 \text{ J/cm}^2 \text{ (flux journalier reçu par une surface horizontale, ce qui correspond à: } 5369,9 \text{ Kcal/m}^2 \text{.)}$$

$$TE = 28200 \text{ s Soit } 7 \text{ h } 50 \text{ mn}$$

TE: moyennes journalières en H/jours de la durée d'ensoleillement calculées sur la base de relevés effectués de 1950 à 1961.

En se basant sur l'étude (7), un insolateur ayant une température de fonctionnement de 60°C, sous un flux moyen de 1000w/m² a un rendement instantané de 46%.

Donc, la surface d'insolation S est:

$$S = \frac{10000}{5369,9 \times 0,46} = 4,05 \text{ m}^2$$

Nous prenons:

$$S = 4 \text{ m}^2$$

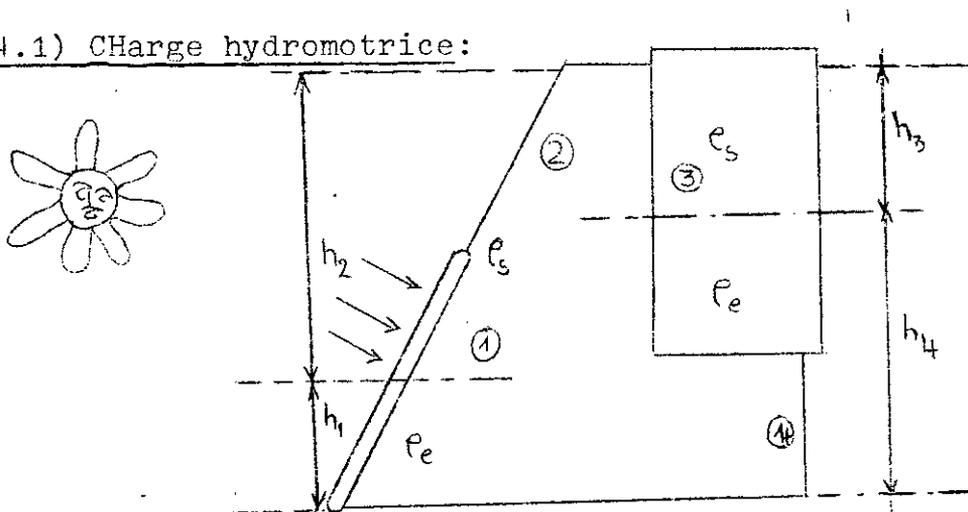
2.4) Principe du thermosiphon:

La chaleur recueillie par l'absorbeur est transmise par conduction au fluide caloporteur qui s'échauffe. Etant plus légère que l'eau froide à volume égal, l'eau chaude monte, Elle arrive à l'intérieur du réservoir dans un échangeur de chaleur: au contact de l'eau froide du réservoir, elle cède ses calories au travers de la paroi de l'échangeur et retourne se réchauffer dans le capteur. Ainsi se crée une circulation du fluide caloporteur, qui est due à la convection naturelle.

Le fonctionnement du thermosiphon est caractérisé par sa "charge hydromotrice".

Pour que le thermosiphon s'amorce facilement, le circuit de l'eau dans le capteur doit lui être favorable et les pertes de charges aussi faibles que possible.

2.4.1) Charge hydromotrice:



La charge de l'installation est:

$$H = \rho_s h_3 + H_4 \rho_e - \rho_e h_1 - h_2 \rho_s$$

$$H = \rho_e (h_4 - h_1) - (h_2 - h_3) \rho_s$$

A cause des fluctuations journalières, $(h_4 - h_1)$ et $(h_2 - h_3)$ peuvent varier mais nous pouvons les prendre constantes en première approximation.

Nous posons alors $h = h_4 - h_1 = H_2 - h_3$.

Par construction-, nous avons pris : $h = 40$ cm.

2.4.2) Evaluation de la force du themosiphon:

Pour qu'il y ait mouvement, il faut que la force engendrée par la différence de température à différents niveaux de l'eau, soit suffisante pour vaincre les pertes de charges.

Pour le calcul, nous partageons le circuit en tronçons isothermes. Nous prendrons dans ces tronçons des températures constantes car la tuyauterie est calorifugée:

Pour les températures variant entre 30 et 66°C, nous utilisons une loi de variation de la masse volumique tirée du M^c. Adams (8).

$$\rho = \rho_0 + A (T_0 - T)$$

$$\rho_0 = 988,4 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 0,445 \text{ Kg/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 48^\circ\text{C}$$

$$\text{Nous avons: } \Delta P = \rho \int_c g dh \quad -1-$$

En remplaçant: ρ par sa valeur dans l'équation -1- nous obtenons:

$$\begin{aligned} \Delta P &= g \int_c (\rho_0 + A (T_0 - T)) dh \\ &= g \int_c \rho_0 dh + gA \int_c T_0 dh - gA \int_c T dh. \end{aligned}$$

L'intégrale curviligne $\int_C \rho dh + gA \int_C T dh$ est nulle

Donc:

$$\Delta p = - gA \int_C T dh.$$

ce qui est équivalent à:

$$\Delta p = I \sum_i gA T_i H_i$$

T_i : Température moyenne du tronçon considéré;

H_i : Hauteur du tronçon considéré.

2.4.3) Calcul théorique de la force du thermosiphon:

Avec le circuit dont nous disposons, nous effectuons un calcul approché de la force du thermosiphon pour en voir l'évolution en fonction de la température.

N° du tronçon	H_i (m)	Température				
1	0,7	40	50	50	50	50
2	0,4	50	55	60	60	60
3	0,7	40	40	45	50	55
4	0,4	30	30	30	30	30
$P(N/m^2)$		35,6	75,65	69	53,54	38

Nous remarquons de ce qui précède que lorsque le réservoir se chauffe, la force du thermosiphon diminue. Le circuit échangeur ne cède plus ses calories à l'eau du réservoir. Pour que le thermosiphon s'amorce facilement, il faudrait qu'il soit assez puissant pour vaincre les pertes de charge.

2.5) Calcul de s pertes de charge:

Le reservoir a été placé le plus près possible des capteurs , la longueur de la tuyauterie utilisée n'est pas importante.

Les pertes de charge que nous rencontrons sont de deux types:

-Perte ~~sum~~aires: elles sont dues au frottement de l'eau sur la paroi interne de la tuyauterie L'utilisation de la tuyauterie lisse permet d'attenuer ce frottement.

-Pertes singulières: Elles sont dues aux accidents de parcours : soudes, raccordement de tubes la tuyauterie dont nous disposons est en acier galvanise (15/21)

-Expression des pertes de charge:

Nous calculons les pertes de charges globales en utilisant la notion de longueur équivalente

$$H = \lambda L/D \cdot V^2/2g.$$

λ :coefficient de pertes de charge linéaire de pendant du nombre de Reynolds:

$\lambda = 64/ Re$ en régime laminaire.

$g = 10 \text{ N /Kg}$ accélération de la pesanteur

$D =$ Diamètre de tube sur le tronçon.

$L =$ Longueur de tronçon du tube augmentée d'une longueur équivalente-aux pertes de charges singulieres sur le même tronçon

$V =$ Vitesse du fluide dans le tronçon.

Un calcul approché nous a donné une perte de charge, pour une sortie du capteur à 60°C ,de $5,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}$. ce qui correspond à une chute de pression de $5,62 \text{ N/m}^2$ pour un nombre de Reynolds: 2610 et $\lambda = 0,0245$.

2.6 Estimation des pertes de l'insolateur:

Pour l'estimation des pertes de l'insolateur, nous avons retenu la méthode exposée par G.Péri (7)

a/ Bilan de fonctionnement

Dans les conditions de fonctionnement en régime permanent, nous pouvons écrire, que dans l'unité de temps, l'énergie captée est égale à l'énergie utile (disponible dans le fluide caloporteur), augmentée des énergies perdues sous différentes formes Φ_p . on écrit donc:

$$E = \Phi_u + \Phi_p$$

Nous rappelons ici que E représente l'ensemble des rayonnements solaires parvenant sur le capteur, sous forme directe ou diffuse.

Dans l'évaluation des pertes, il est utile de faire une distinction entre les pertes optiques, qui ne dépendent que des qualités du capteur et les pertes thermiques, qui ne dépendent que de la température de fonctionnement.

b/ Pertes optiques Φ_o :

Les pertes optiques interviennent sur le flux du rayonnement avant sa conversion dans l'absorbeur. Elles dépendent essentiellement de la transmission de la couverture τ_c et de l'absorption de la face avant de l'absorbeur α_a . L'énergie disponible sur la face avant de l'absorbeur est C.E, avec $C = \tau_c \alpha_a$. C: "facteur optique". Il est intéressant d'avoir C le plus voisin de l'unité, en utilisant les surfaces sélectives. Nous reviendrons

sur ce point dans les pages suivantes.

Pour un capteur neuf, C est supérieur à 0,8. En utilisant du verre ordinaire, nous avons $C=0,87$ et la peinture "noir mat" de bonne qualité neuve $\alpha_a=0,95$, on obtient ainsi $C=0,83$.

Les pertes optiques sont donc:

$$\phi_0 = E - C.E = (1 - C).E$$

c/Pertes thermiques ϕ_t

Les pertes thermiques peuvent être divisées en deux parties: - Pertes avant: produites au niveau de la surface de captation (ϕ_{av})

- Pertes arrière: produites au niveau de la face arrière (ϕ_{ar})

Les pertes arrières peuvent être limitées par un bon choix de l'isolant. Pour notre cas, la laine de verre a été utilisée. Les pertes arrières sont données par:

$$\phi_{ar} = k/e(T_m - T_a)$$

$$k = 0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$e = 5 \text{ cm.}$$

T_m : température moyenne du fluide

Pour l'estimation de ces pertes, nous prenons la température de la plaque arrière égale à la température moyenne du fluide, car la variation n'est pas importante.

Pertes avant:

Ecrivons le bilan des échanges de chaleur:

-Echange entre l'absorbeur et la couverture:

$$\begin{aligned} \phi \neq \phi_{av} &= \phi_{avc} + \phi_{avr} \\ \phi_{av} &= H_1(T - T_c)^n + \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_a} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \sigma (T^4 - T_c^4) \end{aligned}$$

T et T_c : Températures absolues respectivement de l'absorbeur et la couverture °K

ϵ_a et ϵ_c : émissivité, respectivement de l'absorbeur et de la couverture

H_1 et n: coefficient d'échange par convection entre absorbeur-couverture

ϕ_{av} : total des pertes thermiques vers l'avant du capteur

ϕ_{avc} : partie de ces pertes dues à la convection

ϕ_{avr} : partie de ces pertes dues au rayonnement

σ : constante de Stéphan-Boltzman.

-Echange entre la couverture: et l'environnement:

$$\phi_{av} = \phi_{avr} + \phi_{avc}$$

$$\phi_{av} = \epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_s^4) + H_f (T_c - T_a)$$

T_s : température de la voûte céleste ($T_s = T_a - 7$)

T_a : Température de l'air environnant.

H_f : coefficient d'échange par convection forcée.

Comme nous le voyons, les pertes ne dépendent que des températures.

Lorsque la distance entre plans (couverture et absorbeur) est de l'ordre de 4cm et $(T-T_c)$ variant entre 10 et 50°C avec une température voisine de 60°C, nous prenons les coefficients suivants (7):

Captteur incliné à 45°:

$$-n=1,35$$

$$-H_1=1,05$$

Application numérique:

Pour une température de fonctionnement de 60°C, nous avons les résultats suivants; pour un éclairement énergétique de 1000 W/m² et un vent de 20 Km/h ($H_f=27$).

$$\phi_{av}=321 \text{ W/m}^2$$

$$\phi_{ar}=45 \text{ W/m}^2$$

$$\phi_o = E - C.E = 1000 - 0,85 \times 0,87 \times 1000 = 173,5 \text{ W/m}^2$$

Soit un total de pertes: $\phi_p = \phi_o + \phi_t$

$$\phi_p = 539,5 \text{ W/m}^2$$

Le flux utile est: $\phi_u = 1000 - 539,5 = 460,5 \text{ W/m}^2$

D'où un rendement instantané:

$$\eta = \phi_u / E = 460,5 / 1000 = 46\%$$

2.7 Débit du fluide caloporteur:

La valeur moyenne de la chute de température (l'expérience des installations de chauffage central conduit à prendre pour ΔT une valeur comprise entre 20 et 40°C). La quantité de chaleur échangée par jour est de 10000 Kcal.

Si nous prenons le moyenne pour $\Delta T = 30^\circ$

$$\dot{m} = Q / C_p \Delta T = \frac{10000 \times 3600}{30 \cdot 28200} = 42,6 \text{ kg/h.}$$

Si nous prenons $\Delta T = 40^\circ \text{C}$.

$$\dot{m} = \frac{10.000 \times 3600}{40 \cdot 28200} = 31,9 \text{ kg/h}$$

Soit : $\dot{m} = 31,9 \text{ L/h}$

Le calcul de débit n'est qu'approximatif, il sera calculé dans la partie expérimentale d'une façon plus approchée.

2.8) influence des conditions extérieures:

Conditions climatiques:

L'évaluation de l'effet des différentes variations est très complexe : Nous passerons en revue 3 facteurs.

-Influence du vent:

Le vent intervient directement sur les échages convectifs entre la couverture et l'environnement. Nous avons ϕ avec $= H_f (T_c - T_a)$

Le coefficient H_f varie avec la vitesse du vent. Nous avons $H_f = 5,7 + 1,06 V$

V en Km /h:

H_f en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

-Influence de la température ambiante

La valeur de la température ambiante a une influence directe sur le rendement de l'isolateur. Pour un capteur ayant une température moyenne de fonctionnement $T=60^\circ\text{C}$ et un vent de 20 Km/h, son rendement instantané est

est pour les ambiances suivantes

Ta	
0°C	34%
15°C	46%
30°C	58%

Influence de l'humidité relative:

Celle ci intervient de manière très complexe surtout en ce qui concerne les échanges radiatifs entre la couverture et la voute celeste

LE CHAPITRE III

3. REALISATION PRATIQUE

-REALISATION PRATIQUE3.1) Généralités:

Notre choix entre les diverses solutions possibles a été fait en fonction des performances demandées, mais aussi en dernier lieu en fonction des matériaux disponibles sur le marché et des possibilités techniques de fabrication. Donc pour notre réalisation, nous nous sommes contentés de ce que nous avons obtenu des Sociétés Nationales et sur le marché .IL est pour nous, hors de question de parler d'utilisation de surfaces selectives et autres techniques avancées qui permettent un meilleur rendement.

Les capteurs ont été confectionnés à la S N L B (ROWIBA) qui a offert ses services, sous certaines conditions:

- Facilité de réalisation.
- Ne pas perturber la chaîne de production.
- Temps d'exécution minimum.

c'est la réponse à ces critères qui a guidé notre choix définitif pour la réalisation des capteurs.

Parler de réalisation performante et économique à ce stade relevé de l'utopie, nous ne pourrions parler d'économie que quand l'infrastructure existante peut répondre à la demande avec un choix diversifié. Dans ce cas, des études comparatives peuvent être faites et nous pourrions juger si l'installation répond par:

- Sa durabilité
- Sa simplicité et son efficacité.
- Son coût.
- Sa facilité d'entretien.

3.1.1

PRESENTATION DU CHAUFFE-EAU

"Modele Experimental".

Surface absorbante $4m^2$

-Masse journaliere d'eau c  chauffé: 200l

-Fonctionnement en thermosiphon.

-Cuve: - Contenance: 200L.

- Isolation : laine de verre+gaine de protection.

-La cuve est métallique (acier).

-Fluide caloporteur: eau distillée + eau de pluie

--Tuyauterie de connexion: tube galva (15/212).

-Isolation: Laine de verre+papier goudronné

-Echangeur:

-acheté dans le commerce:

-composé d'éléments.

-Soutirage d'eau chaude:

-tuyau flexibe muni d'un flotteur.

-Alimentation en eau froide:

-(par le bas): système de flotteur.

Le chauffe-eau réalisé est un modèle expéri-
mental, après les tests qui seront  vectu s, il nous
est demandé de réaliser un chauffe-eau solaire pour
la cantine du S.E.S, en ayant au préalable résolu
les quelques problèmes techniques surgis au cours de
la realisation.

3.1.2) Orientation des capteurs:

Une fois le lieu d'implantation choisi, il demeure à fixer l'orientation et l'angle d'inclinaison des capteurs.

Les capteurs devront être orientés de façon à recevoir le plus de rayonnement possible. L'insolateur capte un maximum d'énergie lorsqu'il est perpendiculaire aux rayons du soleil. Or l'inclinaison des rayons varie au cours de la journée et au cours des saisons (le soleil est plus bas en hivers). L'idéal serait qu'il suive le soleil dans sa course. Seulement un tel système supposerait un ⁱⁿvestissement important et pourrait créer des risques de détériorations.

L'orientation optimale en plan (azimuth), pour les capteurs plans fixes dans l'hémisphère Nord, est normalement Sud car la durée d'ensoleillement est maximum ainsi que la puissance du rayonnement sont réparties symétriquement de part et d'autre du point où le soleil se trouve au zénith (hauteur maximale à midi).

L'inclinaison qui semble la plus favorable se situerait autour de la latitude du lieu d'implantation. Certains auteurs préconisent d'ajouter à celle-ci 10° environ pour obtenir un meilleur rendement (9), d'autres préfèrent ajouter la valeur de la latitude du lieu considérée à la valeur de la déclinaison du soleil qui varie avec l'époque de l'année (10).

-Pour notre pays, une étude (11) montre que l'inclinaison judicieuse est de 45° , ce qui est un compromis entre les différents réajustements qu'on pourrait effectuer au cours de l'année.

L'inclinaison de 45° est réalisée lors de la mise en place des capteurs.

3.1.3 Montage modulaire des capteurs:

Le montage des capteurs en serie ou parallèle est déterminée par la température de l'eau qu'on voudrait atteindre et la destination de l'eau chauffée.

-Montage en Série.

C'est la même eau qui traverse les capteurs les uns après les autres en s'échauffant davantage. Les capteurs vont fonctionner à des températures croissantes depuis l'entrée jusqu'à la sortie. Or plus la température de fonctionnement est élevée, moins le rendement est bon, ce qui nécessite une fabrication soignée des capteurs qui vont suivre (double vitrage, bonne isolation...).

Aussi l'eau devra traverser les capteurs les uns après les autres, la résistance au passage de l'eau sera plus importante. Le montage nécessitera un circulateur.

-Montage en parallèle:

Les deux capteurs fonctionnent de la même manière, chacun élevant la température d'une partie du débit qui le traverse d'une même quantité. La résistance au passage de l'eau est diminuée et le thermosiphon est suffisant pour la circulation.

Le montage adopté pour notre installation est en parallèle, car les températures demandées ne sont pas importantes.

La connexion entre les capteurs est réalisée à l'aide de coudes, mamelons, des tubes filetés pour avoir un démontage et un montage aisé l'utilisation d'un nombre important de cette "plomberie" a été rendue nécessaire pour les raisons expérimentales. Dans une réalisation opérationnelle, leur nombre peut être réduit, en utilisant la soudure.

(7)

3.2.) Construction du convertisseur plan:

La surface nécessaire est de 4 m^2 . La S.N.L.B possède des tôles planes de 0,8 mm d'épaisseur et de format 1000 x 2000. Il nous a fallu choisir entre la fabrication de 4 insolateurs de 1 m^2 chacun ou deux de 2 m^2 chacun.

La première solution est coûteuse. Elle exige l'utilisation de beaucoup d'accessoires (raccords coude...) et la fabrication de 4 boîtiers. Le temps machine est plus important et le prix de revient plus élevé. La solution adoptée:

2 insolateurs de 2 m^2 chacun.

-Format : 1000 x 2000

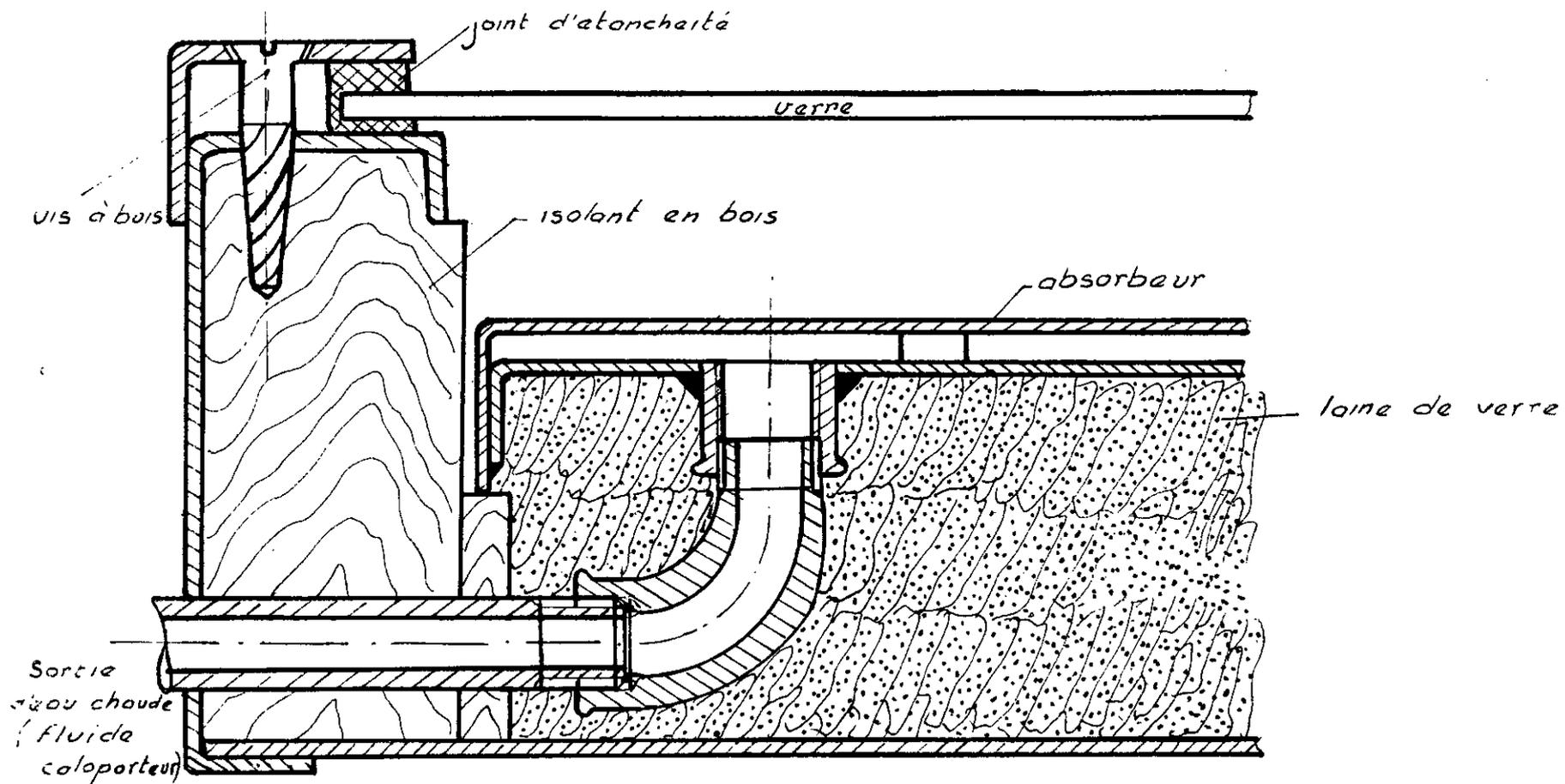
-Coefficient de conduction: $39 \text{ kcal m/ hm}^2\text{°C}$

-Epaisseur: 8/10 mm

-Poids : 26kg

Elle présente l'avantage de réduire le temps machine et la longueur du périmètre soudé. (12 m au lieu de 16 m). Les opérations sur machine restent les mêmes (pliages , grujages...).

Pour la construction, nous prenons deux tôles de 0,8mm d'épaisseur que nous superposons, en ayant intercalé des rondelles pleines d'épaisseur 3 mm . Ces rondelles maintiennent l'espace nécessaire à la circulation d'eau . L'espacement entre rondelles est de 10 cm. On soude sur tout le périmètre de l'absorbeur, en ayant fait tomber les bords des deux tôles de 3 cm avant soudure, pour nervurer l'ensemble et le raidir. Les deux tôles sont pointées par soudure sur les rondelles pour éviter le gonflement de l'absorbeur sous la pression de l'eau.



Coupe partielle du capteur plan

3.3.) Réalisation du boîtier:

Son rôle essentiel est de maintenir l'ensemble de façon rigide et d'assurer l'étanchéité. Le boîtier réalisé est métallique, confectionné de tôle noire ordinaire 10/10 mm. Il est d'une fabrication facile, la S.N.L.B possède tout le matériel nécessaire (plieuse, poste de soudure, cisaille...).

L'isolation de la face avant est réalisée par la pose du vitrage. Pour l'isolation de la face arrière la laine de verre est utilisée.

Dans notre cas, la production des boîtiers peut être sérielle. Un essai de lancement a été réalisé avec succès.

Caractéristiques du boîtier:

Epaisseur : 10/10

-Dimension: 1000 x 2000

-Poids : 17 kg

-Face avant: vitre de 4 mm d'épaisseur.

-Face arrière: Isolation (laine de verre) 5cm.

La fabrication est facile.

-Boîtier assemblé

-Montage facile.

-Légereté.

-Prix de revient réduit.

Inconvénient majeur:

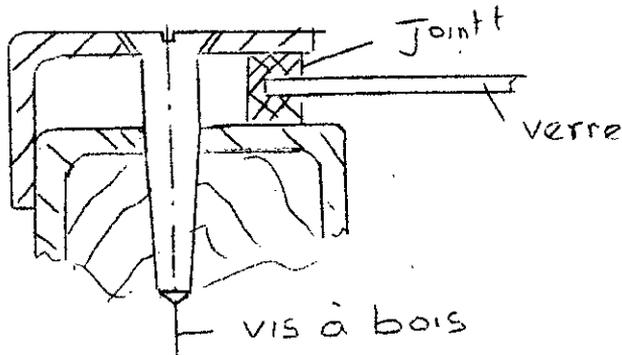
-Facilité des pertes thermiques

-Mauvaise tenue aux intempéries.

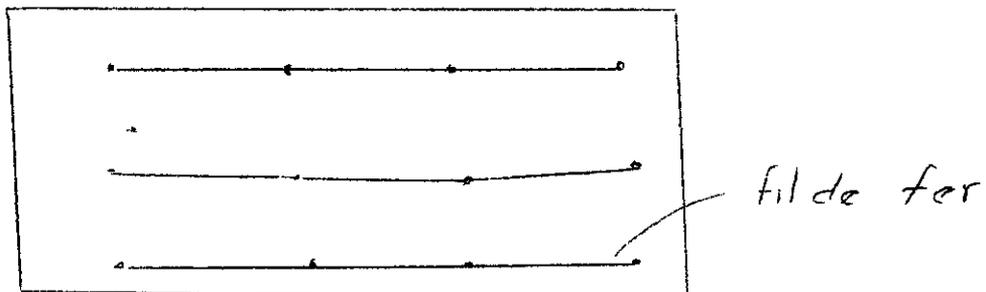
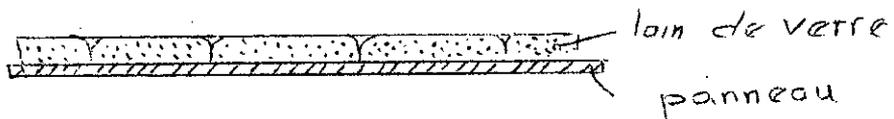
Pour cela, le boîtier a été peint "par l'antirouille", ensuite de la peinture aluminium pour atténuer les effets des agents atmosphériques.

Montage des vitres

La vitre est fixée à l'aide d'un joint néoprène par un cadre en cornière, Ce montage donne une bonne étanchéité et est résistant dans le temps:

Fixation de la laine de verre:

Afin d'éviter que la laine de verre se tasse, nous l'avons fixé sur un panneau d'isorel avec du fil de fer.



3.4) La cuve:

a/ Présentation:

c'est un fut métallique récupéré

-Contenance : 200 l

-Diamètre: 600 mm.

-Hauteur : 900 mm.

B/ Isolation:

La cuve est calorifugée avec de la laine de verre (10 cm). Pour protéger le calorifugeage contre les agents extérieurs (pluie, humidité), nous avons recouvert l'ensemble (cuve, calorifugeage) d'une gaine de protection. Cette gaine est une tôle fixée par des vis tout autour de la cuve.

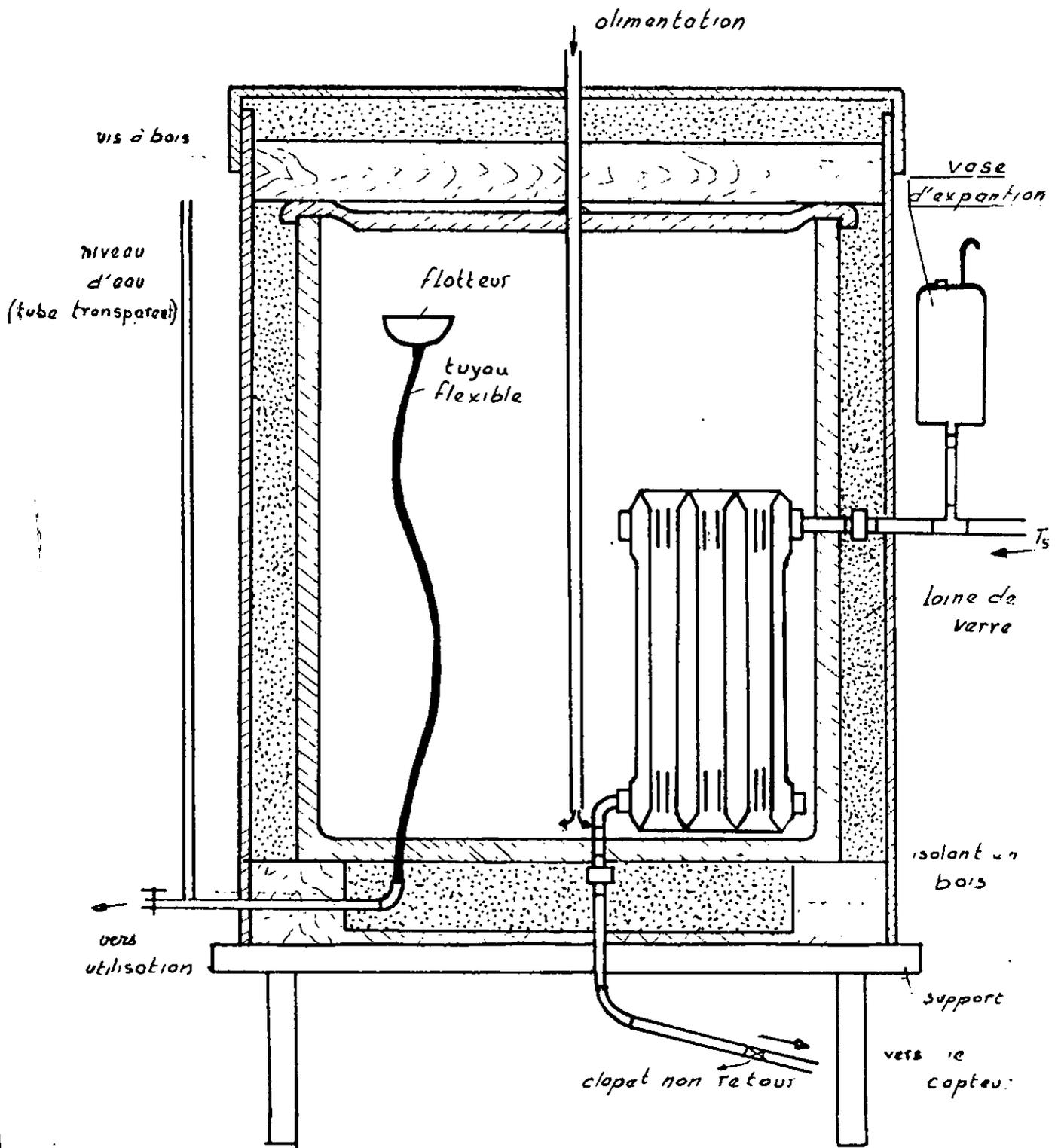
C/ Alimentation de la cuve:

Quelle que soit la solution adoptée (alimentation par robinet flotteur, par caisse à eau), elle demeure inefficace. Les robinets de la Station de Bouzareah sont toujours secs! Pour les besoins des expériences, un remplissage manuel était adopté. Parfois, nous avons même utilisé de l'eau distillée produite par les distillateurs solaires de la Station pour le remplissage du réservoir.

L'eau froide arrive directement au bas du réservoir pour éviter tout mélange entre l'eau froide et l'eau chaude.

d/ Soutirage de l'eau chaude.

Le système adopté est un tuyau flexible muni d'un flotteur qui permet toujours de puiser l'eau la plus chaude.



CUVE

Les sorties et entrées de la cuve sont des raccords et coudes de plomberie. L'étanchéité est assurée par les joints et la pâte à-joints.

3.5 L'échangeur

Son but principal est d'éviter l'encrassement du circuit primaire.

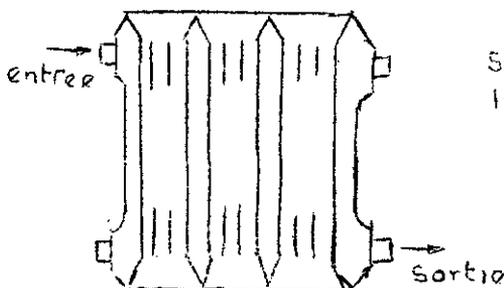
L'échangeur adopté n'a pas été fabriqué par nos soins mais il a été acheté dans le commerce

Caractéristiques:

- Composé d'éléments
- Hauteur de l'élément: 700 mm
- Surface de chauffe pour un élément
0,151 m²
- Largeur de l'élément · 95mm

3.5.1 Calcul d'échangeur

La littérature spécialisée offre un grand éventail de formules empiriques, souvent complexes. Notre échangeur est composé d'éléments de sections rectangulaire. Mc Adams (8) propose une similitude entre les tubes verticaux et les tubes de sections rectangulaires en utilisant la notion du diamètre hydraulique.



schema de
l'échangeur

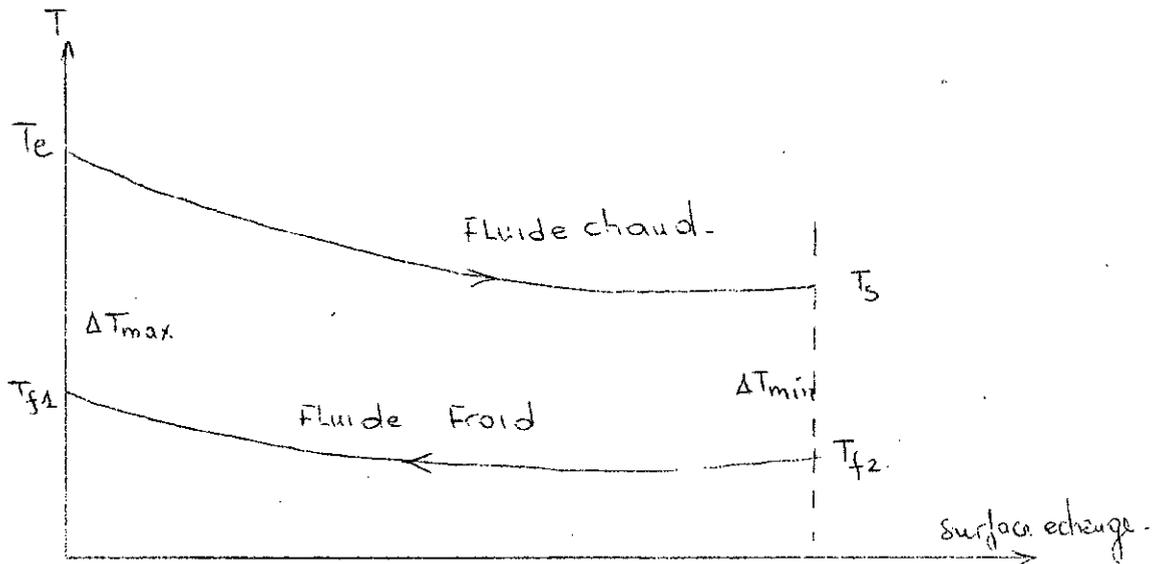
Notation Utilisées pour le calcul d'échangeur

Notations	Signification	Unites
Nu	Nombre de Nusselt	Sans
Re	Nombre de Reynolds	Sans
Pr	Nombre de Prandtl	Sans
ϕ	Densité de flux	Kcal/h.
H	Coefficient global de transmission de la chaleur	Kcal/m ² °Ch
ΔT_m	Ecart logarithmique moyen de température	°c
S	Surface d'échange	m ²
λ	Conductivité Thermique	Kcal/m °Ch
ν	Viscosité dynamique du fluide	m ² /s.
V	Vitesse moyenne du fluide	m /s.
Dh	Diamètre hydrolique	m.
H ₁	Coefficient interne de l transmission de la chaleur	Kcal/m ² °Ch.
H ₂	Coefficient externe de transmission de la chaleur	Kcal/m ² °Ch.
A	Section transversale d'un élément	m ²
P	Périmètre mouillé	m ²
Gr	Nombre de Grashof	sans

a/ Position du problème de l'échangeur

L'échangeur mis à notre disposition a été dans le commerce. L'échangeur offrait une surface d'échangeur de $2,416 \text{ m}^2$. L'échangeur, même s'il ne conviendrait pas, a été utilisé quand même (ce qu'on verra par la suite). Il ne restait plus qu'à évaluer le coefficient d'échange.

b/ Diagramme des températures



La quantité moyenne de chaleur à transférer est de: $1276,59 \text{ Kcal/h}$.

La relation de Newton donne: $\phi = H.S. \Delta T_m$.

Nous n'y revenons pas sur le calcul de la chute logarithmique moyenne de température:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{\text{Kog}(\Delta T_{\max} \Delta T_{\min})}$$

avec: $\Delta T_{\max} = T_e - T_{f1}$.

$\Delta T_{\min} = T_s - T_{f2}$.

c/ Calcul du coefficient global d'échange H:

L'évaluation du coefficient global d'échange ne peut être qu'approchée. Pour notre calcul, nous adopterons les formules les plus simples: (8).

-Coefficient interne H1.

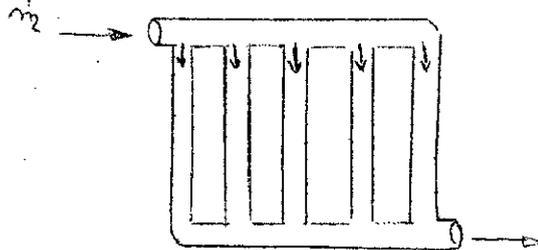
Notre échangeur est composé d'éléments verticaux de sections rectangulaires. Nous pouvons reprendre le calcul, comme pour le cas des cylindres verticaux en utilisant la notion de diamètre hydraulique:

Une équation empirique proposée par Sieder et Tate dans le cas d'un écoulement laminaire est:

$$Nu = 1,86 (Re Pr D/L)^{0,33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0,14}$$

Dans la quelle le facteur de correction $\left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0,14}$ est introduit pour tenir compte de la variation des propriétés physiques avec la température:

Nous pouvons schématiser l'échangeur sous la forme suivante:



à l'entrée nous avons:

$$\dot{M} = 42,6 \text{ Kg /h.}$$

$$Re = VD_e/\nu = 2133. \quad \nu(60^\circ\text{C}) = 0,469 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$V = 0,0667 \text{ m/s.}$$

-Calcul de la vitesse à l'intérieur des éléments

Notre échangeur est composé de 16 éléments rectangulaires

Ecrivons l'équation de continuité:

$$\dot{M} = \sum_i \dot{M}_i$$

Mi : Débit masse à l'intérieur d'un élément

$$Se. Ve = 16.Si.Vi \text{ d'où } Vi = Se.Ve/16.Si$$

$$Vi = \frac{15^2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0667}{4.95 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 16} = 0,00156 \text{ m/s.}$$

Pour les besoins de nos calculs , supposons que nous ayons une température de 60°C au niveau moyen de l'échangeur:

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

$$\nu = 0,469 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s.}$$

$$\lambda = 0,564 \text{ Kcal /hm}^2\text{C}.$$

$$Pr=2,98.$$

-Calcul du nombre Reynolds.

$$Re=V.Dh/\nu$$

-Le diamètre hydraulique de la section est:

$$Dh=4.A/P$$

$$=4.95.5/2(95+5)=9,5 \text{ mm.}$$

d'où :

$$Re=31,55.$$

Nous avons un régime laminaire à l'intérieur des sections. Pour simplifier, nous supposons que $(\frac{\nu_b}{\mu_s})^{0,14}=1$.

Nous obtenons pour un nombre de Nusselt:

$$Nu=2,015.$$

et comme $Nu=H1.Dh/\lambda$

On obtient ainsi $H1=119,7 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$

Coefficient externe: H2.

extérieurement , un élément peut être considéré comme constitué de deux plaques planes parallèles. Eckert propose la relation suivante:

$$Nu = 0,508 \left(\frac{Pr}{0,952 + Pr} \cdot Gr.Pr. \right)^{0,25}$$

$$\text{Avec : Gr} = \frac{\beta g \Delta\theta L^3}{\nu^2}$$

$$\text{Pr} = \frac{c_p \mu}{\lambda}$$

Au niveau moyen supposons que la température moyenne dans le réservoir est de 50°C.

$$\lambda = 0,553 \text{ Kcal/m}^2\text{Ch.}$$

$$\text{Pr} = 3,63$$

$$\nu = 0,556 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s?}$$

$$\beta = 54 \cdot 10^{-4}$$

$$L = 0,7 \text{ m}$$

$$\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$$

l'application numérique donne:

$$\text{Gr. Pr} = 18,28 \cdot 10^{10}$$

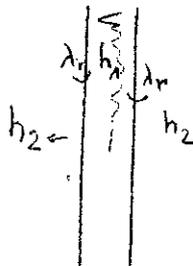
$$\text{Nu} = 313,4$$

$$\text{et comme } \text{Nu} = H_2 \cdot L / \lambda$$

$$H_2 = 247,6 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C.}$$

-Evaluation du coefficient global d'échange H.

Pour notre échangeur constitué de parois planes parallèles le coefficient H s'exprime par:



$$\frac{1}{H} = \frac{2}{H_1} + \frac{2}{H_2} + \frac{2 \cdot e}{\lambda_r} + R.$$

R: Résistance due à l'encrassement (=0,001 pour l'eau ordinaire).

e: épaisseur des parois de l'échangeur (e=0,8mm).

λ_r : coefficient de conduction des parois de l'échangeur

$$\lambda_r(100^\circ\text{C}) = 38,6 \text{ Kcal /hm}^2\text{C}.$$

En application numérique, il vient:

$$1/H = 0,0258 \text{ d'où : } H = 38,7 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}.$$

donc le coefficient d'échange est :

$$H = 38,7 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

Mais on peut se poser la question suivante, cet échangeur convient-il ?

Quelle section devrait on prendre pour avoir un écoulement proche du turbulent à l'intérieur de l'échangeur ?

A l'entrée de l'échangeur nous avons un nombre de Reynolds ($Re = 2133$), si on conserve ce nombre à l'intérieur des éléments verticaux de sections rectangulaires.

En conservant les éléments du premier calcul ,

$$Nu = 1,86 (Re \cdot Pr \cdot D/L)^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_s}\right)^{0,14}$$

l'application numérique donne :

$$Nu = 8,09 \text{ et } H_1 = 472,19 \text{ Kcal / hm}^2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Le coefficient externe rest le même.

$$1/H = 0,0133 \text{ d'où } H = 74,88 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}.$$

-Evaluation de ΔT_m :

Au niveau moyen de l'échangeur nous avons

$$\text{Fluide chaud } T_e = 60^\circ\text{C}$$

$$T_s = 45^\circ\text{C}$$

$$\text{Fluide froid } T_{f1} = 50^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} T_{fe} &= 32^\circ\text{C} \text{ (Obtenue par } (50+15/2) \\ &= 32,5^\circ\text{C)}. \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \Delta T_m = 11,43^\circ\text{C}.$$

-Calcul de la surface d'échange nécessaire:

La quantité de chaleur à transférer est

$$\dot{Q} = 1276,59 \text{ Kcal/h.}$$

En appliquant la relation de Newton, nous avons

$$S = \dot{Q} / H\Delta T_m.$$

$$\text{d'où : } S = 1,49 \text{ m}^2.$$

comme on peut disposer d'éléments de $0,151 \text{ m}^2$, nous prenons 10 éléments.

Nous prendrions donc un échangeur de $1,51 \text{ m}^2$, qui est moins cher et plus efficace.

Pour le chauffe-eau de la cantine, nous choisirons un échangeur de $1,51 \text{ m}^2$ d'échange.

II
II CHAPITRE (4)

II
II EXPERIMENTATION

17

4.1 Description de l'installation

Comme notre travail consiste , en premier lieu à tester les performances de ces capteurs , intéressant nous plus particulièrement à ces derniers.

Précisons que les 2 capteurs sont montés en parallèles à la cour de la S.E.S. Ils. ont orientés face au sud, inclinés à 45° .

Le fluide caloporteur utilisé pour notre installation est de l'eau distillée à laquelle nous avons ajouté de l'eau de pluie afin de limiter la corrosion.

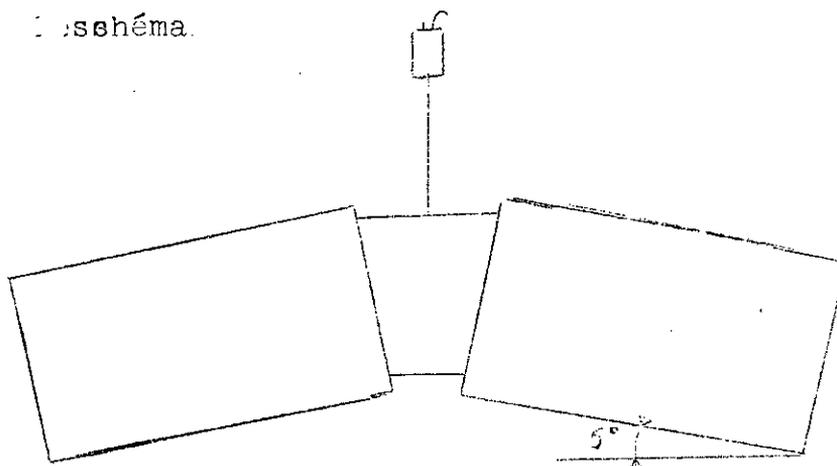
Surface absorbante : 4 m^2

Contenance : 20 l (Capteurs + échangeur + tuyauterie)

Vase d'expansion pour le circuit primaire

La quantité de fluide caloporteur du circuit primaire est théoriquement de 20 l , mais au cours du remplissage en eau distillée, nous nous sommes aperçu que l'installation a une contenance de presque 25 l, car il ya quelques points de soudures qui ont "sauté" et ont engendré un léger gonflement des capteurs...

Pour avoir le point chaud le plus haut nous avons disposé les capteurs comme indiqué sur le schéma.



4.2 Instrumentation de mesure:

Les différents instruments de mesure que nous avons utilisés pour nos essais sont les suivants:

a/ un pyranomètre muni d'un dispositif intégrateur solarimètre Kipp - Zonen C.C.2.

b/ un galvanomètre :
Mirkouva Al4 Kipp- Zonen.

c/ un thermomètre

d/ des thermocouples en chromel-Alumel

Il aurait été souhaitable, pour la bonne conduite de nos essais, si nous avions pu disposer

- D'un débitmètre
- D'un thermomètre de contact pour le contrôle des températures à l'entrée et à la sortie du fluide caloporteur.

- Un hygromètre : pour l'humidité relative.

4.3 Mesures concernant le système:

Pour nos calculs, nous avons besoin de 2 types de mesures:

1.) Des mesures concernant les paramètres météorologiques:

a/ Température de l'air ambiant au niveau des capteurs (Thermomètre)

b/ Eclairement énergétique dans le plan horizontal (Solarimètre Kipp)

2.) Des mesures propres au circuit hydraulique des capteurs

c) Température de l'eau à l'entrée des capteurs (Thermocouple)

- d) Température de l'eau à la sortie des capteurs. (Thermocouple)
- 3.) Des mesures pour l'évaluation des pertes des capteurs
- e) Température extérieur du vitrage (Thermocouple)
- f) Température de l'air ambiant.

Température de sortie = température de fonctionnement .

4.) Par mesure de contrôle, nous avons pris la température de sortie d'eau chaude à la sortie de la cuve .

Il aurait été souhaitable , si nous avons pu effectuer la mesure des paramètres météorologiques suivants:

- Valeur de la pression atmosphérique
- Vitesse du vent
- Humidité relative.

Les relevés sont effectués chaque heure

-La durée des relevés est d'environ 3 à 5 mn.

en supposant que pendant cet intervalle de temps des variations des paramètres météorologiques ne sont pas importantes (Température ambiante , éclairément énergétique...).

Précaution à prendre:

- Nettoyage du vitrage
- contrôle de l'arrêt du thermosiphon

4.3.1 Méthode de calcul:

a/ Calcul du rendement instantané:

Pour le calcul du rendement instantané, la méthode utilisée est celle exposée au § 2.6. C'est un rendement instantané théorique.

Si nous avions un débitmètre nous aurions calculé le rendement instantané expérimental qui reflèterait le mieux le fonctionnement de l'installation.

b/ Calcul du rendement global

Le calcul du rendement global est donné par $\eta_g = \frac{M \cdot C_p \cdot \Delta T}{\sum I_n}$

M: Masse d'eau chauffée aux cours de la journée

ΔT : Augmentation de la température de la cuve

$\sum I_n$: Flux solarimétrique journalier reçu par un plan horizontal.

4.4 Etalonnage des thermocouples:

Appareillage utilisé

Galvanomètre, thermomètre, vase DEWARD, thermocouple.

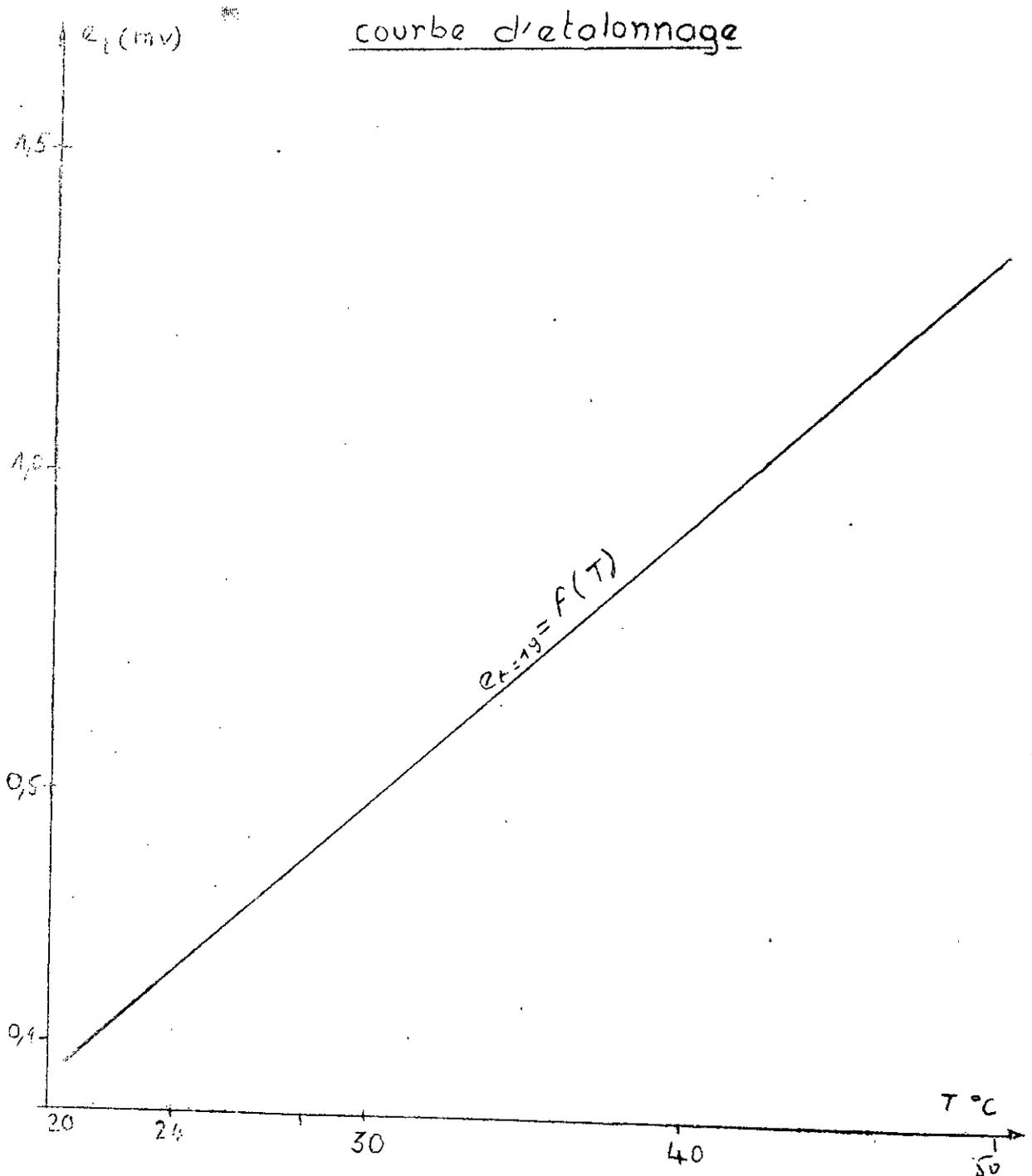
Nous avons étalonné les thermocouples dans de l'eau chauffée. Nous faisons deux lectures une au thermocouple c. à tension donnée par le galva, l'autre au thermomètre en °C. Nous avons ainsi la correspondance tension température.

Pour l'étalonnage 2 points suffisent le 0°C absolu et 100°C car la courbe est linéaire; mais pour plus de précision nous avons pris plusieurs points.

Notre étalonnage a été fait pour une température ambiante bien déterminée. La source froide étant le galva.

La courbe que nous avons tracée est pour $T_a = 19^\circ\text{C}$ pour avoir la température à une autre ambiance il suffit de faire un décalage de courbe parallèlement à la première de T_a correspondant.

$$\Delta T_a = \frac{1}{k} (T_{a_0} - T_a) \quad T_{a_0} = 19^\circ\text{C}$$



4.5 $\frac{1.1}{1.1}$ ABLEAU DE MESURE

Releve du 20 Avril 78

horaire	10 ^h 30	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h
$T_{o_{ok}}$	288,5	294	292	293,5	296,5	295,5	294,5	293
$T_{c_{ok}}$	296	297	298,5	306	310	308	309	305,5
T_z °K	301	310,5	313	320	323,5	325	320	325
T_{cap} °K	312	330	335	340	350	350	349	340
$T_{e_{ok}}$	289	286	288	290	292	304	322	334
$T_{s_{ok}}$	310	328	332	337,5	348	346	346	338
ϕ_{abit} W/h	23,4	13,8	29,6	23	29,4	35,3	36,9	15
T.c.c. cabiner °C	23	28	39,5	48,5	57	62	62	62
ϕ_{pant} W/h	121,3	98,5	211,5	410	445,6	443	477,4	409,7
$\phi_{u/w}$ W/h	11	15	18,5	20,3	23,5	30,5	39,5	43
ϕ_{pt} W/h	191,3	165,6	348,8	580,6	658,7	654,7	673,2	581,7
ϕ_{sol} W/h	347	306,7	698,6	884,2	1115,6	1066,7	919,2	758,3
ϕ_{sol} W/h	58,99	52,13	118,8	150,3	189,6	181,3	156,3	129
$\phi_{u/w}$ W/h	156	161,1	361,8	303,6	457	412	246	176,6
η_{inst} %	45	53	52	34	41	39	27	23

- debut du releve à 10^h
- ciel couvert, vent modéré
- eau à 18°C
- orret du T.S à 17^h15

- production journaliere 200l à 62°C en 7^h15'

$$\eta_{global} = \frac{m C_p \Delta T}{Q_{sol}} = \frac{200 \times 1 \times 44}{20403,8} = 43\%$$

Relevé du 26. Avril 1978

horaire	10 ^h	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h
T_a °K	292,5	293	291	293	294	294,5	291	290	288
T_c °K	294	297	297	303	309	309	305	301	297
T_i °K	296	306,5	309	316	325	326	323	320,5	306,5
T_{eap} °K	306	335	330	340	353	355	350	335	330
T_e °K	288	289	289	292	299	310	306	314	322
T_s °K	304	331	328	355	351	352	345	333	324
debit kg/h	4	46,6	38,5	40,2	26,8	28,7	21	38	90
T.e. eau saturant °C	19,5	31,5	43	48	56,5	62,5	43	50	50
ϕ_{aw} w/m ²	65,5	131,3	197	330	498,3	498,3	462,1	344,8	294
ϕ_{ar} w/m ²	4	17	17,5	20,5	31	31,5	32,5	33,5	35
ϕ_{ad} w/m ²	672,8	833,9	761,7	1001	1116,2	912,5	915,7	715,8	457,2
ϕ_{opt} w/m ²	114,87	141,8	129,5	170,1	189,7	177,1	155,1	125,1	77,7
ϕ_{utile} w/m ²	488,9	543,8	417	480	387,1	335	262,8	200,5	50,5
$\phi_{p.e}$ w/m ²	185,87	290	344,7	521	729,1	687,5	652,9	515,3	406,7
η_{sw} %	73	65	55	48	36	32	29	28	11

- debut de l'experience à 9^h30

- nettoyage de la vitre

- ciel couvert dans la matinee.

- passage frequent de nuages le soir } vent assez fort

- à 15^h On a fait un soutirage de 100 l d'eau entre 62,5° et 50°
qu'on a remplacé par un même volume d'eau à 18°C.

- production journaliere: en 8^h30

- 100 l d'eau à une temperature moyenne de 56°C

- 200 l d'eau à 50°C

Relava du 28 Avril 1978

horaire	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h
T _o ambiance °K	289	290	293	293	292	293	289,5
T _c vitre ext °K	292	293	308	303,5	305,5	309	308
T _i vitre int. °K	298	302	315,5	318	315,5	320,5	317
T capteur °K	305	312	344	340	340	340	358
T _e entree °K	300	294	300	297	309	309	330
T _s sortie °K	304	310	341	338	338	336	332
debit kg/h	44,6	18	22	26,1	37,3	29,5	28,5
T _{eau} Cuvo (robinet) °C	31	32	40,5	49	55	59,5	60
φ _{par} W/m ²	130	98	405	347	446,2	531	611,5
φ _{ar.} W/m ²	14	12	27,5	24,5	31,5	29,5	41,5
φ solarimetre W/m ²	233,1	293,9	746,1	805,3	937,7	941,9	805,8
φ _{optique} W/m ²	39,6	49,9	126,8	136,9	159,8	160,1	137
φ _{perdu} Tot W/m ²	123,5	155,7	395,4	426,8	498,1	499,1	427,1
φ _{util} W/m ²	49,5	80,0	187,3	297	299,9	220,8	15,8
η _{inst} %	21	17	25	37	32	23	2

- debut de l' experience à 10^h
- nettoyage de la vitre
- eau à 19°C
- passage frequent de nuage - vent moderé
- orret du T. S. à 17^h16

production journaliere : 200 l à 60°C en 7^h 10

$$\eta_{\text{global}} = \frac{m C_p \Delta T}{Q_{\text{reçu}}} = \frac{200,1 \times 41}{18636,4} = 44\%$$

Relevé : du 1^{er} mai 1978

le relevé de 15^h n'a pas été fait à cause de la pluie

horaire	10 ^h	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	16 ^h	17 ^h
T _a ambiance °K	287	290	291	290	290	286	285,5
T _c vitre ext. °K	294	299	304	304	300	296	292
T _i vitre int. °K	304	313,5	318	322,5	314	306	306,5
T capteur °K	318	340	342	340	338	342	330
T _e entrée °K	289	289	290	296	304	314,5	320
T _s sortie °K	316	338	340	340	336	340	328
debit kg/h	58,3	34,1	28,5	3,7	51		32,4
T eau Cuve (robinet) °C	20°	32	43	49	49	50	50
φ _{air} w/m ²	228	293	425	460	325	323	209,2
φ _{or} w/m ²	15,5	24	24	28	30	41,25	38,5
φ _{solaire} w/m ²	820	941,4	1016,9	642,2	973,9	373,3	385,8
φ _{optique} w/m ²	139,5	160	173	109,2	165,6	63,4	65,6
φ _{perdu Tot} w/m ²	382	317	449	488	355	436,7	451,4
φ _{util} w/m ²	437,5	464	395	45	453,3		72
η _{inst} %	54	49	39	7	47		7

- debut de l'experience à 9^h30
 - nettoyage de la vitre
 - eau à 18°C
 - ciel couvert, vent assez fort
 - arret du f.s à 17^h20
- production journaliere: 200 l en 8h à 50°C

$$\eta_{global} = \frac{\phi_{util}}{\phi_{solaire}} = \frac{\eta_{opt} T}{\phi_{solaire}} = \frac{45 \times 100}{1016,9} = 4,3 +$$

Releve du 12 mai 1978

Horaires	10 ^H	11 ^H	12 ^H	13 ^H	14 ^H	15 ^H	16 ^H	17 ^H
T _a °K	290	296,5	297	297	295,5	294	295	294
T _c °K	293	304	305	307	309	310	311	307
T _λ °K	300	313	318	322	320	322	320	320
T _{app} °K	307	330	338	345	345	350	345	340
T _e °K	291,5	292	293	294	297	310	324	337
T _s °K	305	327	336	342	344	348	344	337
debit l/h	50	41,8	40	41,9	37,3	37,2	53	0
T °C rabit	21	33,5	43	51,5	57,5	61	64	64
φ _{air} W/m ²	97,8	248,5	319	332,5	449,1	532,1	533	431
φ _{ext} W/m ²	8,25	13	17,6	21	25	35	39	43
φ _{tot} W/m ²	581	805,3	979,7	1098,6	1157,8	1111,1	1044,7	856,9
φ _{opt} W/m ²	98,77	136,9	166,5	186,5	196,7	188,9	177,6	145,7
φ _{pt} W/m ²	204,87	398,4	503	540	670,9	756	749,6	619,7
φ _{ukl} W/m ²	376	406,5	476,7	558,4	487	355,1	295	237,2
η _{Inst} %	65	50	48	50	42	31	28	27

- debut de l'experience à 9^H
- nettoyage de la vitre
- eau à 18°C
- ciel assez clair. vent moderé
- arrêt du T.S. à 17^H

production journaliere 200l en 8^H à 64°C

$$\eta_{global} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{Q_{total}} = \frac{200 \times 46 \times 1}{26434} = 34\%$$

Releve du 15 Mai 1978

Horaires	10 ^h	11 ^h	12 ^h	13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	16 ^h 30
T _a °K	291,5	294,5	294	296	294	294,5	295	293
T _c °K	295	303	309	314	316	315	315	314
T _i °K	308	310	315	317	320	318	321	320
T _{op} °K	322	340	345	350	350	352	352	330
T _e °K	296	298	310	317	324	339	340	326
T _s °K	320	336	344	348	350	352	352	326
debit kg/h	46,5	31,7	20,4	19	23,3	40	47	0
T _{amb} °K rotinuetz	26	29	32	36	40	45	50	53
φ _{sol} $\frac{W}{m^2}$	114,5	281	495,5	602	681,7	685,2	668,8	700
φ _{ax} $\frac{W}{m^2}$	16,5	22,5	33	36,5	43	51	51	33
φ _{sol} $\frac{W}{m^2}$	531,3	768,1	868,5	965,5	1076,1	1063,7	1056,3	830,6
φ _{opt} $\frac{W}{m^2}$	90,3	130,5	147	164,1	183	180,7	179,6	141,2
φ _{p.t.} $\frac{W}{m^2}$	221,3	434	676	802,6	907,6	917	899,7	874
φ _{util} $\frac{W}{m^2}$	310	334,1	192,5	162,9	168,9	146	156,6	
η _{util} %	58	43	22	17	16	14	15	

- debut de l'experience à 9^h
- cou à 18°C
- ciel assez couvert. vent modere
- arret du T.S à 16^h30

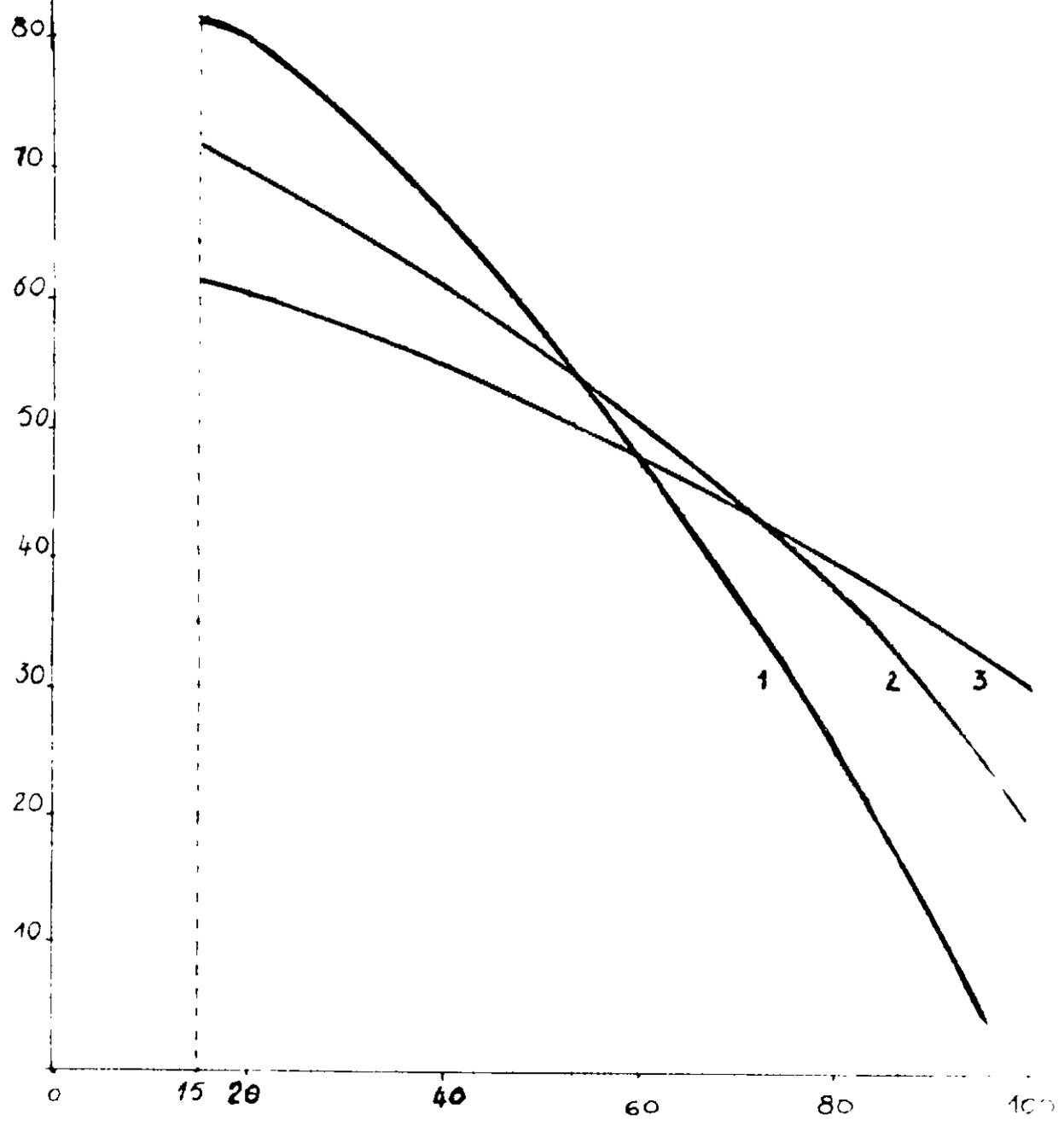
- Production journaliere 200l à 53°C en 8^h

$$\eta_g = \frac{\phi_{util}}{\phi_{sol}} = \frac{35 \times 200 \times 1}{23810} = 29\%$$

4.6 GRAPHIQUE

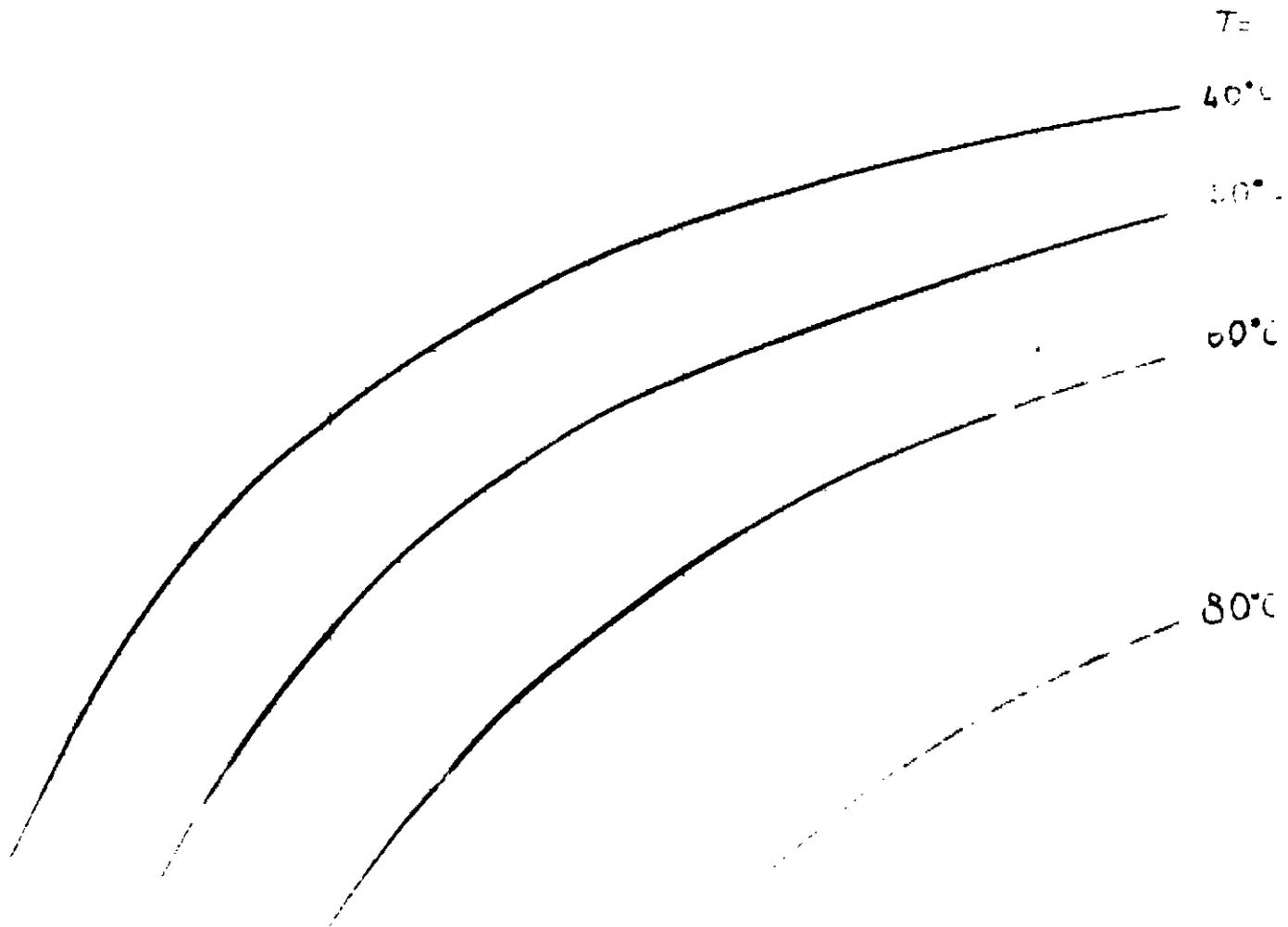
Rendement inst d'isolateurs pour
 différentes températures $\phi_{sd} = 10^\circ$

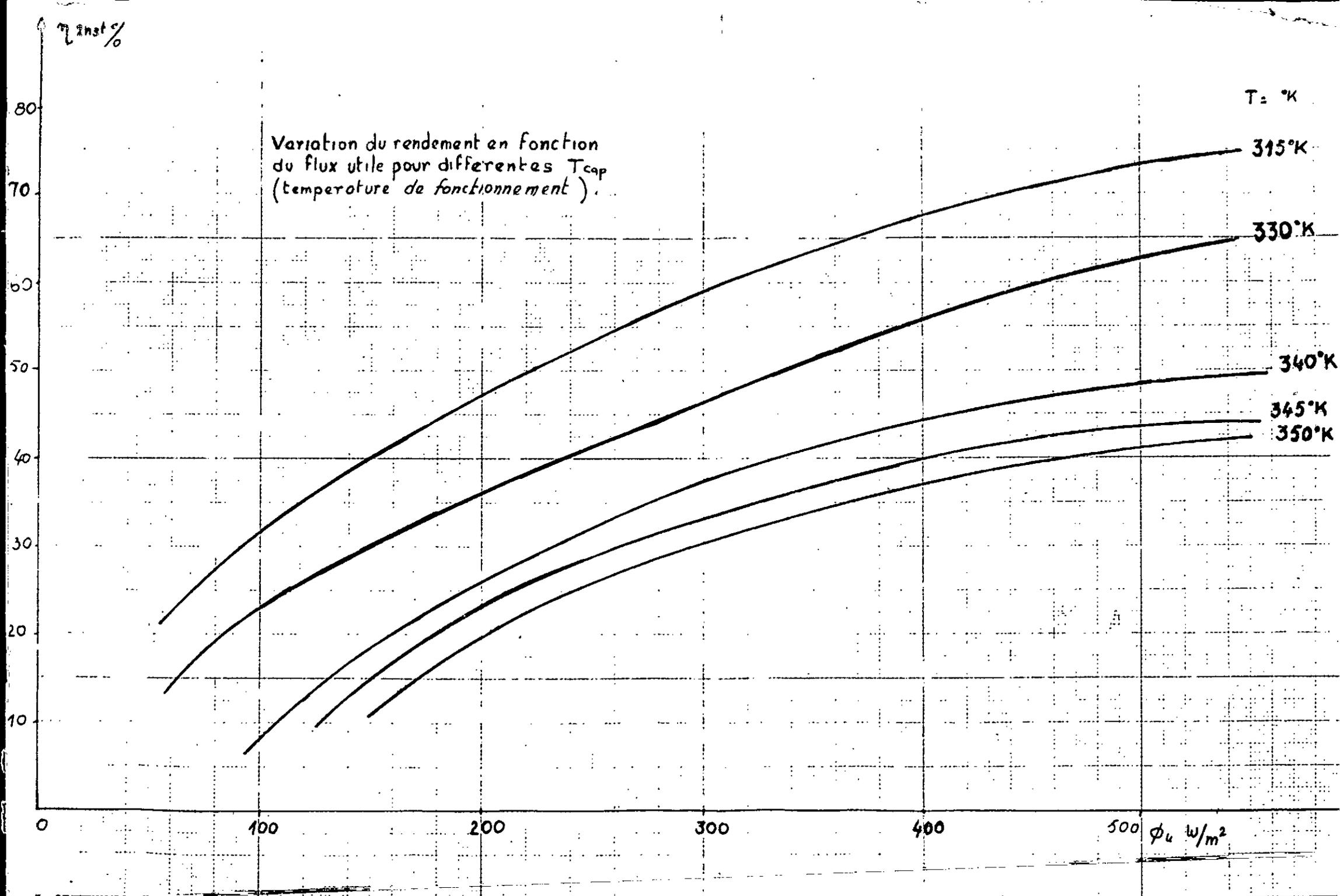
Courbe théorique
 { 1: Une couverture de verre
 2: deux " " "
 3: trois " " "



calculer la courbe théorique de la
pression osmotique pour une
température de 20°C

courbe théorique
 $\pi = 10^5$
 $\pi = 2 \times 10^5$





Variation du flux utile en fonction
du flux solarimétrique pour \neq
différentes températures de
fonctionnement.

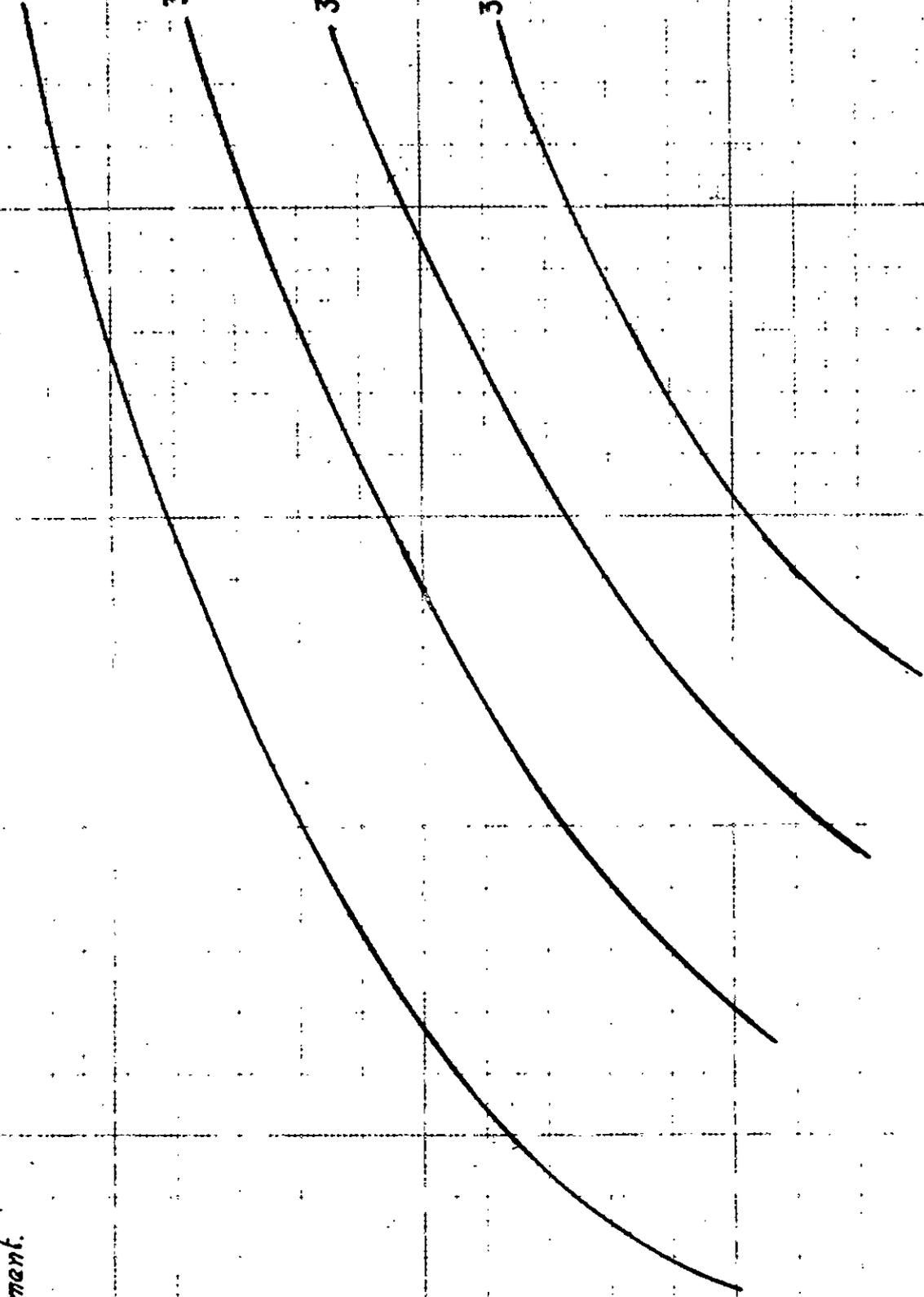
T_2 °K

320

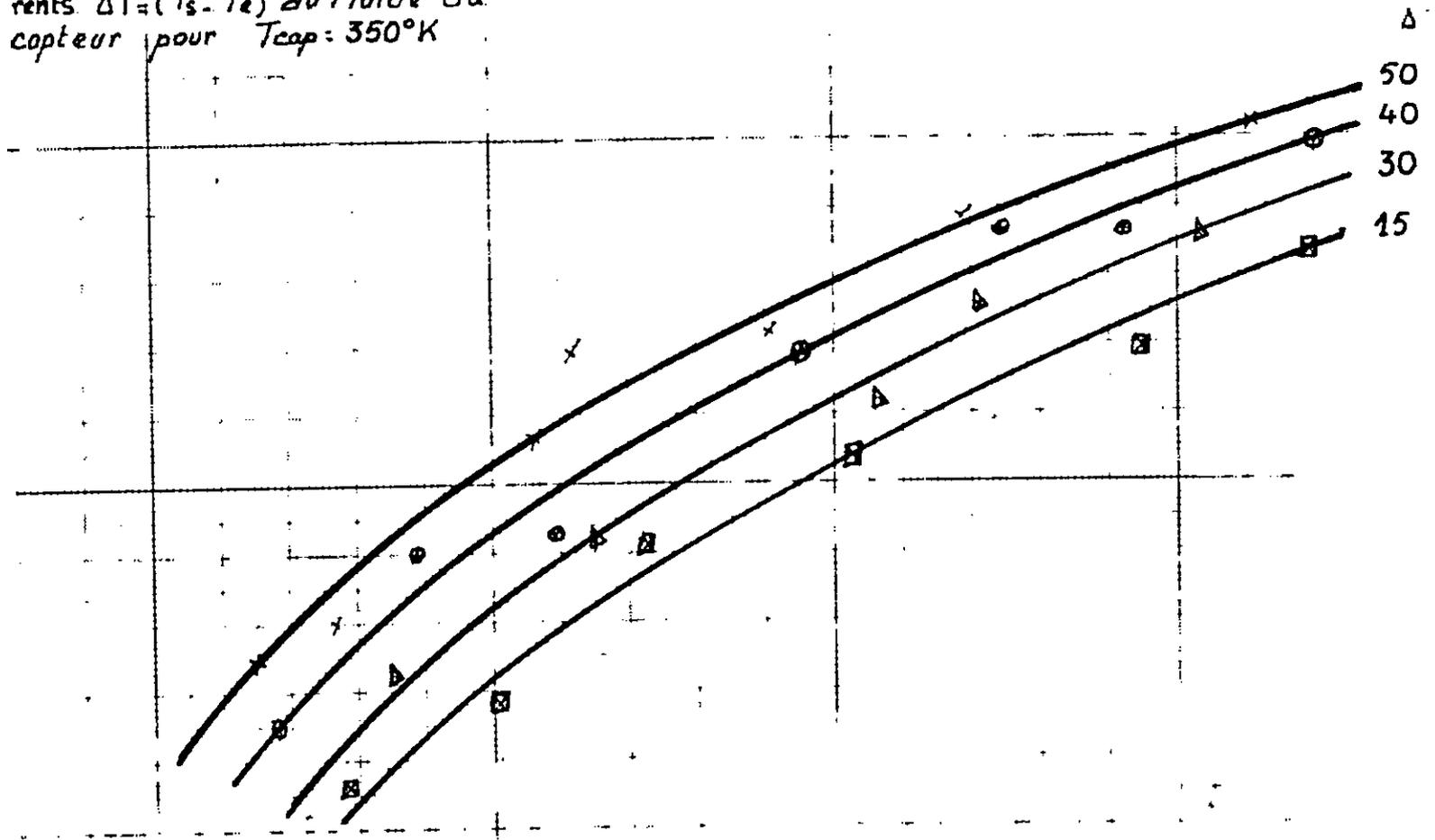
330

340

350



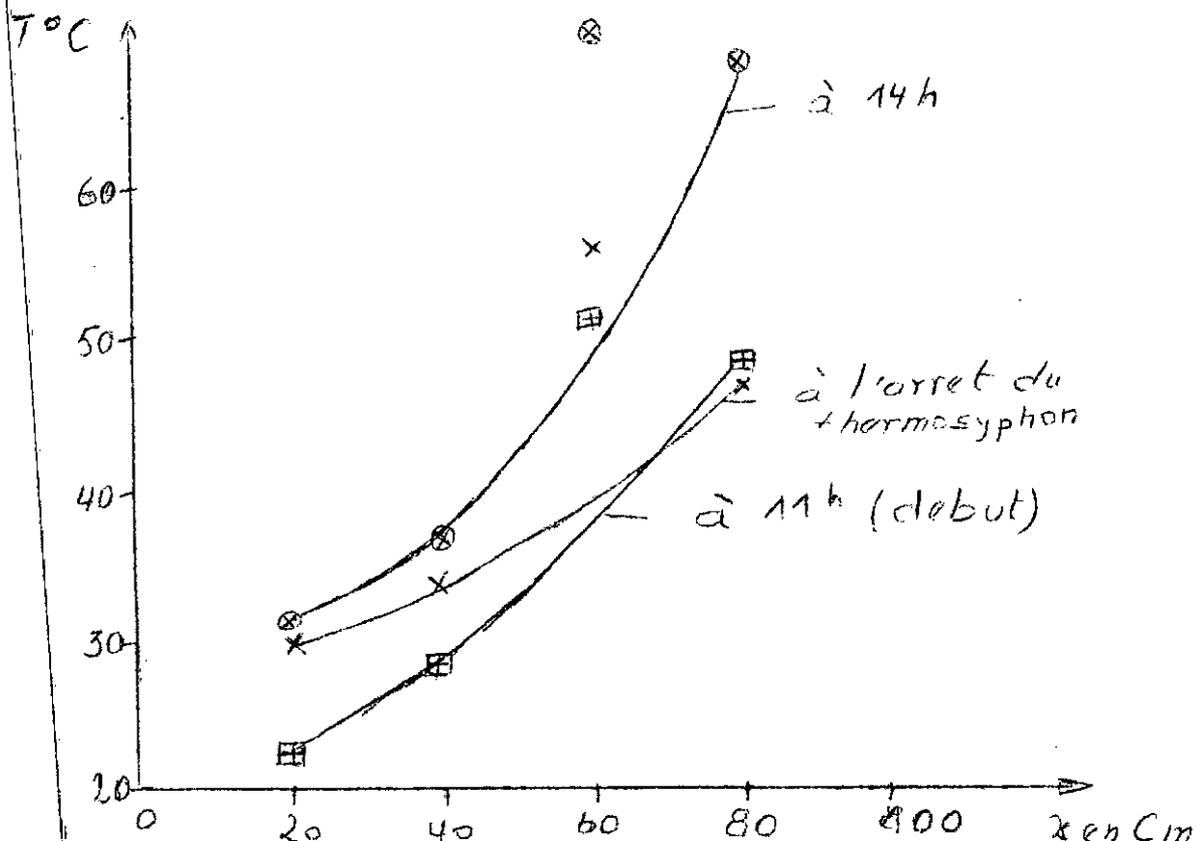
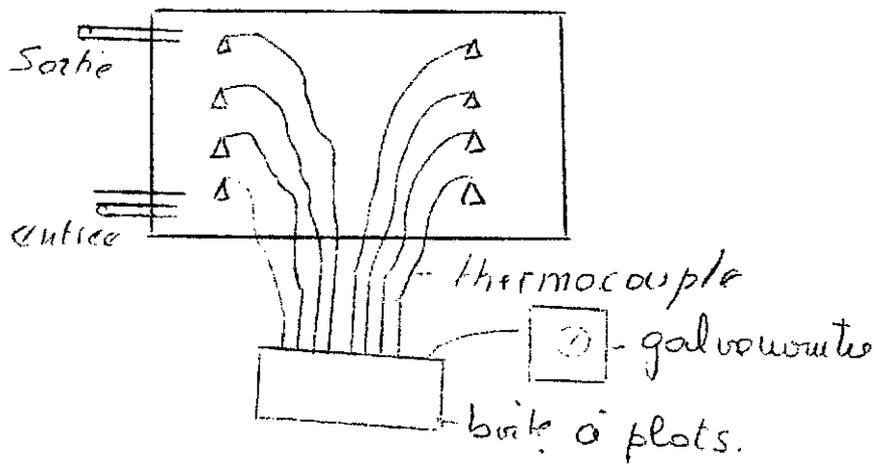
variation du rendement en fonction
du rendement utile pour différents $\Delta T = (T_s - T_e)$ du fluide du
capteur pour $T_{cap} = 350^\circ K$



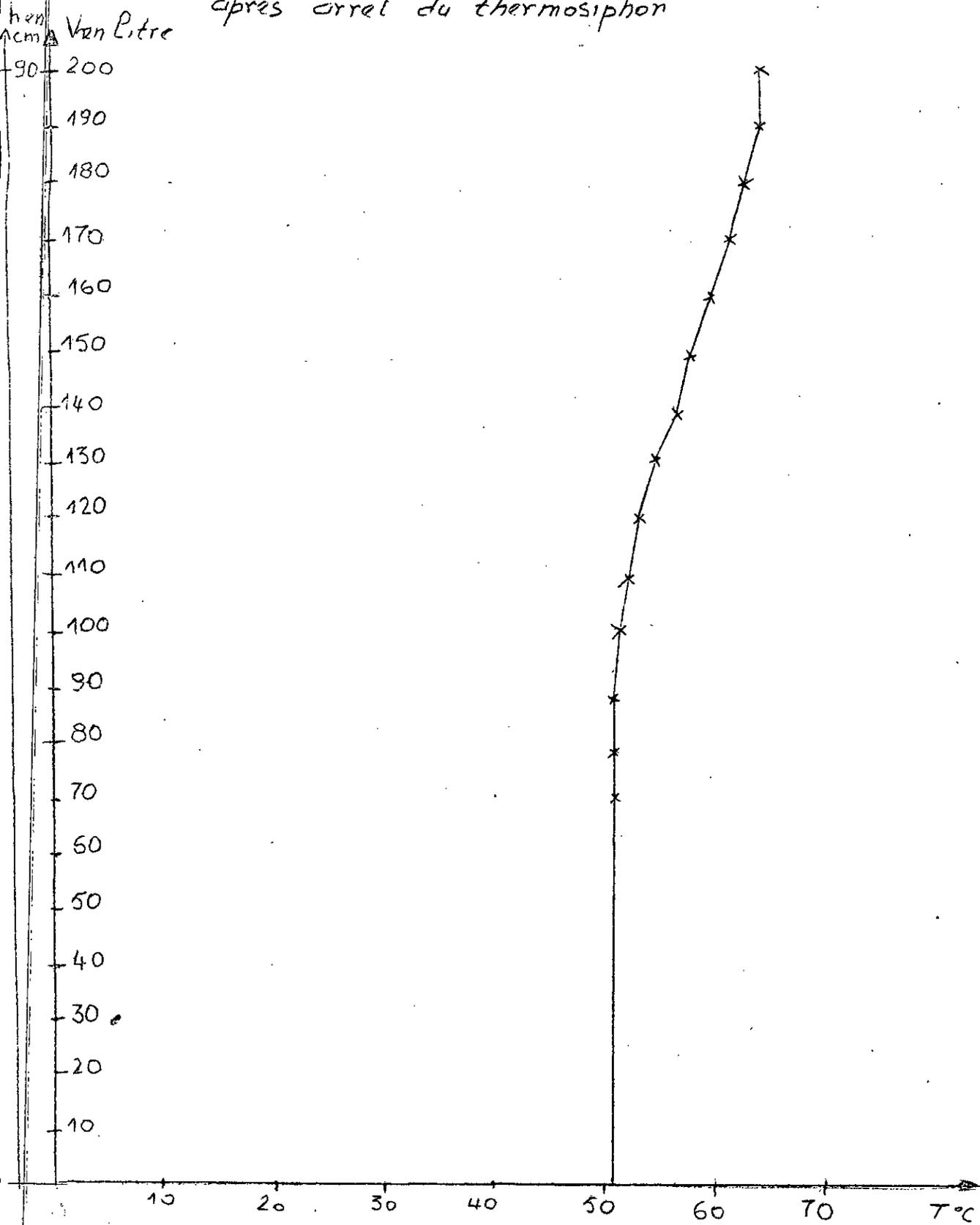
Evolution de la temperature à l'interieur du vitrage.

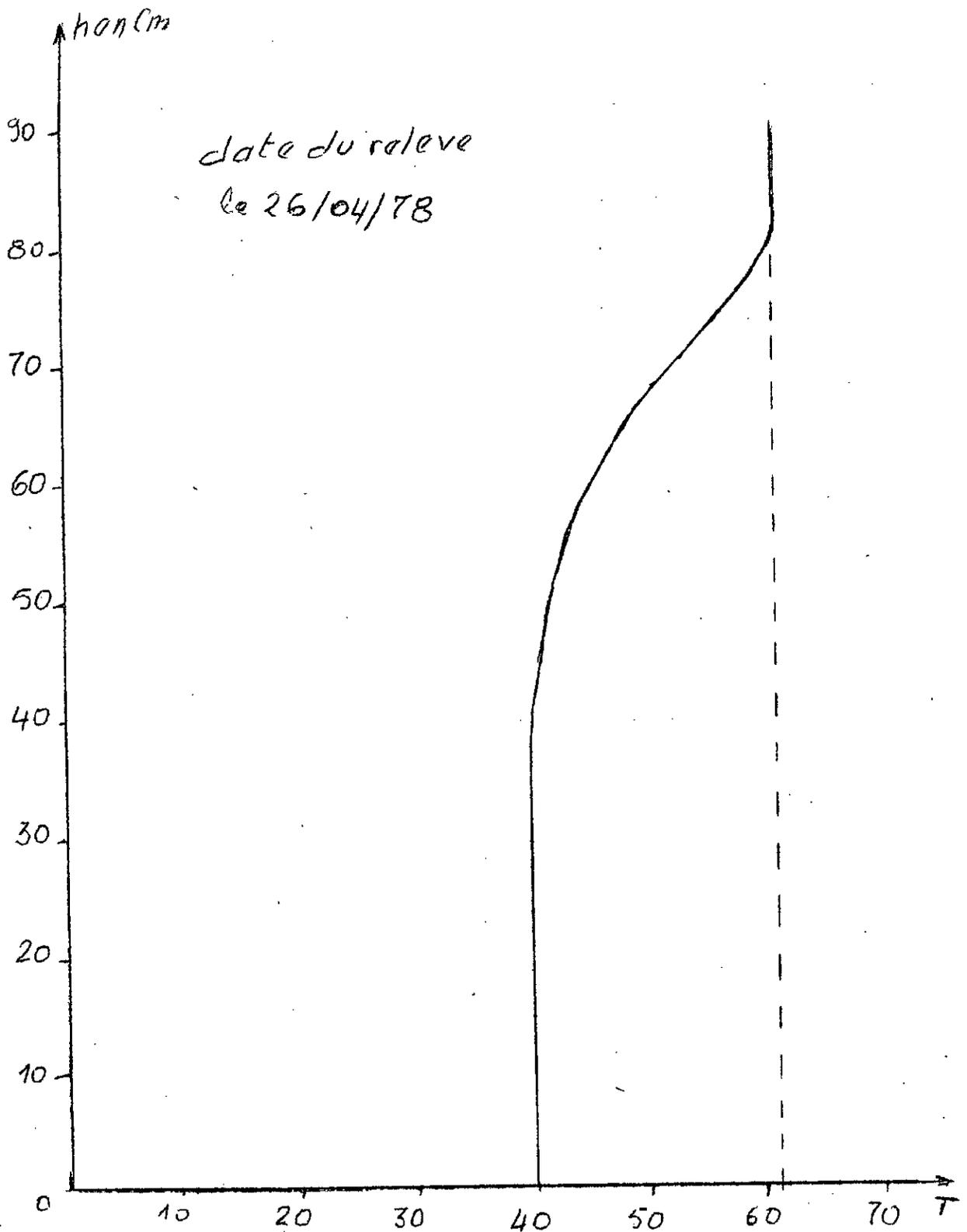
Nous avons pris la temperature de la vitre en 8 points de façon à quadriller toute l'aire de celle-ci.

Nous constatons une variation de temperature importante longitudinalement, par contre transversalement elle est pratiquement nulle.



Temperature de l'eau de la cuve de stockage
après arrêt du thermosiphon





Evolution de la température dans la cuve
de stockage

4.7 Analyse des resultats

Mes tableaux de mesure que nous avons dressés nous permettent de faire une comparaison entre la théorie et la pratique. Pour cela nous avons tracé les courbes nécessaires.

Les resultats obtenus sont plus faibles que les resultats theoriques pour diverses causes.

--Procéde de mesure

-Appareillage de mesure

Conditions climatiques très variables

Nous constatons que le rendement augmente avec le flux utile, qui est fonction de la température de fonctionnement.

Nous confirmons qu'on obtient les meilleurs rendements pour les basses températures de fonctionnement. T_f est fonction de l'ensoleillement et de l'évolution de la température du fluide caloporteur (T_e et T_s).

Aussi nous constatons que nous obtenons les meilleurs rendements pour de grand $\Delta T = T_s - T_e$ (T_s et T_e température de sortie et d'entrée du fluide caloporteur).

Nous concluons que pour une meilleure utilisation il faudrait avoir une basse température T_f et un grand ΔT .

Comme on ne peut agir sur les agents extérieurs (T_a , vent, radiation ...); alors on agit sur les agents intérieurs. Pour cela on maintient T_e la plus basse que possible, ceci est réalisé en soutirant à chaque fois la frange d'eau chauffée qu'on remplace avec l'eau froide ainsi l'eau froide se trouvant au bas de la cuve prend la chaleur au fluide caloporteur au retour vers le capteur.

4.8 Suggestion d'amélioration de la méthode expérimentale

La méthode expérimentale employée dans notre étude n'est certainement pas la meilleure avec les instruments que nous avons eu, seuls des prises de températures étaient possibles.

De plus, la mesure n'a pas été faite en laboratoire "Banc d'essai", mais en plein air, en se rapprochant des conditions analogues à celles auxquelles sera soumis le chauffe-eau, et notamment le verre qui sera soumis aux agents atmosphériques et à la poussière.

Le processus de mesure n'est pas celui utilisé en laboratoire, car nous avons mesuré les pertes d'énergie, avec une marge horaire importante pendant laquelle l'incidence de la radiation directe varie avec le mouvement diurne du soleil, l'incidence étant normale au milieu du jour.

La méthode que nous suggérons est la suivante:

- Placer un débitmètre à la sortie du capteur.
- Placer des prises de température à l'entrée et à la sortie du capteur reliées à un enregistreur de température
- Placer un solarimètre ayant même inclinaison que les capteurs.
- Placer un thermographe (enregistrement de la température ambiante au niveau des capteurs).
- Enregistrement de la vitesse du vent

- Enregistrement du degré de l'humidité relative
- Eventuellement la pression atmosphérique.

Nous pensons qu'en utilisant tous ces accessoires de mesures, les résultats seront plus proches de la réalité.

En procédant ainsi, nous pourrions avoir le rendement instantané expérimental. Aussi le travail sera plus aisé. Nous souhaiterions que d'autres amateurs aient à loisir de continuer un travail qui n'a que commencé.

/// H A P I T R E (5)

5 " REALISATION DU CHAUFFE-EAU DE LA CANTINE "

5- " ETUDE CRITIQUE ET ECONOMIQUE "

5.1 PROblemes technologiques rencontrés.

La tôle choisie pour la confection des capteurs était d'une épaisseur de 0,8 mm et de forma 1000x2000 , au cours des opérations de soudage elle s'est gondolée bien que les bords fussent "tombés de 3 cm ".

Au cour de l'opération de soudure par pointe des rondelles, la tôle se brulait par endroit

Pour résoudre en partie ces problèmes la solution suivante était retenue:

-Augmentation de l'épaisseur de la tôle 1mm au lieu de 0,8 mm.

Nous avons réalisé les capteurs pour le chauffe eau de la cantine, en optant pour cette solution, les résultats étaient satisfaisants!

- pas de brûlures de la tôle
- Les soudures par pointe des rondelles n'ont pas sauté.

l'inconvénient payeur de cette solution réside dans l'augmentation du poids de l'installation.

5.2 Etude critique:

La réalisation des capteurs a été faite en tôle noire ordinaire (Acier)

Avantage:-Facilité de réalisation

- Prix de revient réduit
- Disponibilité sur le marché
- Montage facile
- Transport sans risques de détérioration

Inconvénient:

- Poids important
- Mauvaise tenue aux agents atmosphériques

-Entretien coûteux (peinture au moins que fois par an)

&-Sortie du fluide caloporteur:

pour la sortie du fluide caloporteur , il faudrait la placer plus haut c'est à dire au point le plus chaud (ceci en applatissant le tube qu'on soude aux bord sur la fase latérale du capteur). La réalisation n'a pas été faite pour des difficultés technologiques

Le boitier:

Le boitier en tole noire à l'avantage d'être facilement réalisable, de maintenir au mieux le capteur (rigilité) , d'être à bon prix.mais facilité

Les pertes thermiques sont inportantes, pour Yremedier , il serait souhaitable de'utiliser d'autre matériaux repondant aux criteres:

-Rigidité

-Facilité de réalisation et de montage.

-disponibilité et bas prix.

-coefficient de conductibilité bas.

-les matériaux possible qu'on peut utiliser

-Le bois: dureé de vie limitée.

-coque isolante: en fibre de verre; de mande une préparation assez serieuse,

-Plastique: fibre de verre et resine.

Cette solution. est de plus en plus employée pour ses avantages , elle remplit au mieux les conditions exigées et ce pour un bon prix.

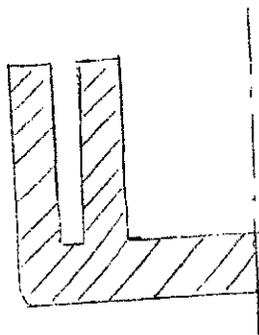
-La cuve:

la cuve utilisée pour nos essais est un fût métallique. Les pertes hhermiques sont importantes. L'utilisation d'une cuve en amiante siment permet d'attenuer ces pertes . De plus elle presente l'avantage d'être:

-Facilement usinable (perçage).

-Légère

Il est utile de rappeler la suggestion (14) suivante:
Cuve à double paroi ou cuves emboîtées.



5.3 Etude économique:

Il est utile de rappeler que si l'énergie solaire est gratuite, cela ne doit pas entraîner d'illusion sur le prix de revient réel de l'énergie utilisable. Les frais d'investissement et d'entretien ne doivent pas dépasser un certain niveau.

Pour établir qu'un appareil fonctionnant à l'énergie solaire est économique, il faudrait le comparer avec un appareil semblable utilisant comme source d'énergie une énergie conventionnelle (fuel, charbon...); et ceci dans les mêmes conditions. Ce calcul n'est valable qu'en un lieu donné, car d'un pays à l'autre, beaucoup de paramètres peuvent changer (éclairage énergétique; prix du Kwh conventionnelle...).

- pour notre chauffe-eau, l'estimation du prix de revient est donnée dans le tableau suivant:

Designation	Matière	Quantité	Poids	Prix de revient (D.A)
Isolateurs	Toile noire	2	52	350
Boitier	Toile noire	2	34	150
Tuyauterie	Acier Galv	2 m		12
Raccords	Fonte	20		60
Echangeur	Acier	1		324
Cuve	Acier	1		10
Isolation	Laine de Verre	10m		300
Vitre	Verre (4mm)	4m ²		100
Gaine de protection Cuve	Tôle noire	2m ²	9,42	22,4
Joint étanchéité pour le vitrage	néoprène	16m ²		132,8
Total				1461,2 DA

N.B La main d'oeuvre pour le montage n'a pas été évaluée.

5.4 Présentation du chauffe-eau de la cantine:

Surface de captation : 4 m².

Quantité d'eau à chauffer : 200 L

Capteurs en toles noires

-Format : 1000X2000

-Épaisseur de: 1mm

-Épaisseur de l'alame d'eau 2mm

Boitier en toles noires.

Vitrage : Verre d'épaisseur 4 mm.

Isolation : liège.

Cuve: en amiante -ciment

-contenance: 300l

-Sert à stocker l'eau chaude.

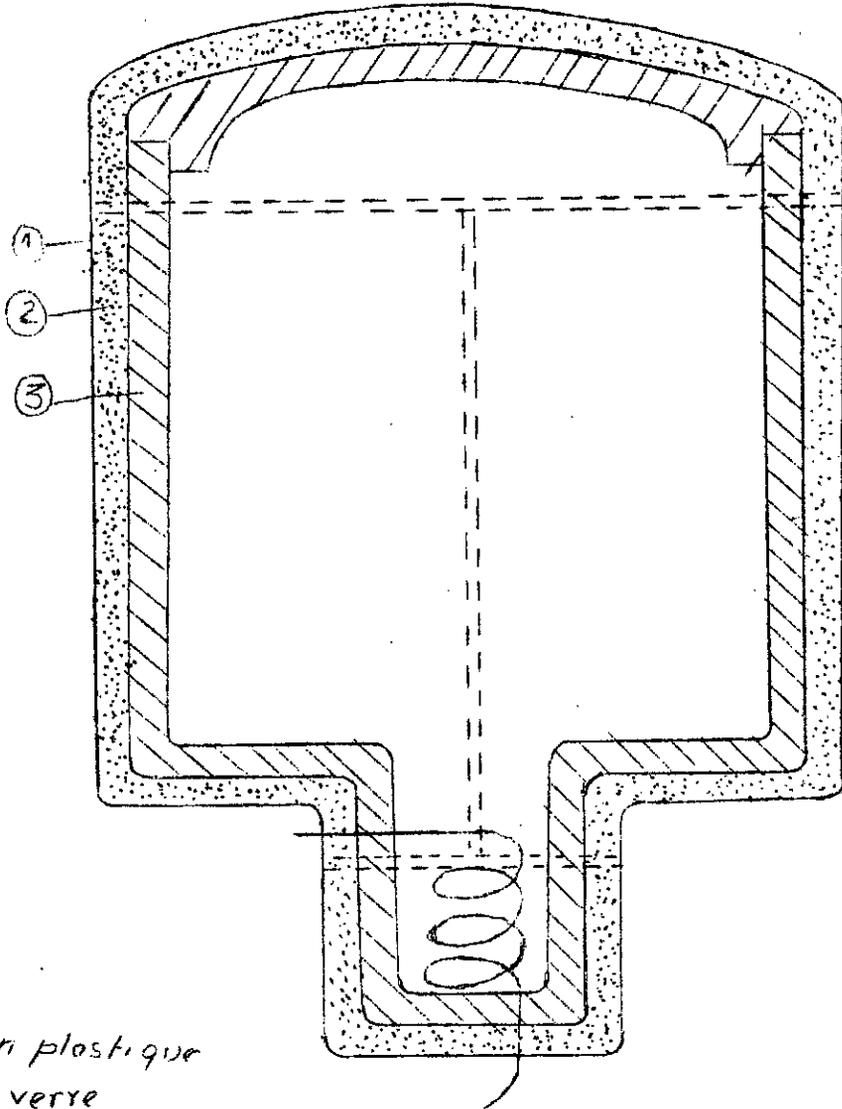
-Soutirage de l'eau chaude.
tuyau flexible muni d'un flotteur

-Alimentation en eau froide :
par caisse à eau et robinet à eau
flotteur.

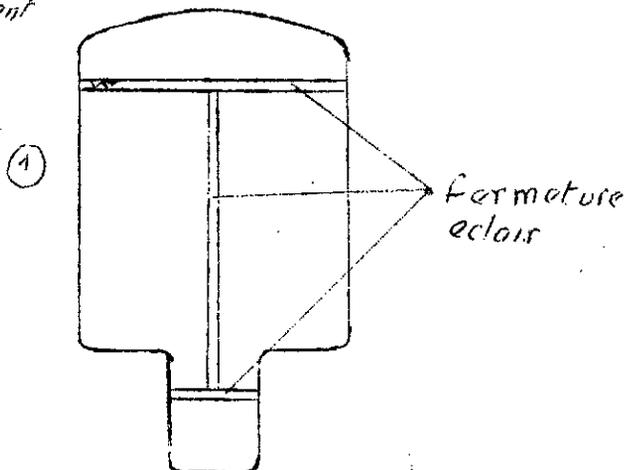
Fonctionnement : par thermosiphon

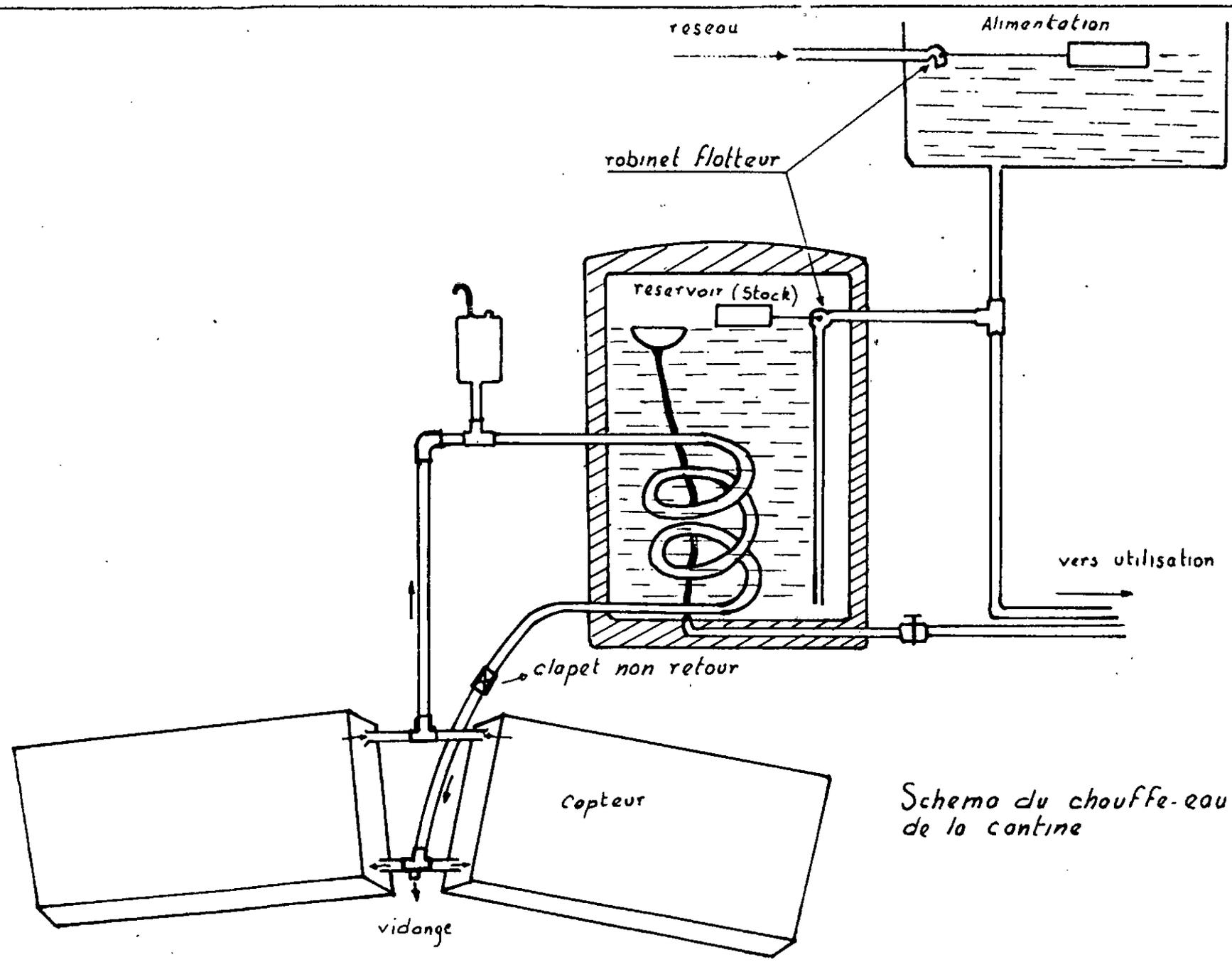
fluide caloporteur : eau distillée + eau
de pluie.

Solution proposée: pour la cuve de "Stockage" du chauffe-eau
de la cantine



- ①. gaine en plastique
- ②. laine de verre
- ③. Cuve en amianteciment





Schema du chauffe-eau de la cantine

5 . 5 ^{IT}+ O N C L U S I O N

Notre ambition a été au début de ce travail de tester plusieurs types de capteurs en agissant surtout sur l'épaisseur de la "lame fluide" avec des prises de températures à différents niveaux température de sortie et d'entrée du fluide caloporteur de la plaque (surface noire) de la vitre et d'en faire ressortir les performances . Ce travail aurait pu nous fournir tous les éléments nécessaires pour une étude approfondie , à caractère comparatif surtout.

Malheureusement, la réalisation du chauffe-eau de la cantine n'a pas été faite à temps . Ainsi nous avons dû limiter notre étude au premier type de capteur ("lame fluide de 3mm").

Pour cela , nous avons jugé donc plus raisonnable de mettre au point dans une première phase , une installation très simple qui nous a permis d'effectuer nos essais et d'entrevoir de là , les moyens d'amélioration et les modifications nécessaires à apporter à la conception de la méthode expérimentale, aux matériaux possibles pour la réalisation des boîtiers et la cuve...

Aussi l'indisponibilité de résultats expérimentaux concernant des tests de chauffe-eau solaire a diminué considérablement notre travail. Il aurait été souhaitable si nous avions pu effectuer une étude comparative . Cela nous a obligés à discuter seulement nos résultats sans pouvoir affirmer s'ils sont dans les normes pour pouvoir déceler les sources d'erreur possibles.

Pour conclure nous aimerions ajouter que notre travail a été très intéressant et nous regrettons sincèrement de ne pas avoir eu le temps de mener à bout tous les essais que nous aurions aimé effectuer.

Cependant beaucoup de choses restent à faire dans ce domaine au niveau de la Station de l'Energie Solaire de Bouzareah . Le premier pas a été fait, il ne demande qu'à être amélioré.

Esperons seulement que le soleil ne disparaîtrait pas souvent sous les sombres nuages et qu'il continuerait à briller assez longtemps...

II -) N N E X E

ANNEXE.

I. Etude des différents composants:I.I Converture

1.1.1 Le verre est surtout utilisé à cause de sa grande transmission (90%) des courtes longueurs d'onde que forme le rayonnement solaire et à cause de sa très faible transmission des grandes longueurs d'onde formant l'émission de la plaque absorbante.

Le rayonnement infra-rouge de la vitre se faisant sur les deux faces, il peut sembler intéressant d'utiliser plusieurs vitrages pour récupérer au maximum ce rayonnement thermique. En fait le coefficient de transmission du rayonnement solaire étant inférieur à 1, un optimum est à trouver entre les pertes par rayonnement de la vitre et les pertes dues à la diminution de la transmission. Le double vitrage est très souvent une réponse honnête à cette formulation.

La transmission du rayonnement diffus est sensiblement constante - celle du rayonnement direct est fonction de l'angle d'incidence.

Le tableau suivant donne quelques valeurs caractéristiques de cette transmission pour du verre ordinaire.

	Pour le Diffus	Pour le 0	Pour le 20	direct 40	d'incidence 50	60	70	80
TRANSMISSION SIMPLE VITRAGE	0,70	0,80	0,80	0,79	0,77	0,72	0,60	0,38
TRANSMISSION DOUBLE VITRAGE	0,62	0,75	0,75	0,72	0,68	0,60	0,48	0,28

Ce coefficient est nettement inférieur dans le cas d'une surface recouverte de MgF_2 . Néanmoins notons que pour une incidence normale, il augmente pour les grandes longueurs d'ondes, c'est à dire pour les radiations thermiques.

Des expériences similaires ont été réalisées avec l'oxyde d'étain (SnO_2) et l'oxyde d'indium (In_2O_3), qui sont transparents pour le visible, mais ont un pouvoir réflecteur très grand dans l'infrarouge.

L'utilisation du verre à faible teneur en fer augmente également transmission du rayonnement solaire.

1.1.2 Utilisation de couvertures en plastique:

Les films ou pellicules en plastique possèdent également une transmission importante pour les courtes longueurs d'ondes, mais la plupart des variétés utilisées ont une bande de transmission au milieu du spectre de radiation thermique et celles peuvent avoir des transmissions pour les grandes longueurs d'onde de l'ordre de 40%. Les plastique posent également le problème de leur dégradation aux U.V. mais présentent l'avantage de résister à la grêle et autres chutes; en films très minces, ils sont complètement flexibles.

1.2 Absorbéur

Cette plaque devra absorber le maximum de radiation transmise au travers du vitrage, en remettre le minimum et transférer le maximum de l'énergie retenue au fluide caloporteur.

Pour une plaque classique, peinte en noir, l'absorption en fonction de l'angle d'incidence est la suivante:

Angle D'inci	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
% absorbé (plaque peinte en noir)	96	96	96	95	94	92	88	82	67	0

les matériaux utilisés sont surtout les métaux : acier, cuivre, aluminium, mais il est également possible d'utiliser des plastiques encore que ceux-ci vieillissent rapidement sous l'action des U.V. et de chaleur.

Certains radiateurs classiques, mais très plats peuvent également servir d'absorbeurs.

1.2.1 Utilisation de surfaces sélectives

De nombreuses études ont été faites dans le monde pour augmenter les propriétés de la plaque absorbante, particulièrement pour diminuer les pertes par rayonnement qui deviennent importantes lorsque la température de la plaque augmente (au delà de 80°C).

Des absorbeurs sélectifs (absorbant dans le spectre visible et faiblement émissifs dans l'I.R.) permettent de réduire ces pertes.

Plusieurs types d'absorbeurs sélectifs peuvent être envisagés:

- absorbeur résultant de l'interférence de plusieurs couches déposées sur une base émissive. Le dépôt rendant l'ensemble absorbant pour le rayonnement solaire et transparent pour les rayonnements de grandes longueurs d'ondes.

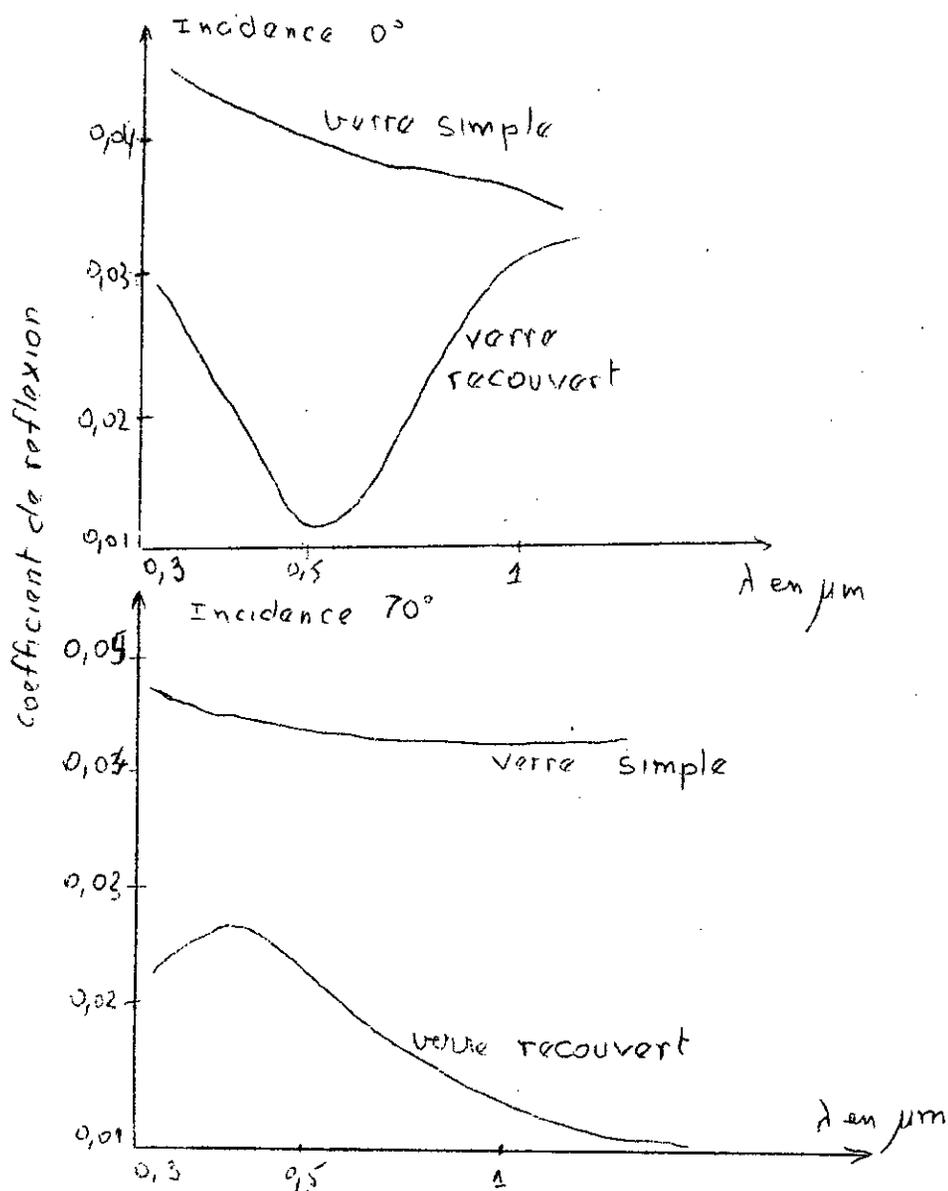
- absorbeur résultant du dépôt d'un matériau transparent dans le visible et réflecteur dans l'I.R. sur une base absorbante dans tout le spectre.

Par des traitements de la couverture, il est possible d'augmenter la transmission de celle-ci.

-En diminuant la perte par réflexion par des traitements anti-reflets.

Des expériences concluantes ont été réalisées avec des dépôts de fluorure de magnésium sur du verre ordinaire

Les courbes suivantes les valeurs du coefficient de réflexion pour du verre sodocalcique simple ou recouvert d'une couche de $0,087 \mu\text{m}$ de MgF_2 , à l'incidence normale et pour une incidence de 70°



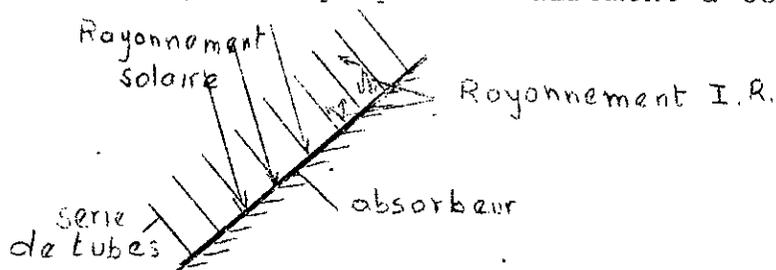
-absorbeur ayant un état de surface particulier donnant lieu à des réflexions multiples, et dont le bilan correspond à un coefficient alpha très grand et à une émissivité faible.

C'est surtout le premier type de surfaces qui a été le plus développé jusqu'à maintenant.

1.2.2 Utilisation des surfaces anti-rayonnantes:

La sélectivité de la surface rayonnante de l'absorbeur diminue son pouvoir émissif, mais ne permet pas de diminuer les pertes par convection à la surface de l'absorbeur.

Il est possible de réduire les pertes par rayonnement et les pertes par convection en recouvrant l'absorbeur de tubes de verre placés perpendiculairement à celui-ci.



Ces tubes sont transparents pour le rayonnement solaire, mais absorbent presque intégralement le rayonnement I.R. émis par l'absorbeur. Ils vont donc s'échauffer et rayonner mais leurs structures sont telles, qu'ils rayonneront sur eux-mêmes. On les appelle structure anti-rayonnante, ou nid d'abeilles. Ces cellules réalisent un effet de serre meilleur qu'un verre.

1.3 Fluide caloporteur

-Le liquide caloporteur utilisé couramment est l'eau additionnée, lorsque ceci s'avère nécessaire, d'un antigel

l'utilisation d'autres liquide peut-être intéressante dans le cas où la température en régime statique ou dynamique peut dépasser 100°C.

L'air est le seul fluide gazeux utilisé dans les capteurs gaz.

1.4 Coffrage

Différents matériaux ont été utilisés pour le coffrage

- Tôle ordinaire
- Fibre de verre
- Mousse de polyméthane
- Mousse de pol yvinylchlorure.

Le matériau choisi devra résister aux variations répétées de température , aux chocs et à l'attageu des agents corrosifs.

1.5 Isolation arrière et latérale.

Afin d'éviter les pertes à l'arrière et sur les côtés de l'absorbeur, il est indispensable d'assurer unebonne isolation de ces pertées.

Pour cela, on tapisse le fond pt les côtés du capteur de couches d'isolants.

les matériauxutilisés sont:

- La laine de verre
- Le polyurethane
- Le polystyrène expansé
- Le liège
- l'isolant idéal étant le vide

1.6 Autres composants

1.6.1 L'épaisseur de la lame liquide

Elle a une influence sur l'inertie du capteur et sur les conditions de circulation du liquide à l'intérieur de l'absorbeur; (ceci est très importan dans le cas de circulation par thermosiphon).

1.6.2 Épaisseur de la lame d'air entre la surface de l'absorbeur et la couverture.

Une augmentation de cette épaisseur accroît les pertes par convection, mais diminue celles par conduction. (13)

Ordre de grandeur de la lame d'air:

25 mm pour un lieu bien ensoleillé

30 mm pour une région -moins ensoleillé

