

PROJET
DE FIN D'ETUDES

Gm.0585

Titre: *L'opteur Solaire*

Plan à Ruissellement

1980

Auteur : Jean-Noël DIOUF

Directeurs de Projet:

Genia Mécanique

Dinh Vo NGOC - Vinh NGUYEN DUU

SOMMAIRE

Il s'agit pour ce travail d'une étude expérimentale d'un capteur solaire plan à ruissellement.

Après réalisation et analyse des résultats, les rendements globaux de l'appareil se situent à :

- 13 % avec plaque lisse et sans effet de serre,
- 24 % avec plaque lisse et effet de serre,
- 21 % avec plaque avec galets et effet de serre. Le

dernier résultat doit être considéré avec réserve parce que non significatif (une journée de mesure uniquement). Des écarts de température de l'ordre de 34°C ont été enregistrés lors des mesures réalisées dans différentes conditions atmosphériques, alors qu'en même temps on recueillait de l'eau distillée à un débit moyen de $0,2$ litre / heure

REMERCIEMENTS

Mes remerciements sincères vont à ceux qui de près ou de loin, ont participé à la bonne marche du projet et particulièrement à :

- Messieurs DINH VO NGOC et VINH NGUYEN DUY pour leur participation active, l'intéressement et la disponibilité dont ils ont fait montre tout au long de ce travail.

- Mr DORIEN MAROIS qui m'a ménagé aucun effort pour la réalisation pratique et pour son expérience qu'il a mise au service de cette réalisation. Il est à noter que l'idée de ce projet fut celle de Mr Marois.

Enfin, je remercie tous les autres élèves ayant un projet portant sur l'énergie solaire et qui, en aucun moment, n'ont hésité de communiquer entre eux pour la recherche de solutions viables.

TABLE DES MATIERES

	Page
<u>NOTATION</u>	VII
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I</u> : <u>GENERALITES SUR L'ENERGIE</u> <u>ET LE CAPTEUR SOLAIRES</u>	3
I.1 Rayonnement	3
I.2 Le corps noir	4
I.3 Rayonnement solaire	5
I.4 Effet de serre	7
I.5 Mécanismes des pertes dans l'insolateur	9
I.5.1 Pertes par conduction	10
I.5.2 Pertes par convection	12
I.5.3 Pertes par rayonnement	13
I.6 Ecoulement d'un fluide sur plaque plane et transmission de chaleur	14
I.7 Condensation	14

<u>CHAPITRE II</u> :		<u>MONTAGE EXPERIMENTAL ET</u>
		<u>DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS</u> ... 15
II.1	Principe de fonctionnement	17
II.2	Insolateur	17
	II.2.1 Dimensionnement de la plaque	18
	II.2.2 Isolation de l'insolateur	18
II.3	Réservoir	22
	II.3.1 Isolation du réservoir	23
II.4	Conduites de circulation	26
	II.4.1 Boyau d'amenée	26
	II.4.2 Boyau de retour	28
II.5	Distributeur	27

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1	Essais préliminaires	29
	III.1.1 Débit maximal admissible	29
	III.1.2 Débit pour mouiller toute la plaque	30
	III.1.3 Débit (constant) de la pompe	31
	III.1.4 Valeur calorifique de la pompe	32
III.2	Mesures sans effet de serre, plaque lisse	35
III.3	Mesures avec effet de serre, plaque lisse	37

III.4	Mesures avec effet de serre, plaque avec galets	40
III.5	Courbes des mesures	41

CHAPITRE IV : ANALYSE DES RESULTATS

	<u>ET DISCUSSION</u>	54
IV.1	Calcul de rendement	54
IV.2	Discussion des résultats	55
	IV.2.1 Plaque lisse, sans effet de serre	55
	IV.2.2 Plaque lisse, effet de serre	56
	IV.2.3 Plaque avec galets, effet de serre	57
IV.3	Difficultés rencontrées	58
	IV.3.1 Condensation	58
	IV.3.2 Écoulement	58
IV.4	Calcul du coût de l'installation	59

<u>CONCLUSION</u>	62
-------------------------	----

<u>ANNEXE I : DIMENSIONNEMENT DE L'INSOLATEUR A PARTIR DU COEFFICIENT DE TRANSFERT GLOBAL</u> ..	64
--	----

<u>ANNEXE II : APPLICATION DU CAPTEUR EN TANT QUE SECHOIR</u>	67
---	----

<u>REFERENCES</u>	68
-------------------------	----

NOTATION

- H : heure
- s : seconde
- t : temps
- T : température en °C
- T_b : température à 5 cm du bas du réservoir (eau)
- T_m : température à du bas du réservoir (eau)
- T_h : température à du bas du réservoir (air)
- T_s : température de la plaque d'aluminium de l'isolateur
- T_u : température de la plaque de plexiglas
- T_c : température de l'air confiné dans l'isolateur
- T_{a0} : température de l'air ambiant, à l'ombre
- $T_{a,s}$: température de l'air ambiant, au soleil
- q : flux de chaleur (W/m^2)
- Q : débit de chaleur (W)
- k : conductivité thermique ($W/m^\circ C$)
- μ : micron
- h : coefficient de transfert de chaleur
- E : ensoleillement (en W/m^2)

INTRODUCTION

a/ Avant-propos

La flambée des prix pétroliers à la fin de 1973 a suscité entre autres réactions, un bouillonnement d'idées, un foisonnement de propositions et même l'éclosion de quelques initiatives tendant, face à des énergies fossiles tout d'un coup fortement renchéries, à organiser l'utilisation de sources non conventionnelles négligées jusque là par l'industrie. Parmi ces énergies dites aussi nouvelles ou renouvelables, s'insère de façon presque prépondérante l'énergie solaire qui est essentiellement périodique (jour et nuit), aléatoire (ciel couvert ou non) et diffuse mais à notre échelle inépuisable.

b/ Problème

Notre prétention n'est pas de participer ici à l'intégration industrielle de ces énergies nouvelles mais de chercher à atteindre les principaux objectifs suivants:

- * de concevoir et réaliser un insolateur à ruissellement simple avec du matériel trouvé au pays et avec les moyens du bord (via donc une technologie appropriée)
- * étudier expérimentalement les caractéristiques de l'in-

solateur (débit, température, écoulement, rendement...)

* évaluer le prix d'un tel insolateur

+ lui trouver d'autres applications possibles.

— • —

CHAPITRE I - GENERALITES SUR L'ENERGIE ET LE CAPTEUR SOLAIRES

I-1 RAYONNEMENT :

Tout corps à haute température transmet de la chaleur vers un autre à basse température lorsqu'ils sont séparés dans l'espace par un milieu transparent ou même lorsqu'un vide existe entre eux. Tous les corps émettent donc de façon continue de la chaleur par rayonnement dont l'intensité dépend de la température et de la nature de la surface. Le tableau I-1 ci-dessous en donne l'illustration

Tableau I-1 : Température et Longueur d'onde

(2)

Température °C	-50	0	50	100	1000	3000	5530
Longueur d'onde μ	13	10.6	9	7.8	2.3	0.80	0.50

De plus, cette énergie est émise sous forme d'ondes électromagnétiques caractérisées par leur longueur d'onde. Le tableau 2 permet de relier type d'onde et longueur d'onde. L'absorption, la réflexion, la diffusion et la transmission d'un rayonnement par un obstacle dépendent de sa longueur d'onde (ou les

longueurs d'ondes la composant) : un mur de béton est opaque aux rayons lumineux mais laisse passer les ondes radio.

Tableau I.2 : Type d'ondes et longueur d'onde

(2)

Type d'ondes	rayons X	ultra-violet	lumière visible	Infra-rouge	ondes radio
Longueurs d'ondes (μ)	de 0.025 à	de 0.02 à 0.04	de 0.4 à 0.8	de 0.8 à 150	quelques cm à plusieurs km

I. 2 Le CORPS NOIR

Le corps noir (ou radiateur idéal) émet et absorbe à toute température, la quantité maximale de rayonnement de n'importe quelle longueur d'onde. La chaleur rayonnée par un corps noir est donnée par la loi de Stefan-Boltzman

$$q = \frac{Q}{A} = \sigma T^4 \quad (1)$$

où q = flux de chaleur (Kcal/hm² ou Kw/m²)

Q = débit de chaleur (Kcal/h ou Kw)

A = surface d'émission

σ = 4.88×10^{-8} Kcal/h m²(°K)⁴

T = température absolue du corps (°K)

Pour une température donnée, la puissance émissive spectrale qui est caractérisée pour un corps noir par l'énergie émise par

unité de temps et unité de surface dans l'intervalle de longueurs d'onde $\lambda + d\lambda$, par un maximum $\lambda = \lambda_{\max}$ et

[1] $\lambda_{\max} T = 2898 \mu K$ (loi de Wien) (cf figure I-1)

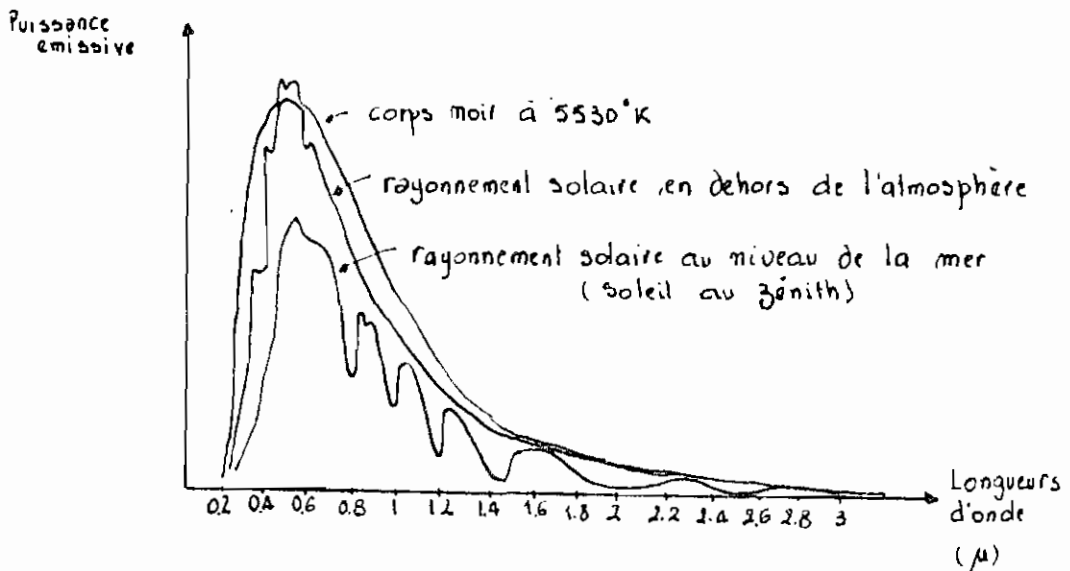


figure I-1 : Puissance émissive et longueur d'onde

I-3 RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement émis par le soleil peut être assimilé à celui d'un corps noir dont la température serait de 5530°K.

Il est caractérisé par une superposition d'ondes dont les longueurs varient de 0.25 μ à 4 μ . La composition de ce rayonnement est modifiée par l'atmosphère terrestre et c'est ainsi qu'on reçoit, au sol, d'une part un rayonnement direct, d'autre

part un rayonnement diffusé par les particules en suspension. En effet, soit G_0 , la densité de rayonnement solaire qui atteindrait la terre si celle-ci était dépourvue d'atmosphère.

$$G_0 = 1,394 \text{ kW/m}^2 = 1200 \text{ kcal/h m}^2$$

Si l'atmosphère dissipe une partie de ce rayonnement, alors le flux de chaleur arrivant sur la terre dépend :

- du lieu (latitude et longitude)
- de l'heure et du jour
- des conditions atmosphériques.

Le flux de chaleur, G_n , dépendant de la longueur de parcours des rayons dans l'atmosphère, peut être évalué par

$$G_n = G_0 \tau_a^m \quad (1)$$

où :

G_0 = constante solaire

τ_a = facteur de transmission de l'air (0,8 par temps clair, 0,6 par temps couvert)

m = rapport entre la distance effectivement couverte par les rayons solaires à travers l'atmosphère et la distance parcourue quand le soleil est au zénith.

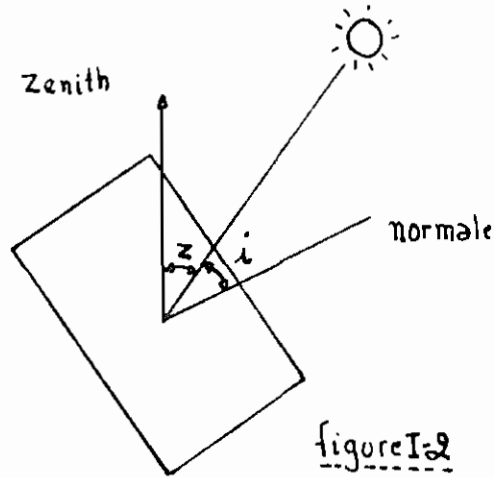
$$m = (\cos z)^{-1} \quad (\text{cf figure 2})$$

Pour une surface non normale aux rayons solaires, si l'angle entre la normale à la surface et la direction des

rayons est égale à i , alors

$$G_i = G_n \cos i$$

où G_i est le flux effectivement reçu par la surface

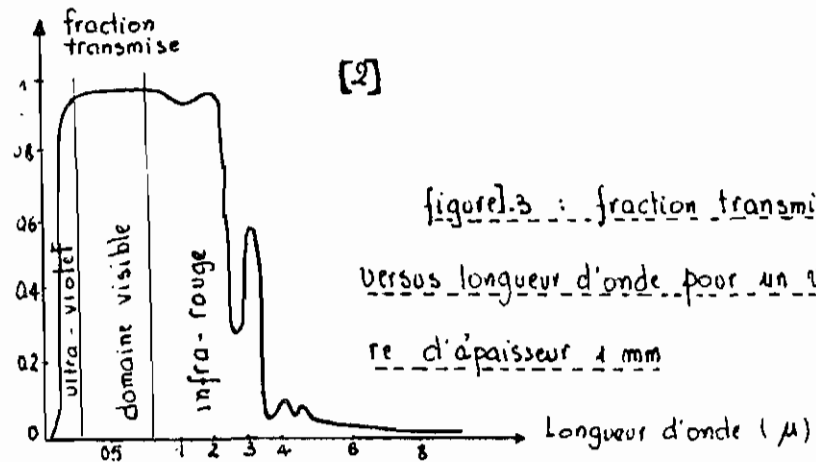


I. 4 EFFET DE SERRE

Un corps placé au soleil s'échauffera sous l'effet du rayonnement qu'il absorbe, mais reperdra une partie de l'énergie gagnée. Le rayonnement par le corps se fera dans les longueurs d'onde de l'ordre de 6 à 10 microns alors que la plus grande partie du rayonnement solaire est compris 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 qu'on appelle l'effet de serre ...

Un exemple de couverture transparente pourrait être le verre qui permet de créer l'effet de serre car il est presque totalement transparent aux rayonnements de longueur d'onde inférieure à 3 microns et opaque pour les longueurs d'ondes supérieures comme le montre la figure 3 ci-dessous.



Le processus des échanges par rayonnement est donc le suivant :

- le rayonnement solaire étant de faible longueur traverse la vitre en étant très faiblement absorbé, et atteint la plaque.

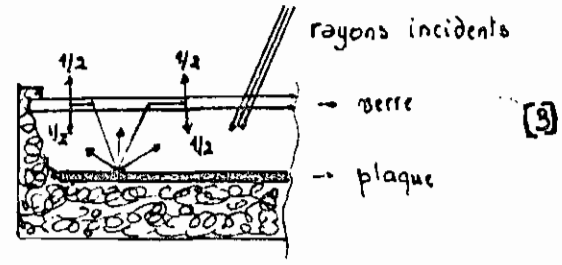
- il y a émission par la plaque d'un rayonnement de grande longueur d'onde

- ce rayonnement est entièrement absorbé par le verre.

- le verre s'échauffant rayonne à son tour, moitié vers l'extérieur, moitié vers l'intérieur c'est-à-dire vers la plaque.

(cf figure 4)

figure I-4 Processus schématique des échanges par rayonnement



Il est à noter que si la plaque est peinte en noir mat, elle simulera mieux le corps noir qui, lui absorbe parfaitement le rayonnement solaire et réémet à des longueurs d'ondes supérieures

I-5 MECANISMES DES PERTES DANS L'INSOLATEUR

L'énergie calorifique utile dans un insolateur est celle incidente diminuée des pertes. Il s'agit donc de maximiser l'énergie incidente et de prendre des précautions pour diminuer les pertes. L'énergie est perdue par réflexion, convection, rayonnement de la plaque et du verre à l'extérieur et conduction comme schématisée par la figure 5 ci-dessous.

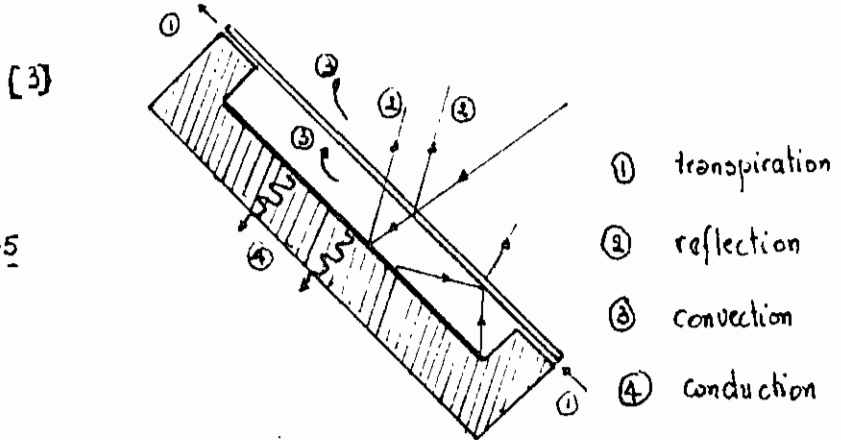


figure I-5

Dans l'analyse, on négligera les pertes par transpiration à travers les petites fissures, pertes qui sont petites comparées aux autres. Cela suppose tout de même une bonne fabrication de l'isolateur.

I-5-1. Pertes par conduction

La conduction est le passage de la chaleur à travers un milieu (solide, liquide, gazeux), l'énergie se propageant, sans déplacement appréciable des molécules, par contact direct avec ces dernières. Le transfert d'énergie peut s'effectuer par un contact élastique (dans les fluides par exemple) ou par diffusion des électrons à partir d'une région à haute température (dans les métaux par exemple)

Dans un solide, la conduction est le seul mécanisme au moyen duquel la chaleur peut s'écouler. Cette conduction y est régie par la loi de Fourier, relation expérimentale s'écrivant :

$$q = \frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad [1]$$

où :

q : flux de chaleur (KW/m^2)

Q : débit de chaleur (KW)

A : aire de la section à travers laquelle s'écoule la
: chaleur par conduction. Elle est mesurée perpendi-

: culairement à la direction du flux thermique (m^2)

k : coefficient de conductivité thermique ($KW/m^{\circ}C$)

dT/dx : gradient de température dans la section considérée.

Pour réduire les pertes par conduction au niveau de l'isolateur, on peut agir sur :

1) k : par le choix d'un matériau ayant une très faible conductivité thermique c'est-à-dire un isolant

2) sur l'épaisseur de l'isolant afin de diminuer le gradient de température dT/dx .

I.5-1.1. Quelques isolants [2]

Isolant	k (kcal/hm $^{\circ}C$)	T_{max} d'utilisation $^{\circ}C$	humidité	feu
laine de verre	.035	> 150°	médiocre	bon
laine de roche	.035	> 150°	médiocre	bon
Polystyrène (moulage)	.033 à .031	85°	bon	médiocre
Polystyrène (thermo comprimé)	.036 à .034	85°	bon	médiocre
Liège expansé	.037	> 100°	bon	médiocre
Fibres de bois	.050			
Mousse de terre	.043			
mousse de poly- uréthane	.25	> 100°	bon	médiocre

Tableau 3 : Caractéristiques de quelques isolants

I.5.2 Pertes par convection

La convection est un mode de transfert d'énergie par l'action combinée de la conduction, de l'accumulation de l'énergie et du mouvement du milieu. Selon le mode d'écoulement, la convection est dite libre (naturelle) ou forcée. En effet, si elle est produite par des courants dans le fluide dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température, on dit que la convection est naturelle. Si par contre, le mouvement du fluide est provoqué par une action externe (pompe, ventilateur...) alors la convection est dite forcée.

La convection est régie par la loi de Newton :

$$q = h (T_w - T_{\infty}) \quad (1)$$

où

q : flux de chaleur (KW/m^2)

h : coefficient de transfert de chaleur.

: Il dépend essentiellement des conditions

: d'écoulement du fluide ($\text{KW}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_w : température de la surface du solide ($^\circ\text{C}$)

T_{∞} : température du fluide loin de la surface du solide ($^\circ\text{C}$)

Pour les pertes par convection dans l'isolateur, elles sont données par :

$$q = Nu [(k/L) (T_1 - T_2)] \quad (3)$$

où

$Nu = 1$ pour W/L grand

= nombre de Nusselt

K : conductivité thermique de l'air confiné

L : distance entre la plaque et la couverture

T_1 : température de la plaque

T_2 : température de la couverture

W : largeur de l'isolateur

I-5-3 Pertes par rayonnement de la plaque et du verre

Les pertes sont données par :

$$[3] \quad q = \frac{1}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + (2N-1) \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2} + N} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

où

ϵ_1 : facteur d'émission de la plaque absorbante.

ϵ_2 : facteur d'émission de la couverture.

N : nombre de couvertures.

T_1 : température de la plaque. ($^{\circ}K$)

T_2 : température de la couverture. ($^{\circ}K$)

q : pertes par rayonnement (KW/m^2)

$\sigma = 4.88 \times 10^{-8} \text{ Kcal/h m}^2 (^{\circ}K)^4$

$= 5.66 \times 10^{-11} \text{ KW/m}^2 (^{\circ}K)^4$

I.6 ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE SUR PLAQUE PLANE ET TRANSMISSION DE CHALEUR.

Si l'isolateur étant à sa température d'équilibre après exposition au soleil, si on laisse écouler un fluide en mouvement turbulent le long de la plaque dont la température est différente de celle du fluide, la chaleur sera transmise seulement par convection forcée aussi bien à l'intérieur du fluide qu'à l'interface entre le liquide et la surface.

I.7 CONDENSATION

L'eau s'écoulant sur la plaque se vaporise lorsqu'elle atteint une certaine température T_s , appelée température à la pression de saturation. Si la température de la couverture est inférieure à T_s , alors des gouttelettes de condensat s'y formeront.

Si la condensation de la vapeur se fait sur la surface inférieure d'une plaque inclinée, un film liquide se forme et s'écoule dans un arrangement aléatoire de gouttelettes avant de se détacher de la paroi

CHAPITRE II : MONTAGE EXPERIMENTAL ET DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS.

Le montage se compose essentiellement de :

a) un insolateur qui a pour rôle de capter l'énergie
solaire

b) un réservoir de stockage du fluide caloporteur

c) une unité de circulation constituée de :

C-1) une pompe submersible pour faire circuler
l'eau (fluide caloporteur) du réservoir à
l'insolateur.

C-2) un boyau d'amenée conduisant l'eau
du réservoir à l'insolateur

C-3) un distributeur pour répartir l'eau sur
toute la surface de la plaque absorbante.

C-4) un boyau de retour recueillant l'eau au
bas de l'insolateur pour la conduire
par gravité au réservoir.

(voir figure II-6 et planche 1)

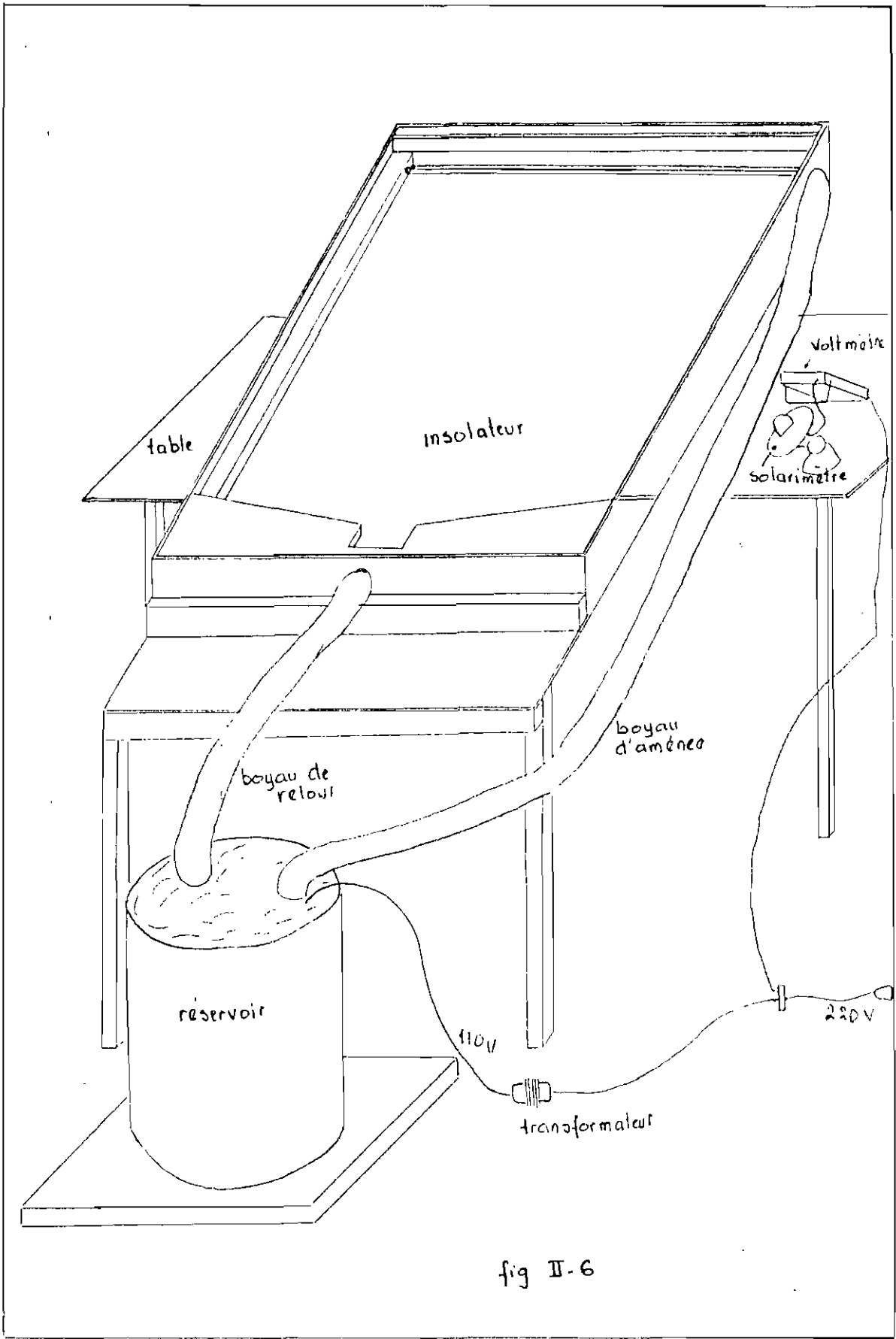


fig II-6

II. 1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le fluide caloporteur (eau) est refoulé dans le boyau d'amenée jusqu'au distributeur par la pompe immergée dans le réservoir. L'eau s'écoule du distributeur par ses multiples trous et descend par gravité le long de la plaque absorbante (ou absorbeur) en échangeant de la chaleur avec celle-ci qui est plus chaude. Elle est recueillie au bas de l'insolateur par le boyau de retour qui la déverse dans le réservoir d'où elle sera encore pompée pour aller vers le distributeur. (voir figure II-6 et planche 1)

II. 2. INSOLATEUR

L'insolateur comprend principalement

a) une plaque d'aluminium peinte en noir mat qui sert d'absorbeur

b) une couche de laine de verre à la face arrière et sur les côtés de l'insolateur pour diminuer de façon considérable les pertes par conduction

c) un cadre en bois pour supporter l'absorbeur, contenir l'isolant et participer aussi à la limitation des pertes par conduction (rôle secondaire)

d) une plaque de plexiglas dont l'utilisation a pour but de produire l'effet de serre.

On note que le distributeur, peint en noir aussi, est placé dans l'insolateur.

II.2-1 Dimensionnement de la plaque

- Hypothèses :
- 15 litres d'eau à chauffer de 25 à 60°C
 - rendement de l'appareil $\eta \approx 25\%$
 - ensoleillement moyen : 1000 W/m²
 - temps de chauffage $t = 2\text{h} = 7200\text{s}$

$$\eta A Q t = m c_p \Delta T$$

$$\Rightarrow A = \frac{m c_p \Delta T}{\eta Q t}$$

$$A = \frac{15 \times 4180 \times (60 - 25)}{0.25 \times 1000 \times 7200} = 1.30 \text{ m}^2$$

Ces hypothèses seront comparées ultérieurement aux résultats des mesures. Une autre approche plus sophistiquée est traitée en annexe I.

II.2-2 Isolation de l'insolateur

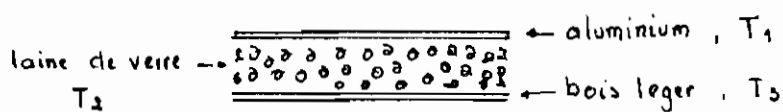
II.2.2.1 Isolation de la face arrière de l'insolateur

Hypothèses : $q \leq 10\%$ [$E_{\text{moyen}} \approx 1000 \text{ W/m}^2$]

$$T_{\text{plaque}} = 100^\circ\text{C} \quad , \quad T_{\text{bois}} = 30^\circ\text{C}$$

matériaux disponibles : aluminium $x_1 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$
 laine de verre $x_2 = \bar{a}$ à calculer
 bois léger $x_3 = 8 \times 10^{-3} \text{ m}$

[4] Conductivités thermiques : aluminium $k_1 = 207 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ à 25°C
 laine de verre $k_2 = 0.052 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ à 100°C
 bois léger $k_3 = 0.047 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ à 100°C
 à $0.066 \text{ W/m}^\circ\text{K}$



$$q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A} + \frac{x_3}{k_3 A}}$$

$$100 = \frac{100 - 30}{\frac{1 \times 10^{-3}}{207 \times 1.30} + \frac{x_2}{0.052 \times 1.30} + \frac{8 \times 10^{-3}}{0.066 \times 1.30}}$$

$$x_2 = 41 \times 10^{-3} \text{ m} = 4,1 \text{ cm}$$

On dispose de laine de verre d'épaisseur 5 cm donc
 on prend $x_2 = 5 \text{ cm}$ et $q_{x_2=5 \text{ cm}} = 84 \text{ W/m}^2$.

II.2.2.2 Isolation des cotes de l'insolateur (cote lateral)

Hypotheses :- $q \leq 1,0 \%$ [$E_{moyen} = 1000 \text{ W/m}^2$] pour chaque cote

- Longueur de l'insolateur = 1,50 m
- Epaisseur de l'insolateur = $6 \times 10^{-2} \text{ m}$
(voir II-2.2.4)
- $T_{\text{plaque}} = T_1 = 100^\circ\text{C}$
- $T_{\text{bois}} = T_3 = 30^\circ\text{C}$

Matériaux disponibles (voir II-2.2.1)

Conductivités thermiques (voir II-2.2.1)

$A_{\text{cote}} = 1,5 \times (6 \times 10^{-2}) = .09 \text{ m}^2$

$$q = \frac{T_1 - T_3}{\frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A} + \frac{x_3}{k_3 A}} = \frac{\Delta T}{\sum \frac{x_i}{k_i A}}$$

$$10 = \frac{100 - 30}{\frac{1 \times 10^{-3}}{207 \times .09} + \frac{x_2}{.052 \times .09} + \frac{8 \times 10^{-3}}{.066 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times .09}}$$

$$x_2 = 2.65 \times 10^{-2} \text{ m} = 2,65 \text{ cm}$$

Nous choisissons $x_2 = 3 \text{ cm}$.

II. 2.2.3 Isolation des côtés (dans le sens de la largeur)

$$L_{\text{isolateur}} = 1.50 \text{ m (voir II.2.2.2)}$$

$$A_{\text{isolateur}} = 1.30 \text{ m}^2 \text{ (voir II.2.1)}$$

$$H_{\text{isolateur}} = 6 \times 10^{-2} \text{ m (voir II.2.2.4)}$$

Pour un côté dans le sens de la largeur w ,

$$A_{\text{côté}} = w \times H = \frac{A_{\text{isolateur}}}{L_{\text{isolateur}}} \times H_{\text{isolateur}}$$

$$A_{\text{côté}} = \frac{1.30}{1.50} \times (6 \times 10^{-2}) = 0.052 \text{ m}^2$$

Si mêmes hypothèses qu'en II.2.2.2, alors

$$\sum \frac{x_i}{k_i A} \text{ de II.2.2.3} \leq \sum \frac{x_i}{k_i A} \text{ de II.2.2.2}$$

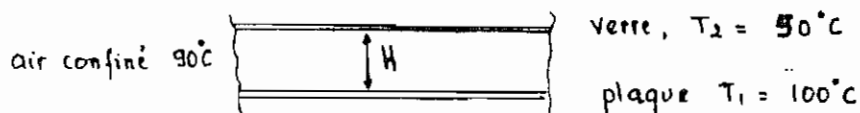
$$\text{car } A_{\text{II.2.2.3}} = 0.052 < A_{\text{II.2.2.2}} = 0.09$$

\Rightarrow on est sécuritaire en choisissant pour l'iso-

lation des côtés de l'isolateur dans le sens de la largeur

$$x_2 = 3 \text{ cm}$$

II. 2.2.4 Détermination de la distance entre plaque et couverture



Hypothèses : $q \leq 2.5 \% [E_{\text{moyen}} \approx 1000 \text{ W/m}^2]$

Air confiné à 95°C

$T_{\text{plaque}} = T_1 = 100^\circ\text{C}$

$T_{\text{verre}} = T_2 = 50^\circ\text{C}$

$$q = Nu K (T_1 - T_2) / H \quad (\text{voir I-5-3})$$

$$H = Nu K (T_1 - T_2) / q$$

avec $K_{\text{air}} \text{ à } 95^\circ\text{C} = .03035 \text{ W/m}^\circ\text{K} \quad [4]$

$$H = \frac{1 \times .03035 (100 - 50)}{25} = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$$

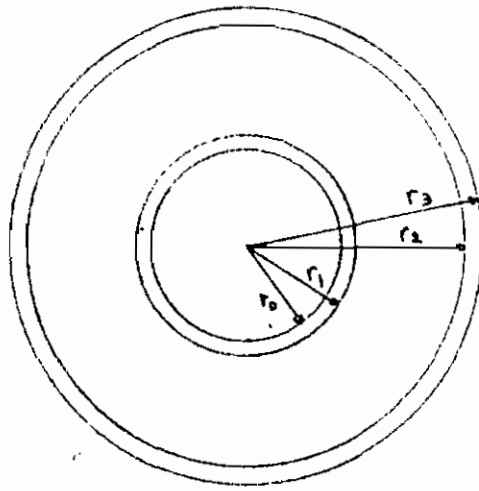
$$H = 6 \text{ cm}$$

II-3 RESERVOIR

Le réservoir utilisé est un pot cylindrique de récupération d'une capacité de 25 litres, calorifugé afin de réduire les pertes par conduction et par convection. Une plaque d'aluminium recourbée en cylindre vient entourer ce pot et entre les deux, de la laine de verre remplit l'espace et constitue l'élément calorifuge. Pour lire les températures de l'ordre de 20° sur les thermomètres, le pot a été excentré dans la plaque d'aluminium recourbée en cylindre (voir planche 1)

II-3-1. Isolation du réservoir

II-3-1-1 Isolation du corps du réservoir



- Hypothèses :
- pot au centre de la plaque cylindrique
 - Température interne du pot = température eau
 - $T_{\text{eau}} = 60^{\circ}\text{C} = T_0$
 - Température de la plaque d'aluminium = 30°C
 - $T_{\text{ambiant}} = 30^{\circ}\text{C} = T_3$
 - $q \leq 0.02\%$ [$E_{\text{moyen}} = 1000 \text{ W/m}^2$]

$$q = \frac{T_0 - T_3}{r_0 \left[\frac{\ln r_1/r_0}{k_{01}} + \frac{\ln r_2/r_1}{k_{02}} + \frac{\ln r_3/r_2}{k_{03}} \right]}$$

$$r_0 = 137.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_1 = 140 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_3 = r_2 + (1 \times 10^{-3}) \text{ m}$$

} mesurés

[4] Conductivités thermiques : fer $k_{01} = 45.357$ de 0° à 100°C
 laine de verre $k_{12} = .052 \text{ W/m}^\circ\text{K}$
 aluminium $k_{23} = 207 \text{ W/m}^\circ\text{K à } 100^\circ\text{C}$

$$20 = \frac{60 - 30}{1,375 \times 10^{-1} \left[\frac{\ln 140/137.5}{45.357} + \frac{\ln r_2/140}{.052} + \frac{\ln r_3/r_2}{207} \right]}$$

$$r_3 = r_2 + (1 \times 10^{-3})$$

$$r_2 = 0,252 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,253 \text{ m}$$

I.3-1.2 Isolation de la base et du haut du réservoir

Hypothèses : $q \leq 0.15\%$ [E moyen $\geq 1000 \text{ W/m}^2$]

Température eau = $T_1 = 60^\circ\text{C}$

Température du sol = $T_2 = 30^\circ\text{C}$

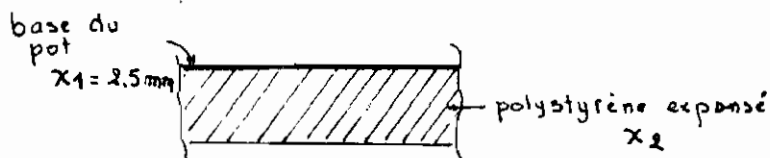
matériaux disponibles : polystyrène expansé

: laine de verre

Choix : polystyrène à cause de sa rigidité

k_2 : conductivité thermique du polystyrène = $.042 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

k_1 : conductivité thermique du fer (pot) = $45.357 \text{ W/m}^\circ\text{K}$



Surface de la base du pot :

$$A = \pi r^2 = \pi \times 0.14 = .062 \text{ m}^2$$

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A}}$$

$$1.5 = \frac{60 - 30}{\frac{2.5 \times 10^{-3}}{45.357 \times .062} + \frac{x_2}{.042 \times .062}}$$

$$x_2 = 5 \times 10^{-2} \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

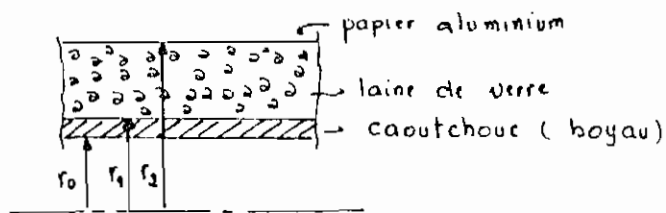
Pour le haut du réservoir, en plus d'une épaisseur de polystyrène de 5 cm, nous ajouterons une autre épaisseur de 5 cm de laine de verre à cause des trous de passage des boyaux d'amenée et de retour pratiqués dans le polystyrène.

D. 4 CONDUITES DE CIRCULATION

II-4-1 Boyau d'amenée

La sortie de la pompe submersible étant de diamètre intérieur 9 mm, le choix du boyau d'amenée s'est porté sur un diamètre de 9 mm aussi pour lier la pompe au distributeur. Le boyau en caoutchouc dur a un diamètre extérieur de 13 mm

II-4-1-1 Isolation du boyau d'amenée



Hypothèses : $q \leq 0.15$ [E moyen $\approx 1000 \text{ W/m}^2$]

Temperature eau = $T_{r_0} = 60^\circ\text{C}$

Temperature ambiante = $T_{r_2} = 30^\circ\text{C}$

Action du papier aluminium négligeable

Conductivités thermiques : caoutchouc dur $k_{01} = 0.163 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

laine de verre $k_{12} = 0.052 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

$$r_0 = 4.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_2 = 6.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$q = \frac{T_{r0} - T_{r2}}{r_0 \left[\frac{\ln r_1/r_0}{k_{01}} + \frac{\ln r_2/r_1}{k_{12}} \right]}$$

$$150 = \frac{60 - 30}{4.5 \times 10^{-3} \left[\frac{\ln(6.5/4.5)}{0.163} + \frac{\ln r_2/6.5}{0.052} \right]}$$

$$r_2 = 11.5 \times 10^{-2} \text{ m} = 11.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{épaisseur laine de verre} = 5 \text{ cm}$$

II. 4-2 Boyau de retour

C'est un boyau en PVC vert de récupération (boyau d'arrosage) de diamètre intérieure 13 mm et de diamètre extérieure 15 mm.

II-4-2-1 Isolation du boyau de retour

Nous choisissons la même épaisseur de laine de verre que pour le boyau d'amenée c'est-à-dire 5 cm.

II.5 DISTRIBUTEUR

Critères de choix du distributeur :

- qu'il supporte des températures de l'ordre de 120°C (température que l'on pourrait atteindre dans l'insolateur)
- qu'il puisse récupérer aussi de la chaleur
- que son diamètre intérieur soit aussi près que possible

du diamètre du boyau.

- qu'il soit facilement usinable (perçage , formage ...)

Choix et disponibilité :

Tube en cuivre peint en noir mat de diamètre intérieur 8 mm et de diamètre extérieure 9 mm , percé de 46 trous de diamètre individuel 1 mm.

Le tube est placé au haut de l'insolateur à l'intérieur (voir planche 1) ou (figure 6)



CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX

Pour étudier les différents paramètres pouvant influencer les résultats expérimentaux, un certain nombre de mesures ont été faites :

- avec ou sans effet de serre
- avec plaque lisse ou plaque avec galets
- conditions atmosphériques favorables ou non.

III-1 ESSAIS PRELIMINAIRES

III-1-1 Détermination du débit maximal admissible

Il est régi par le boyau d'évacuation de l'eau s'écoulant sur la plaque.

Date de l'essai : 5 mars 1980

Matériel utilisé : + l'insolateur

+ un boyau reliant le distributeur
au robinet

+ un béccher de 1800 ml \pm 5%

+ un chronomètre Microsplit 231 au 1/100

Le débit est mesuré au bas du collecteur (insolateur)

Volume (ml)	1800	1800	1800
Temps (sec)	9.80	9.66	9.72

Temps moyen : 9.73 secondes pour 1800 ml

Débit maximal = 666 litres / heure

III-1.2 Détermination du débit pour que toute la plaque soit mouillée

Il est nécessaire, au préalable, de mouiller toute la surface de la plaque sinon des débits de loin plus importants que ceux trouvés sont nécessaires.

Date de l'essai : 5 mars 1980

Matériel utilisé : le même qu'en III-1-1

Le débit est mesuré au bas de l'insolateur

Volume (ml)	1800	1800	1800
Temps (sec)	47,10	50.01	50.28

Temps moyen : 49.13 sec pour 1800 ml

Débit = 132 litres / heure

III-1-3 Détermination du débit (constant) de la pompe

La pompe disponible est une pompe submersible n'ayant pas de conduite d'aspiration mais seulement une conduite de refoulement.

Date de l'essai : 5 mars 1980

Matériel utilisé : le même qu'en III-1-1

: la pompe submersible

Le débit est mesuré au bas de l'insolateur

Volume (ml)	1800	1800	1800
Temps (mn)	1' 13" 47	1' 12" 58	1' 13" 10

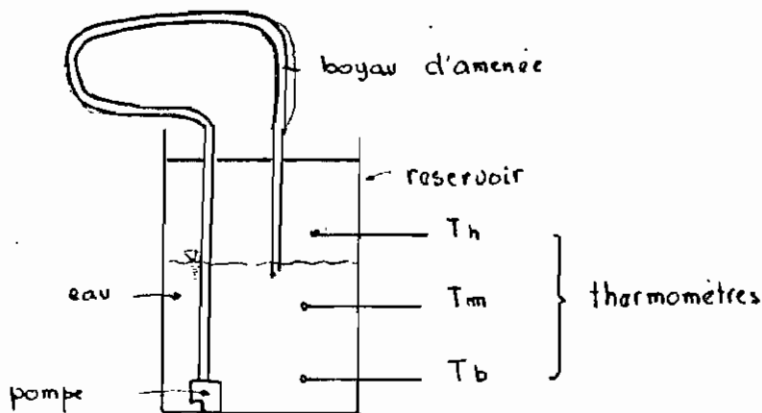
Temps moyen : 1' 13" 05

Débit de la pompe : 85 litres / heure

La pompe étant à débit constant, il sera impossible de couvrir la surface de la plaque car il faut 132 litres/heure. Les pourcentages de surfaces couvertes seront évalués pour les mesures ultérieures.

III - 1.4 Valeur calorifique de la pompe

d'apport calorifique de la pompe et l'échauffement dû au frottement dans les boyaux sont évalués expérimentalement en créant un circuit fermé comme indiqué ci-dessous :



Date de l'essai : 7 mars 1980 - 8 mars 1980

(réalisé par Mr Marois)

Heure	T_b (°C)	T_m (°C)	T_h (°C)	$T_{pièce}$ (°C)
8:30	29.2	30	29.2	27
9:30	32	32.5	31.8	27
12:05	39	39.5	38.5	
16:30	49.5	49.5	49	28.5
- Pompe déconnectée à 16 h 30 - 8 mars 1980				
8:30	42	42.2	40.8	

Partes horaires moyennes du réservoir

7 mars 1980, 16 h 30 $T_{\text{moyenne}} = 49.33^{\circ}\text{C}$

8 mars 1980, 8 h 30 $T_{\text{moyenne}} = 41.66^{\circ}\text{C}$

$$\text{Perte moyenne horaire} = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{49.33 - 41.66}{16 \text{ heures}}$$

$$= 0,48^{\circ}\text{C} / \text{heure}$$

Un autre essai a été fait afin de suivre de 15 mn en 15 mn, l'évolution de l'apport calorifique de la pompe immergée.

Essai du dimanche 21 avril 1980

Conditions et méthodes utilisées : les mêmes que pour l'essai du 7 mars 1980

Nous remarquons que la montée de température est presque constante de 15 mn en 15 mn (voir ΔT du tableau de la page suivante).

$$T_{me} = T_{\text{moyenne de l'eau}} = \frac{T_b + T_m}{2}$$

$$\Delta T_2 = T_{me, i+1} - T_{me, i} \quad 0 \leq i \leq 16$$

$$\Delta T_1 = T_{me, i} - T_{me, 0}$$

Toutes les températures sont en °C.

21 avril 1980

H	T _b	T _m	T _h	T _{salle}	T _{me}	ΔT ₁	ΔT ₂
9:15	25	26	24	26	25.5	0	0
9:30	26	26	25	26	26	0.5	0.5
9:45	26.5	27	26	27	26.75	1.25	0.75
10:00	27	27.5	26	27	27.25	1.75	0.5
10:15	28	28.5	27	27	28.25	2.75	1
10:30	28.5	29	28	28	28.75	3.25	0.5
10:45	29	29.5	28	27	29.25	3.75	0.5
11:00	29.5	30	29	27	29.75	4.25	0.5
11:15	30	30.8	29.5	27.5	30.4	4.9	0.65
11:30	31	31.5	30	27.5	31.25	5.75	0.85
11:45	31.5	32	30.8	27.5	31.75	6.25	0.5
12:00	32	32.5	31	27.5	32.25	6.75	0.5
12:15	32.5	33	32	28	32.75	7.25	0.5
12:30	33.5	34	32	28	33.75	8.25	1
12:45	34	34.5	32.5	28.5	34.25	8.75	0.5
13:00	34.5	35	33	28.5	34.75	9.25	0.5
13:15	35	35.5	33.5	28.5	35.25	9.75	0.5

III.2 MESURES SANS EFFET DE SERRE

PLAQUE LISSE

III.2.1 Mesures du 5 mars 1980

Conditions atmosphériques

- + Ciel dégagé
- + Vent en rafales très fortes, de direction parallèle au bâtiment

Surface couverte par l'eau sur la plaque \approx 80%

H	E	T _b	T _m	T _{bs}	T _{ao}	T _s
11:00	10.5	26	27	31	27	/
11:20	10.6	33	33	31.5	27	/
11:35	10.8	34	34	34	29	/
11:50	10.8	34	35	34	29.5	36
12:05	10.9	34	35	35	29	36
12:20	10.9	34	35	35	29	36
12:35	11.0	34	35	35	29	36
12:50	10.9	34.5	35	35	29	36

III-2.2 Mesures du 8 mars 1980

Conditions atmosphériques : + ciel très dégagé

: + vent presque inexistant.

Surface couverte par l'eau sur la plaque \approx 80%

H	E	T _b	T _m	T _h	T _{as}	T _{ao}	T _s
10:00	10.1	24	24.5	24	26	24	44
10:15	10.3	24	24.5	24	29	24	49
10:30	10.6	29	30	30	29	25	35
10:45	11.0	33	33	31.5	29	26	37
10:60	11.1	34.5	35	33.5	31	28.5	38
11:15	11.3	36	37	35	32	29	41
11:30	11.4	37.5	38	37	32.5	30	40
11:45	11.4	38	38	37.5	36	30.5	46
12:00	11.6	38	38	38	36	30.5	46
12:15	11.6	38	38	38	36	31	46
12:30	11.7	38	38	38	38	31.5	48
12:45	11.7	38.5	38	38	38	32	50
13:00	11.8	39	39	39	37	33	51
13:15	11.9	40	39.5	39.5	37	33	49
13:30	11.9	40	39.5	39.5	37	33	49
13:45	11.9	40	40	40	37	34	46
14:00	11.9	40	40	40	36	34	46

III-3. MESURES AVEC EFFET DE SERRE
PLAQUE LISSE

III-3-1 Mesures du 12 mars 1980

Conditions atmosphériques

+ ciel légèrement couvert

+ Vent en rafales très fortes

Surface couverte par l'eau sur la plaque $\approx 40\%$

H	E	T _b	T _m	T _h	T _s	T _v	T _{as}	T _{ao}
11:00	10.4	26	27	26	100		27	23
11:15	10.6	26	27	26	101		27	23
11:30	10.8	26	27	26	108		27.5	24
11:45	10.8	26	27	26	108		28	24
12:00	11.0	26	27	26	108	50	29	24
12:15	11.2	40	40	35	46	37	26	24
12:30	11.2	47	47	47	50	38	27	24
12:45	11.3	51	51	47	54	40	27	25
13:00	11.3	54	54	51	56	44	29	26
13:15	11.4	56	56	53	58	42	27.4	26
13:30	11.3	57	57	54	60	40	29	26
13:45	11.4	58	58	55	60	40	27.5	26
14:00	11.4	58	57.5	55	60	38	26	25

III-3-2. Mesures du 19 mars 1980

Conditions atmosphériques

+ ciel couvert avec nuages épars, plus dégagé
vers 12 h

+ Vent régulier mais fort par intermittence, de direc-
tion parallèle au bâtiment

Surface couverte par l'eau sur la plaque \approx 40%

H	E	T _b	T _m	T _h	T _s	T _c	T _v	T _{as}	T _{ao}
10:15	9.1	25	26	25	90	67	46	27	24
10:30	9.8	25	26	25	100	78	32	28	24
10:45		37	37	36	44	40	36	28	24
11:00	10.5	44	45	42	50	48	38	28	23
11:15	10.5	51.5	52	50	59	52		26	24
11:30	11.0	55	56	54	63	55	50	27	25
11:45	10.2	59.6	60	58	64	57	48	27	25
12:00	11.1	62	63	60.5	66	58	48	29	27
12:15	9.9	63.8	64	62	66	58	46	29.5	27
12:30	11.1	63.8	64	62.5	67	58	54	29	27.5
12:45	11.1	64	64	62.5	65	62	48	29	27
13:00	11.1	64	64	63	66	58	49	29	27

III-3-3 Mesures du 26 mars 1980

Conditions atmosphériques

+ Ciel dégagé, bon ensoleillement

+ vent quasi-nul

Surface couverte par l'eau sur la plaque $\approx 40\%$

H	E	T _b	T _m	T _h	T _s	T _c	T _v	T _{as}	T _{ao}
11:00	10.5	28	28	29	110	95	58	32.8	28.4
11:15	10.8	28	28	29	112	95	58	32.4	28.4
11:30	11.0	28	28.5	29	112	95	58	31.6	28.8
11:45	11.0	44	44	41	54	48	46	33.2	29.8
12:00	11.1	54	54	51.5	62	55	54	36.8	31
12:15	11.2	59	59	57	63	56	51	35.6	32
12:30	11.3	63	63	62	68	63	53	37.3	34
12:45	11.4	66	66	65	72	65	56	37.2	35
13:00	11.4	68	68	66	72	63	55	37	34.8
13:15	11.4	69	69	68	75	67	56	39.9	36.8
13:30	11.4	69	69	68	73	67	56	39.8	37.4
13:45	11.4	69	69	68	72	66	54	41	38
14:00	11.4	67	68	66	70	67	53	39.5	38.6

III-4 : MESURES AVEC EFFET DE SERRE - PLAQUE AVEC GALETS

Les galets, de dimensions assez variables (1 cm à 5 cm dans la plus grande longueur) sont peints en noir mat et collés au hasard sur la plaque.

Résultats des mesures du 23 août 1980

H	E	T _b	T _m	T _h	T _s	T _c	T _v	T _{ao}	T _{os}
10:15	10.3	27	28	27	95	80	45	26	27
10:30	10.6	27	28	27	98	85	50	27	28
10:45	10.5	27	28	27	102	85	48	27	28
11:00	10.7	42	43.5	38	45	44	35	28	29
11:15	10.8	50	51	46	54	53	40	29	30
11:30	11.1	55	55.5	51	57	55	43	29	30
11:45	11.2	57	58	52	60	58	44	29	30
11:60	11.2	60	60	56	61	58	48	30	31
12:15	11.3	61	62	58	65	60	50	30	31
12:30	11.4	63	63	59	65	62	45	30	32
12:45	11.3	64	64	60	65	62	45	31	33
13:00	11.3	64	64	60	65	61	43	32	33

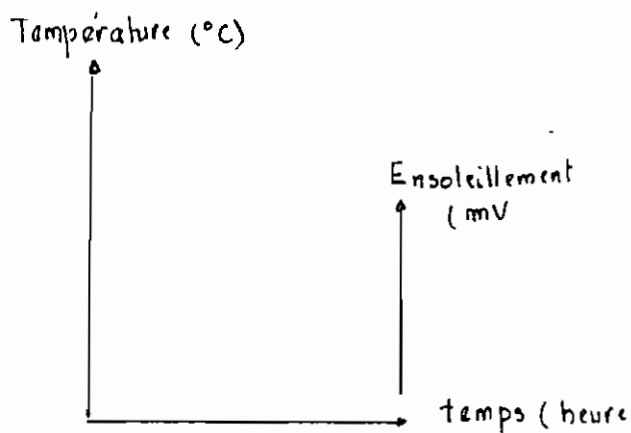
Conditions atmosphériques : + ciel dégagé, ensoleillement
moyen
+ Vent en rafales très fortes

III-5 COURBES REPRESENTATIVES DES MESURES

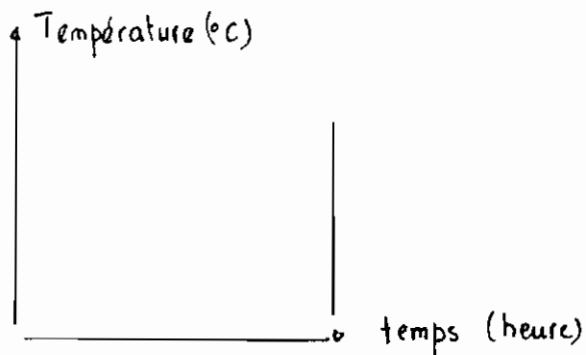
Parce que la pompe a un apport calorifique non négligeable, l'on a, pour ne tenir compte que de l'énergie solaire, tracé les courbes de température de l'eau corrigées.

L'allure générale des courbes est montrée comme ci-dessous :

a) Courbes C₁, C₃, C₅, C₇, C₉, C₁₁



b) Courbes C₂, C₄, C₆, C₈, C₁₀, C₁₂



5 mars 1980

C2

- △— Teau dans le réservoir
- - - • - - - Augmentation due à la pompe de T. eau dans le réservoir.
- - - x - - - Courbe corrigée ie apport solaire seulement

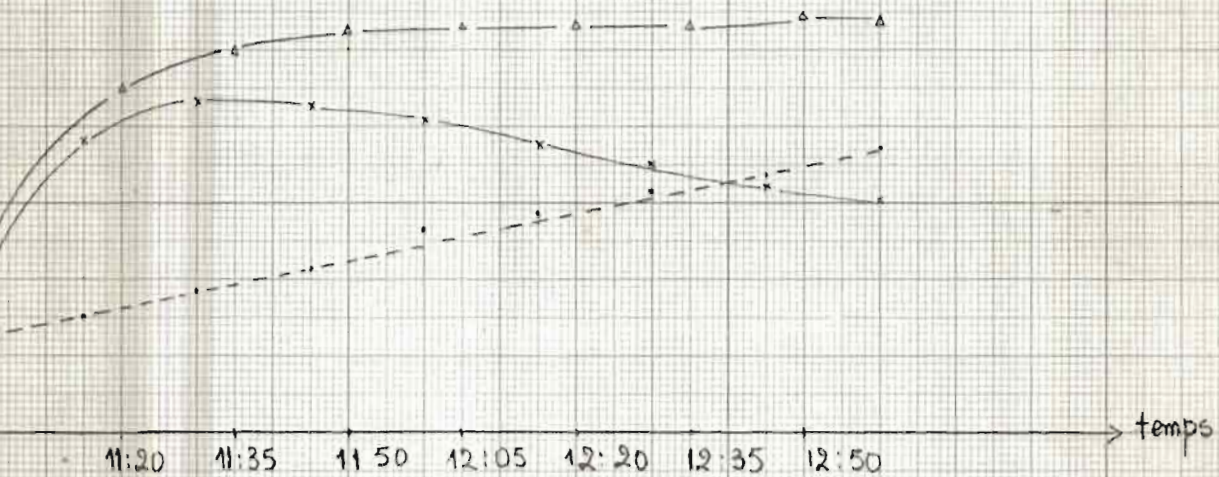
C2 : PLAQUÉ LISSE
SANS EFFET DE SERRE

Courbe corrigée de la température de l'eau

Température (°C)

Lieu des mesures : Parking derrière la Phase II

Conditions atmosphériques : Vent en rafales très fortes
de direction parallèle au bâtiment



Mercredi 5 mars 1980

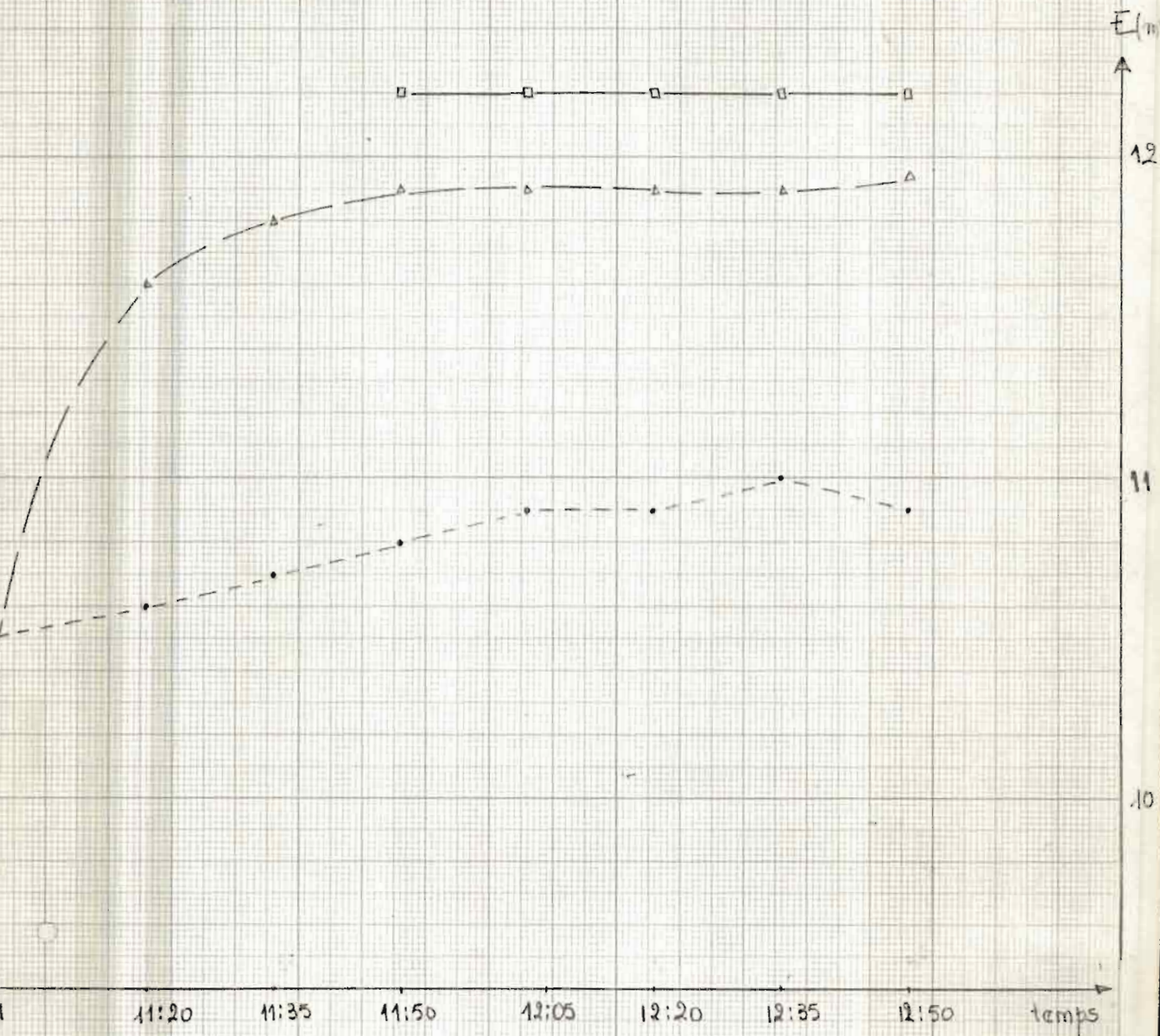
C1: PLAQUE LISSE
SANS EFFET DE SERRE:

- — □ — Température de surface - plaque
- △ — △ — Température de l'eau
- - - • - Ensoleillement en mV

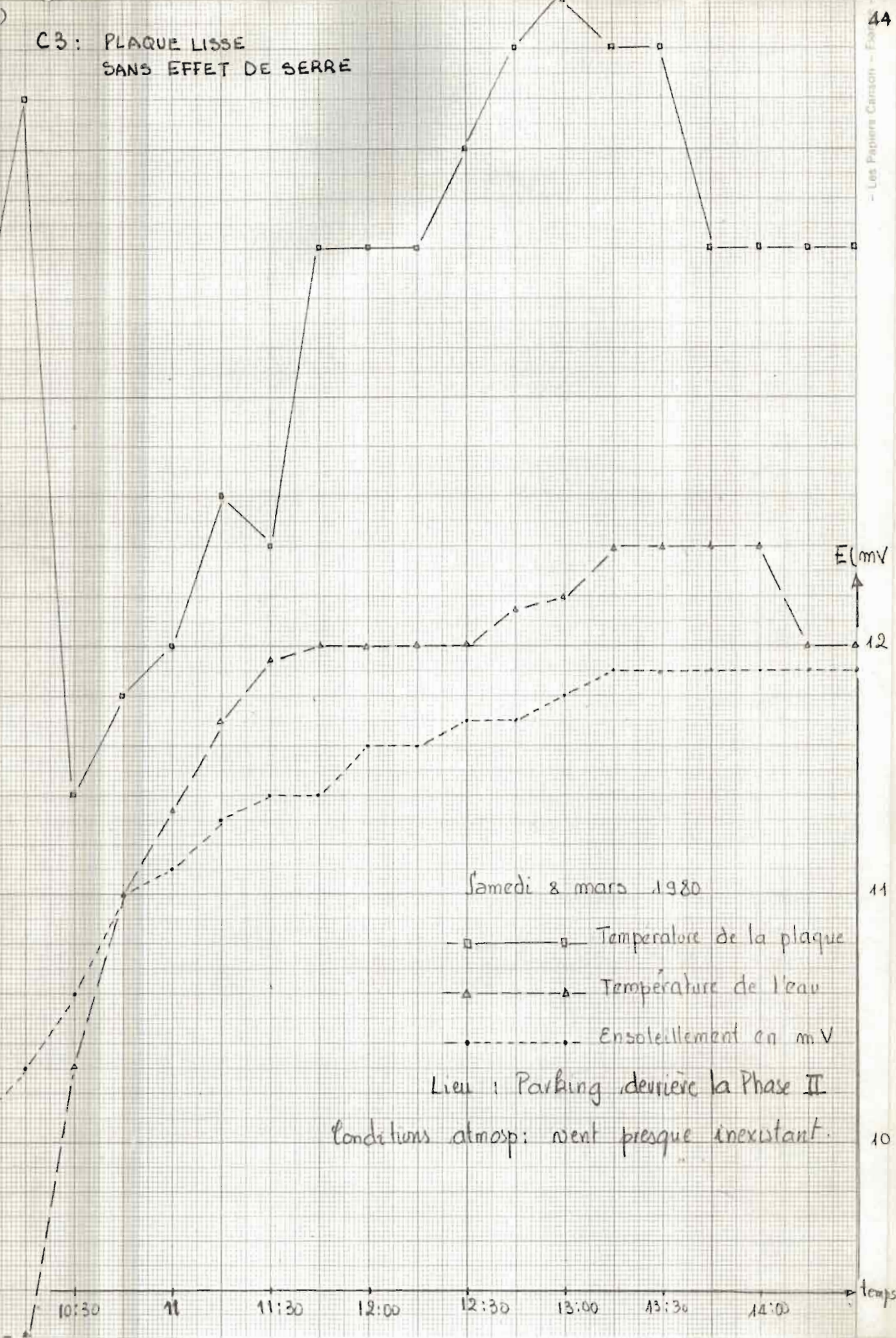
Température (°C)

Lieu des mesures : Parking derrière
la phase II

Conditions atmosphériques : vent en rafales très fortes
de direction parallèle au bâtiment



C3: PLAQUE LISSE
SANS EFFET DE SERRE



Samedi 8 mars 1980

- — □ — Temperature de la plaque
- △ — △ — Temperature de l'eau
- — • — Ensoleillement en mV

Lieu: Parking derrière la Phase II
Conditions atmo: vent presque inexistant.

- △ — △ T. eau dans le réservoir
- — • Augmentation due à la pompe de T. eau dans le réservoir
- x — x Courbe corrigée ie apport solaire seulement

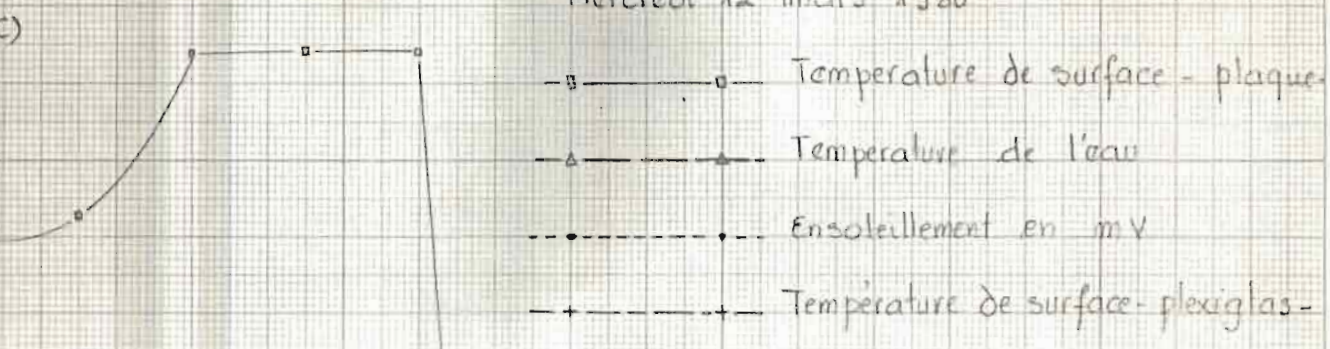
C4: PLAQUE LISSE
SANS EFFET DE SERRE

Courbe corrigée de la température de l'eau

- c) Lieu des mesures: Parking derrière la Phase II
Conditions atmap: vent presque inexistant.



Mercredi 12 mars 1980

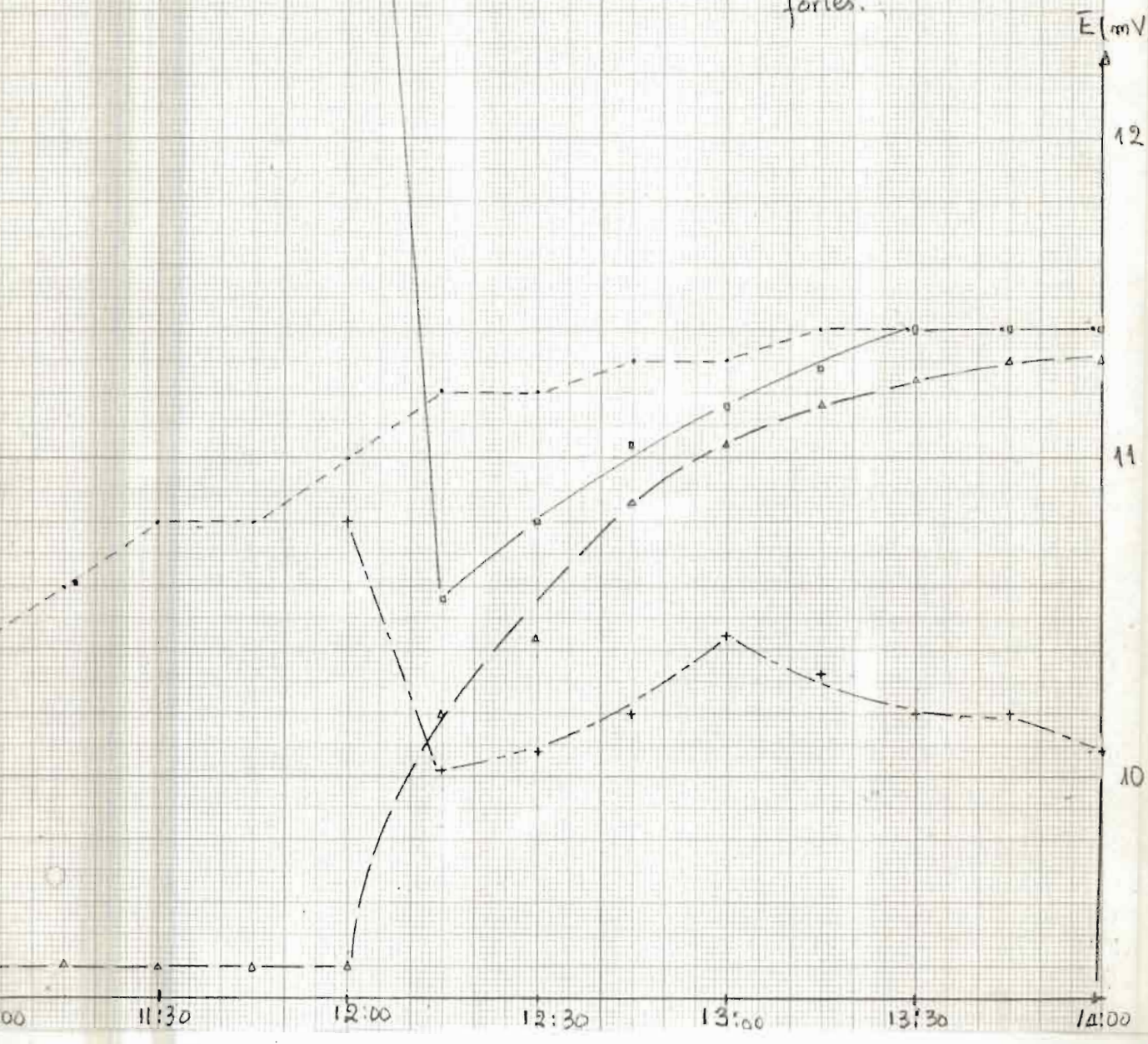


- — Temperature de surface - plaque
- △ — Temperature de l'eau
- — Ensoleillement en mV
- + — Temperature de surface - plexiglas

C5 : PLAQUE LISSE
AVEC EFFET DE SERRE

Lieu des mesures : Parking derrière la Phase II

Conditions atmosp : vent en rafales très fortes.



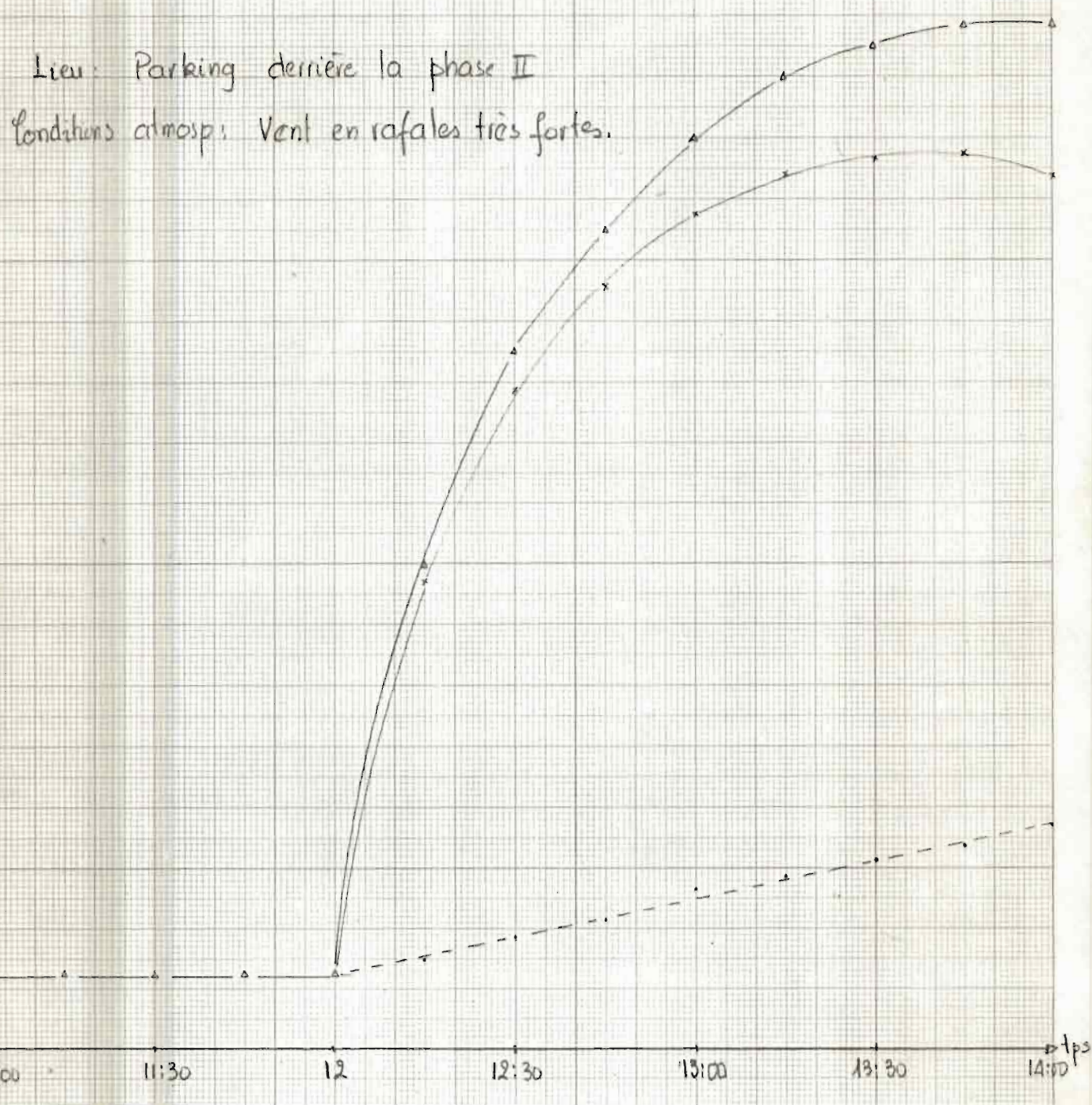
- ▲ —▲ T eau dans le réservoir
- - - - Augmentation due à la pompe de T. eau dans le réservoir
- x — x Courbe corrigée ie apport de l'énergie solaire uniquement.

C6 : PLAQUE LISSE
 AVEC EFFET DE SERRE

Courbe corrigée de la température de l'eau

Lieu: Parking derrière la phase II

Conditions atmos: Vent en rafales très fortes.



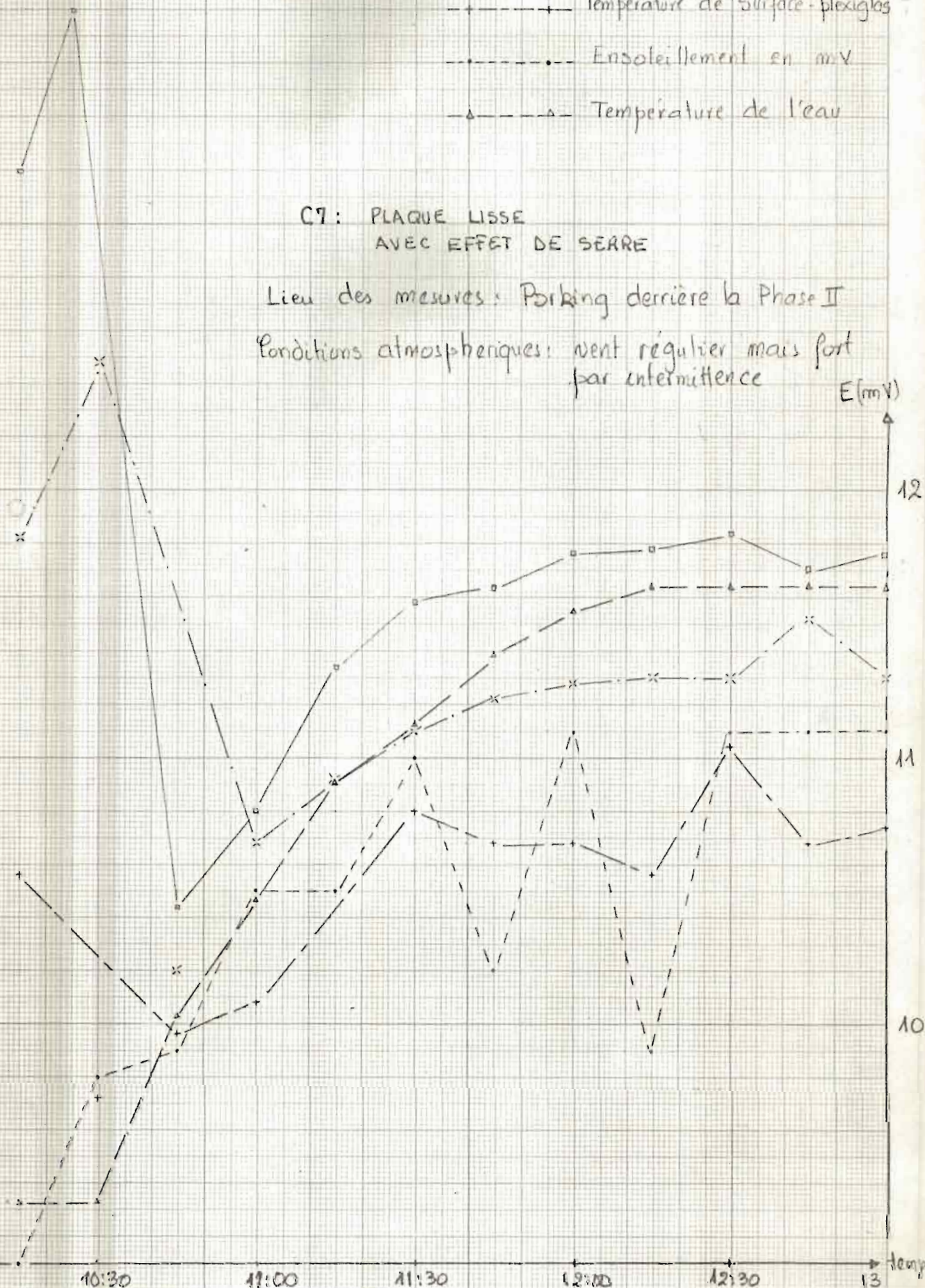
19 mars 1980

- — □ — Température de surface - plaque
- × — × — Température de l'air confiné
- + — + — Température de surface - plexiglas
- — · — Ensoleillement en mV
- △ — △ — Température de l'eau

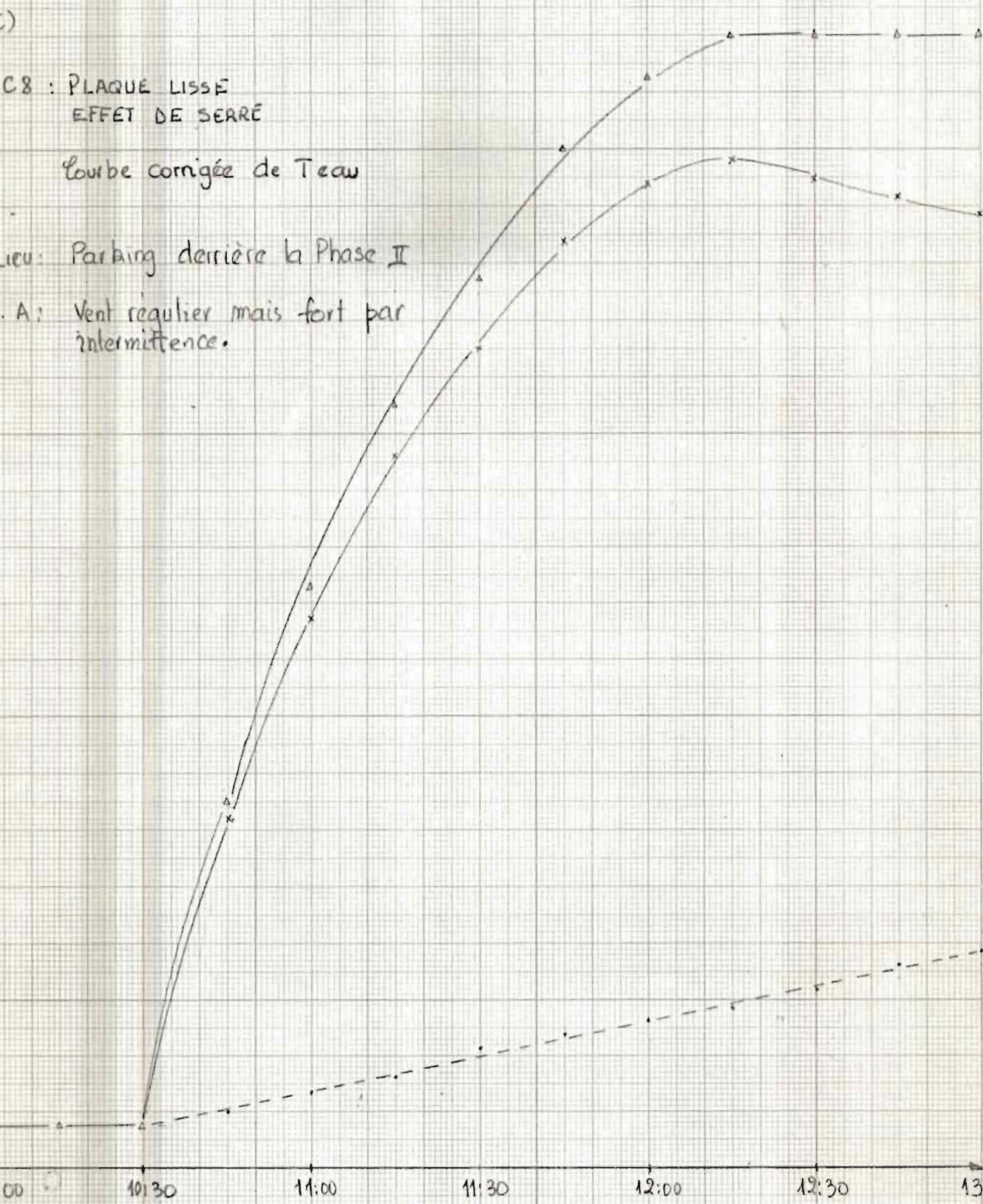
C7: PLAQUE LISSE
AVEC EFFET DE SERRE

Lieu des mesures: Parking derrière la Phase II

Conditions atmosphériques: vent régulier mais fort
par intermittence



- ▲ — T eau dans le réservoir
- — Augmentation de T eau dans le réservoir causée par la pompe
- x — Courbe corrigée ie apport solaire seulement.



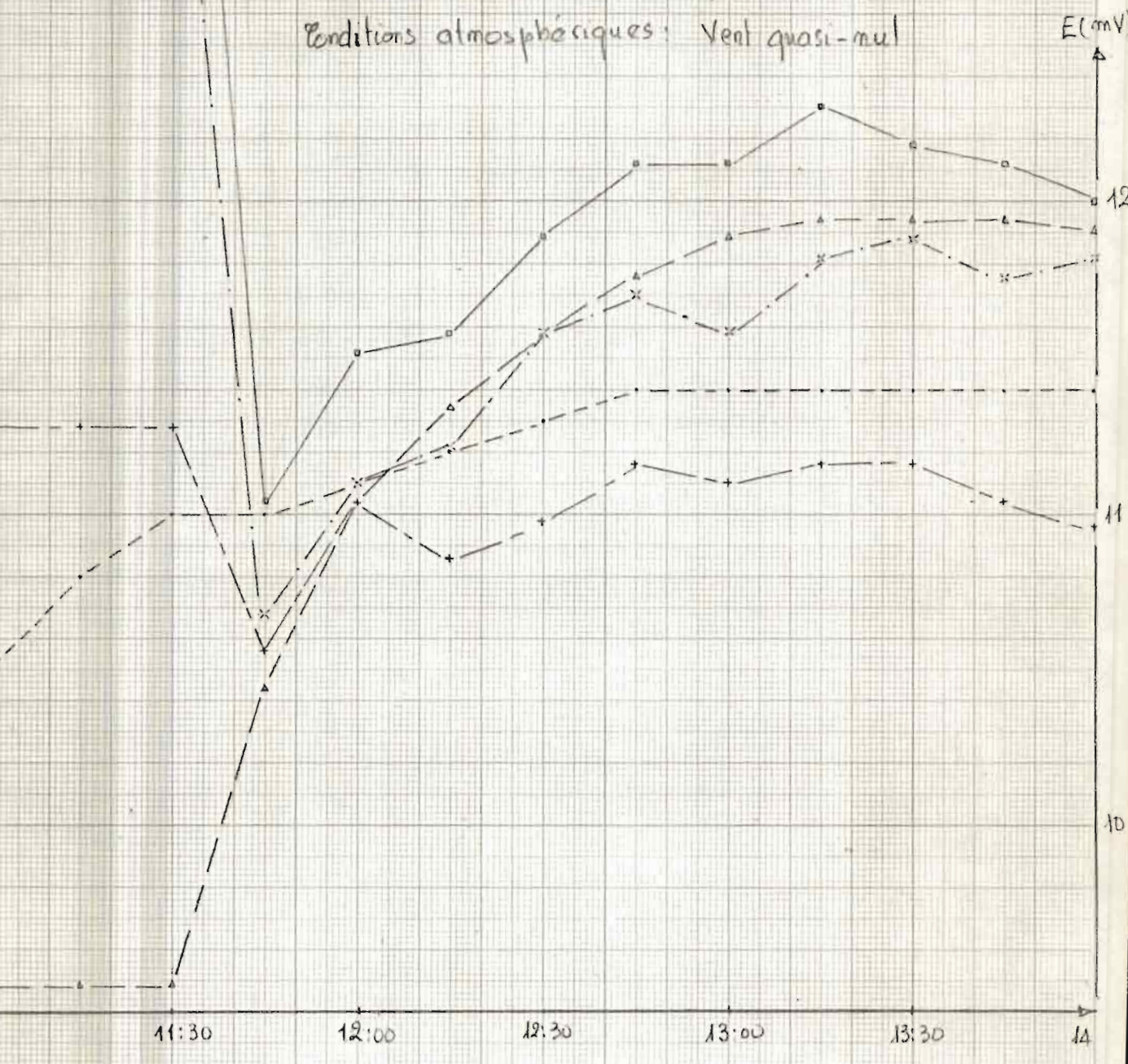
mercredi 26 mars 1980

- — □ — Temperature de surface - plaque -
- x — x — Temperature de l'air confiné
- + — + — Temperature de surface - plexiglas
- — • — Ensoleillement en mV
- △ — △ — Temperature de l'eau

C9 : PLAQUE LISSE
EFFET DE SERRE

Lieu : Parking derrière la phase II

Conditions atmosphériques : Vent quasi-nul



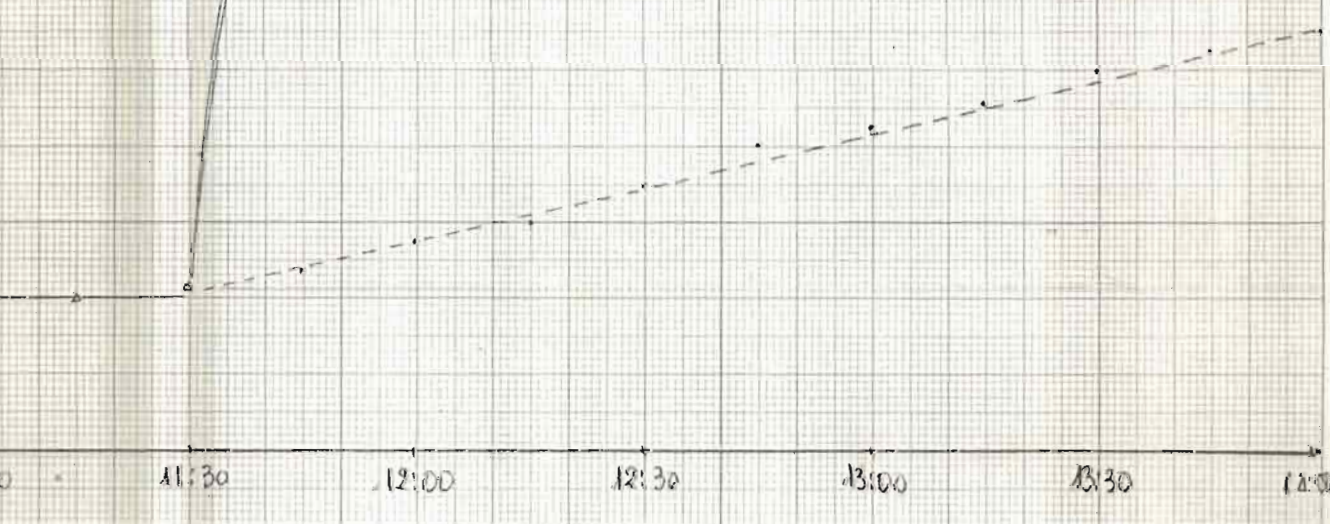
▲ — T. eau dans le réservoir
 ● — Augmentation due à la pompe de T. eau dans le réservoir
 x — Courbe corrigée et apport solaire seulement.

C10 : PLAQUE LISSE
EFFET DE SERRE

Courbe corrigée de Teau

Lieu: Parking derrière la Phase II

Cond. Atmosp: Vent quasi-nul

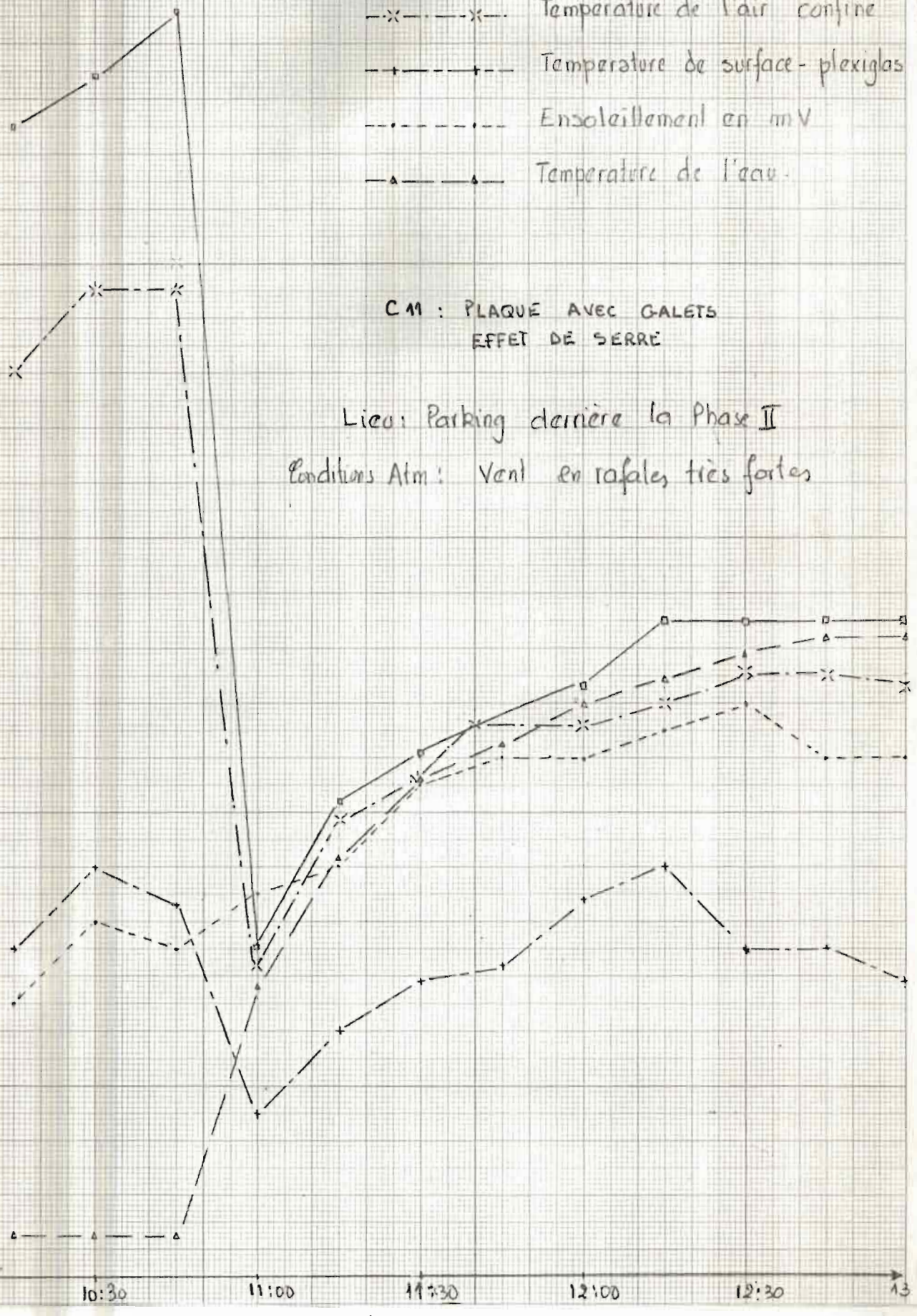


c)

- Temperature de surface - plaque
- x-x-x-x- Temperature de l'air confiné
- +--+--+ Temperature de surface - plexiglas
- .-.-.-.- Ensoleillement en mV
- ▲-▲-▲- Temperature de l'eau

C11 : PLAQUE AVEC GALETS
EFFET DE SERRE

Lieu: Parking derrière la Phase II
Conditions Atm: Vent en rafales très fortes



13 1ps

22 avril 1980

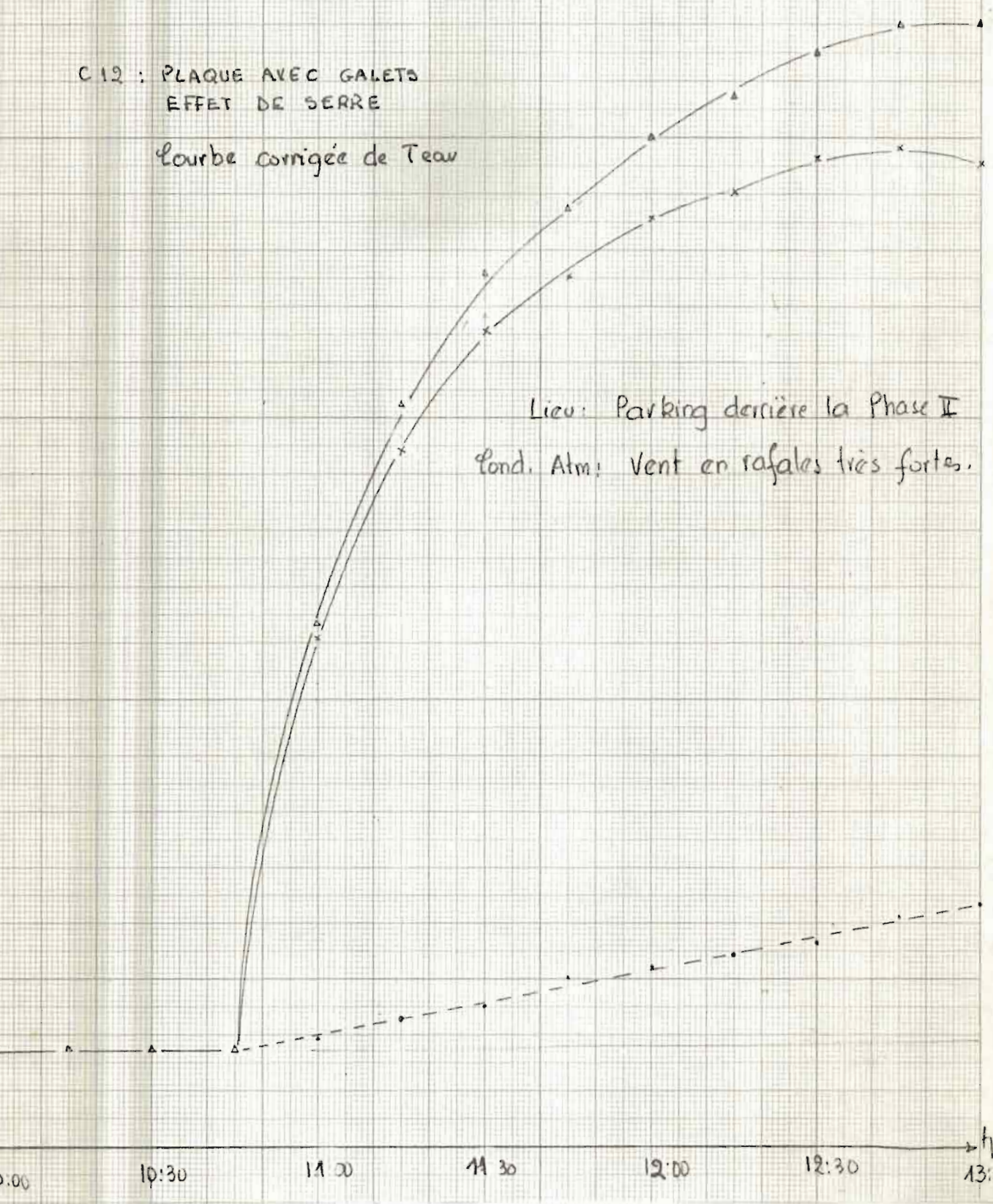
C)

- ▲ —▲ Teau dans le réservoir
- —● Augmentation de Teau dans le réservoir causée par la pompe
- x —x Courbe corrigée le rapport de l'énergie solaire seul

C 12 : PLAQUE AVEC GALETS
EFFET DE SERRE

Courbe corrigée de Teau

Lieu: Parking derrière la Phase II
Cond. Atm: Vent en rafales très fortes.



CHAPITRE IV : ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSION

IV-1 CALCUL DE RENDEMENT

Le rendement moyen du montage peut être défini comme le rapport de la puissance absorbée sur la quantité de chaleur reçue par l'isolateur et provenant du soleil.

$$\eta = \frac{m c_p (T_o - T_i)}{q_s A t}$$

où

m = masse d'eau (fluide caloporteur)

c_p = 4200 J / kg °C

A = 1.31 m² = aire du collecteur

T_o = température maximale (corrigée) de l'eau

T_i = température initiale de l'eau

t : temps mis pour atteindre T_o (secondes)

q_s : Ensoleillement moyen J/m²s

En basant les calculs sur les courbes corrigées (courbes C₂ - C₄ - C₆ - C₈ - C₁₀ et C₁₂) on obtient le tableau de la page suivante

Tableau IV-1 : Rendements moyens de l'appareil
suivant les conditions de mesures

Conditions	Date	t (s)	q_s (W/m ²)	T_o (°C)	T_i (°C)	η
Sans effet de serre Plaque lisse	5 mars 1980	4800	1029	32.7	26.5	0.16
	8 mars 1980	4500	1086	34.6	24.25	0.10
Avec effet de serre Plaque lisse	12 mars 1980	6300	1057	53.5	26.5	0.20
	19 mars 1980	6300	1000	59.6	25.5	0.26
	26 mars 1980	6300	1067	64.2	28	0.26
Effet de serre Plaque avec galets	22 avril 1980	7200	10.45	59.6	27.5	0.21

IV-2. DISCUSSION DES RESULTATS

IV. 2. 1 Plaque lisse, sans effet de serre

L'analyse des courbes C_2 et C_4 montre qu'à partir d'un certain temps ($t = 1h 40$ pour C_2 et $t = 3h 15$ pour C_4) de fonctionnement, la chaleur fournit au fluide de la pompe et qu'elle est dissipée entièrement par l'eau à son passage sur la plaque. A partir de ce point, on peut dire que le capteur a un rendement négatif.

Le capteur sans effet de serre est très sensible aux conditions atmosphériques (vent, température ambiante...). C'est ainsi que par jour calme, on a pu réaliser une amélioration du rendement de l'appareil de 6% (voir date du 5 mars

et 8 mars, tableau IV-1)

Il est à noter cependant que pour des applications nécessitant d'élever l'eau de quelques degrés (10° environ), l'apport de la pompe étant écarté, l'effet sans serre est de beaucoup plus économique.

IV. 2.2 Plaque lisse, avec effet de serre

Il semble a priori que ce soit la meilleure forme pour ce capteur bien que des difficultés (condensation sur la couverture) par exemple) inhérentes à la couverture surgissent.

Avec l'effet de serre, le rendement varie de 20% à 26% ce qui montre encore la sensibilité du capteur aux conditions atmosphériques (amélioration de 6% du rendement par jour calme). On remarquera que le rendement avec effet de serre double presque celui de l'appareil, sans effet de serre.

L'analyse des courbes C5, C6, C7, C8, C9 et C10 montre que :

- l'insolateur dès que placé au soleil, même par temps couvert, atteint rapidement sa température d'équilibre (de l'ordre de 100°C) alors que l'air confiné est environ 90°C.
- le point de rendement maximum est atteint au

plus tard après deux heures de fonctionnement.

- des écarts de température, entre l'eau froide au début et l'eau chaude à la fin de l'expérience, de l'ordre de 30°C ont été enregistrés.

- l'eau se condense (violemment au début) sur la face intérieure de la couverture et qu'il est possible de recueillir ce condensat au bas de l'insolateur à un débit moyen de $0,2$ litres/heure

IV.2.3 Plaque avec galets et effet de serre

Parce que le vent était toujours présent et très fort, il m'a pu être effectué qu'une série de mesures. Le faisant nous ne saurions conclure de façon sûre pour ce cas.

Cependant, on remarque que :

- Pour 2 jours estimés égaux en vent (21 avril 1980 - mesures avec galets - et 12 mars 1980 - mesures avec plaque lisse -), on enregistre une augmentation de rendement de 1%

- la température de l'air confiné est très proche de celle de l'eau ce qui limite les pertes par convection à l'intérieur de l'insolateur.

IV. 3 DIFFICULTES RENCONTREES

IV-3-1 Condensation

Une forte condensation, dès la mise en marche de la pompe, se forme sur la plaque de plexiglas et l'opacifie entièrement. Ceci m'empêche pas le fonctionnement de l'appareil mais réduit les performances (transparence du plexiglas très diminuée).

Deux solutions peuvent être envisagées

- 1) Tourner à son avantage cette condensation en recueillant le condensat (solution appliquée lors du projet)
- 2) Utiliser un système de 2 couvertures : une à un centimètre de la plaque absorbante, aura une température proche de celle de l'eau et aussi empêcherait l'évaporation, l'autre servirait à réduire les pertes par convection et conduction et produirait surtout l'effet de serre. (solution déjà utilisée au centre solaire de Ouagadougou)

IV-3-2 Ecoulement

Parce que le débit constant de la pompe, n'atteint pas celui qui couvrirait toute la surface, on a constaté un écoulement en rigoles sur la plaque.

Solutions proposées

- Porter le nombre de trous du distributeur au

maximum permissible par les instructions de perçage du cuivre (distance entre deux trous) pour cette application.

- Chercher une pompe de débit permettant de couvrir la surface de captage ou diminuer celle-ci.

IV - 4 CALCUL DU COUT DE L'INSTALLATION

Pour la détermination du coût de l'installation, l'on se propose de l'évaluer en :

1) tenant compte des éléments de récupération, ce qui nous donnera le coût effectif de l'installation du projet.

2) en ne tenant pas compte de ces éléments de récupération et en donnant des alternatives qui, sans réduire les performances, abaisserait le coût d'une installation similaire à celle du projet.

Il est à noter qu'il n'y a pas, inclus le coût de la main d'œuvre.

Resultats des estimés :

- 1) En tenant compte des éléments de récupération : 2645 CFA
- 2) En ne tenant pas compte des éléments de récupération: 62290 CFA
- 3) 2 cas ci-dessus mais avec les suggestions (alternatives): 40095 F

Tableau IX-2. Coût de l'installation en tenant compte des éléments de récupération.

Elements constituant le montage	Coût (CFA)
Plaque d'aluminium 1,31 m ²	*
Plaque de plexiglas 1,51 m ²	*
Pompe	*
Laine de verre	*
Bois léger utilisé	*
boyau d'arrosage courant (retour)	*
boyau d'amenée	*
Colle - tube Sæxit -	260
Papier aluminium (8 m)	400
Colle Ponal	570
Peinture noir mat	985
Ficelles	300
Collier de serrage (1)	130
Polystyrène expansé	*
Réservoir (pot en fer)	*
Plaque entourant le réservoir	*
distributeur	*
* = récupération	Coût
	2645 CFA

Tableau IV-3 Coûts de l'installation en tenant compte de tous les éléments et alternatives

Constituants	Coût (CFA)	Alternatives	Coût (CFA)
Plaque aluminium 1.31 ₂ m	7125	/	7125
Plaque plexiglas 1.51 ₂ m	19840	verre 1,51 m ²	6705
Pompe	15000	/	15000
laine de verre	950	/	950
bois léger	5000	/	5000
bois de retour 1m	80	/	80
bois de amener 2,5m	250	/	250
Colle tube saxit	260	/	260
Papier aluminium 8m	400	/	400
Colle Ponal	570	/	570
Peinture noir mat	985	/	985
Collier de serrage	130	/	130
Polystyrène expansé (2 m ²)	700	/	700
Plaque aluminium entourant le réservoir	9300	Carton 1.71 m ²	240
distributeur	1200		1200
Ficelles	300	/	300
réservoir (pot en fer)	200	/	200
	62290	← COUT →	40095

CONCLUSION

Le capteur solaire plan à ruissellement tel qu'ainsi conçu peut, à plus d'un titre être avantageux dans le milieu rural bien que devant subir des modifications pour ce cas là. En effet, il pourrait servir :

- de sechoir pour peu que l'on y fasse des aménagements mineurs pour évacuer la vapeur d'eau provenant des produits à sécher (trous par le bas - entrée d'air frais - et sur les cotés - sortie de l'air contenant la vapeur -) .

(Voir annexe II)

- de distillateur : il serait plus intéressant alors de se servir d'une plaque de verre qui a une inertie thermique de loin plus faible que celle du plexiglas (conferer projet de Mr Ehaick Diouga Guaye sur le distillateur solaire)

- de chauffage d'eau sanitaire ou de préchauffage de l'eau utilisée dans les pompes solaires .

Cependant, malgré sa facilité d'adaptabilité, sa puissance relativement grande (élévation de la température de l'eau de 14 °C en 15 mn), son prix modique, le capteur présente un inconvénient : l'utilisation d'une pompe nécessitant de

de l'énergie électrique. On peut supprimer la pompe en utilisant 2 réservoirs mais ceci nécessiterait aussi une manutention non négligeable (interchangement des réservoirs)

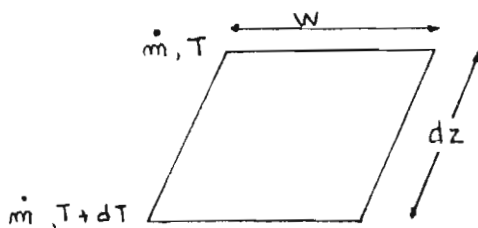
En ce qui concerne la plaque avec galets, il serait intéressant de poursuivre les mesures afin de pouvoir conclure plus sûrement et faire les comparaisons avec l'isolateur à plaque lisse.



ANNEXE I

DIMENSIONNEMENT DE L'INSOLATEUR A PARTIR DU COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR GLOBAL

Soit un élément de plaque.



$$d\dot{Q} = \dot{m} c_p dT \quad (1)$$

Pour $d\dot{Q}$ la chaleur collectée par l'absorbeur, elle est égale au flux solaire diminué des pertes :

$$d\dot{Q} = \alpha_s \tau_s (1 + a) \bar{q}_s dA - U dA (T - T_e) \quad (2)$$

(équation 3.2 du Solar Collector Design)

où :

α_s = facteur d'absorption de la plaque d'aluminium

τ_s = transmissivité solaire du plexiglas

a = proportion récupérée dans les pertes du plexiglas

U = coefficient de transfert global ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)

T_e : température d'équilibre de la plaque lorsqu'elle est cachée au soleil mais non au ciel.

Pour faciliter les calculs, on définit une température statique T_s

$$(2) \text{ devient } \alpha_s \tau_s (1 + a) \bar{q}_s + U T_e = U T_s \quad (3)$$

$$(1) \text{ devient } \dot{m} c_p \frac{dT}{dz} = U W (T_s - T) \quad (4)$$

Si T_i température d'entrée de l'eau

et T_o température de sortie de l'eau pour $z = L$

$$\text{alors } T_o = T_i + (T_s - T_i) E_{he} \quad (5)$$

où E_{he} = efficacité de l'échangeur

$$E_{he} = 1 - e^{-N_{tu}} = \frac{T_o - T_i}{T_s - T_i} \quad (6)$$

N_{tu} est appelé le nombre d'unités de transfert.

$$N_{tu} = \frac{U A}{\dot{m} c_p} = \ln \frac{1}{1 - E_{he}} \quad (7)$$

A = aire de la plaque absorbante

Détermination de U et T_e

Elle peut être faite de façon expérimentale.

On cache l'insolateur au soleil mais il est tout de

même exposé au ciel avec un débit nul. On mesure la température lorsque l'équilibre est atteint; on obtient ainsi T_e .
On fait ensuite couler de l'eau chaude à la température T_i sur la plaque avec un débit connu et on mesure la température de sortie T_o .

Comme la plaque est cachée au soleil, on a $T_s = T_e$.

Les valeurs introduites dans les équations (5) (6) et (7) donnent les résultats cherchés.

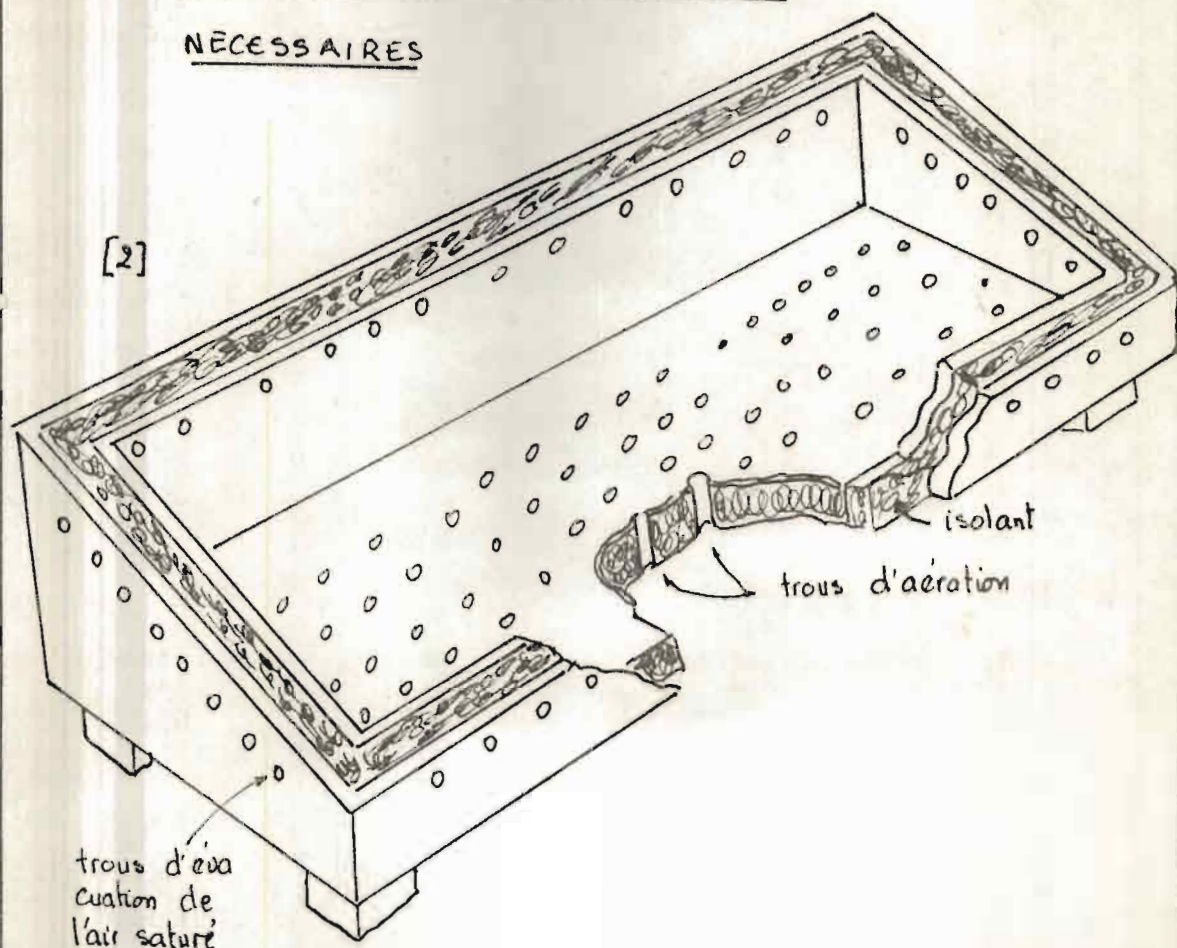


ANNEXE II

EXEMPLE D'UTILISATION DU CAPTEUR

COMME SÉCHOIR ET MODIFICATIONS

NECESSAIRES



Pour utiliser le capteur en séchoir il suffira de créer les trous d'aération et d'évacuation de l'air humide.

REFERENCES

- [1] BIRD. STEWART. LIGHT FOOT : Transport Phenomena
1960, John Wiley & sons, Inc
- [2] Périodique bimensuel , Ecologie n°10
décembre - janvier 1980
- [3] D. K EDWARDS , Solar Collector Design
1978, The Franklin Institute Press
- [4] K. RAŽNJEVIC : Tables et Diagrammes Thermody-
namiques, 1970 - Eyrolles Paris
- [5] Notes de Cours de Chaleur 311 - MICHEL PETITEAU
- [6] F. KREITH . Transmission de Chaleur et Thermodynamique
1967, Masson et Cie Éditeurs
- [7] CABIROL, PELISSOU, RDOUX - Le chauffe-eau solaire
1976, Edisud