

UNIVERSITE D'ALGER

6/77

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département mécanique

1 esc.

PROJET DE FIN D'ETUDES

CAPTEUR - PLAN

Proposé par :

Mr COEVOET

Mr JACOB

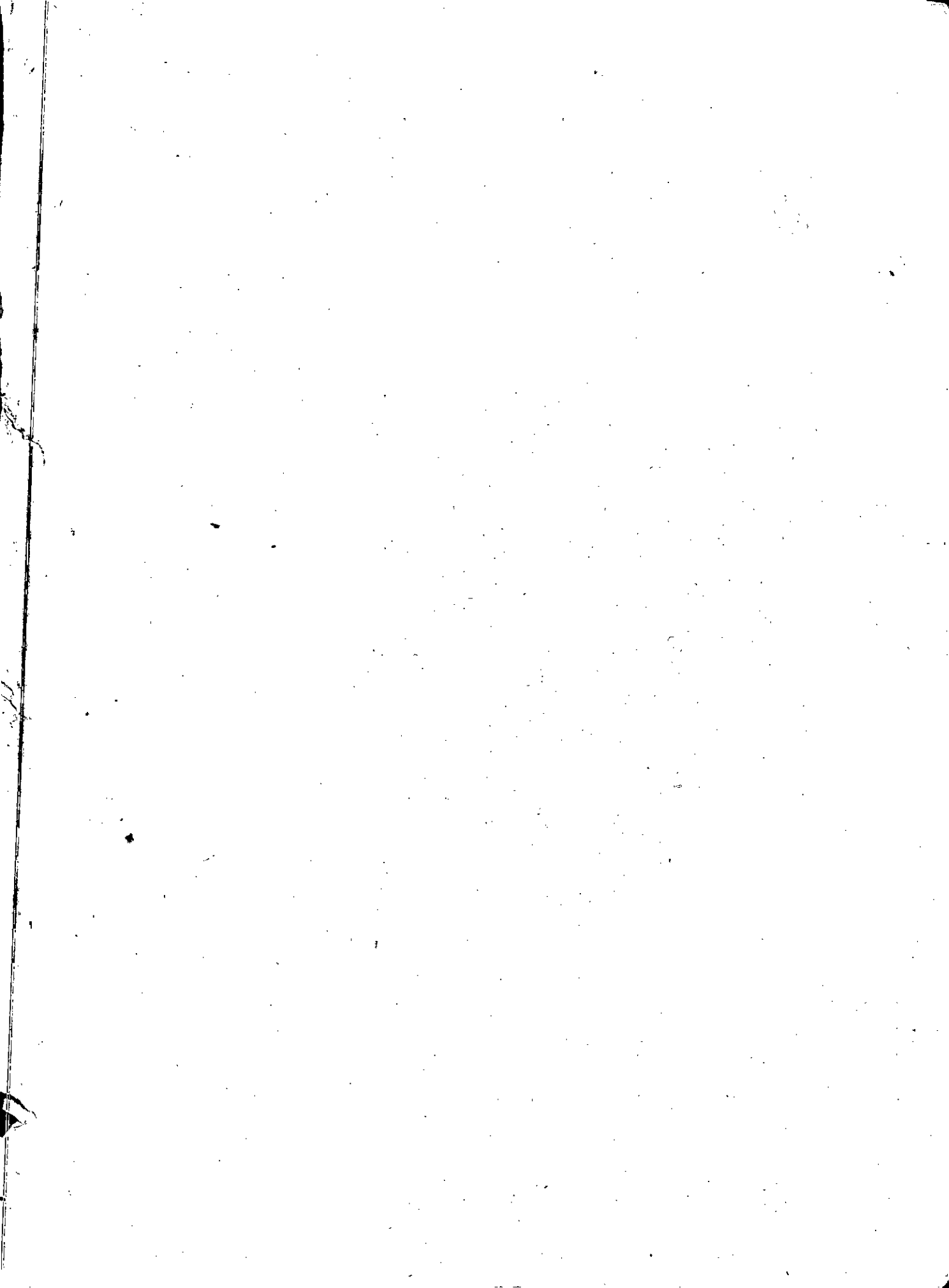
Mr LOTZ

Etudié par :

Abdelkader BOUZID

Ammar EL-HASSASNA

PROMOTION — JUIN 77 —



UNIVERSITE D'ALGER

---

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

---

Département mécanique

---

PROJET DE FIN D'ETUDES

CAPTEUR - PLAN

Proposé par :

Mr COEVOET

Mr JACOB

Mr LOTZ

Etudié par :

Abdelkader BOUZID

Ammar EL-HASSASNA

PROMOTION — JUIN 77 —

@, nos parents  
في الوالد مني

## Remerciement.

Que tous les enseignants ayant contribué  
à notre formation trouvent ici notre  
extrême gratitude.

Nos remerciements en particulier à  
M<sup>rs</sup> COEVOET, LOTZ, JACOB pour  
leurs conseils utiles.

## Préface.

L'ensemble de matières d'ordre énergétique utilisées jusqu'à aujourd'hui, va en s'épuisant, d'après les recherches menées par le "Club de Rome" la nécessité mondiale en énergie sera de cinq fois plus importante qu'aujourd'hui (futur). Donc la recherche de nouvelles sources d'énergie, non fossile et non polluantes s'impose.

L'énergie solaire source inépuisable se présente d'ores et déjà comme concurremment solide, et ce n'est éternel. Et dans le monde, et surtout dans les pays industrialisés, les recherches ont débouté, avancent un peu difficilement mais émanent déjà une lueur d'espoir.

L'énergie solaire connaît déjà diverses applications allant de la plus naturelle (photosynthèse) existant depuis des millions d'années, jusqu'au projet américain "Fen" consistant à aller capturer dans l'espace et le sur terre, grâce à la conversion photovoltaïque, l'énergie pour la transmettre ensuite grâce à un faisceau de micro ondes au terre, lequel sera transformé pour la suite en électricité dans des "centrales solaires" NASA (USA). AEG -

- TELEFUNKEN et université technique de Berlin pour l'Allemagne fédérale.

Entre ces deux limites "extrêmes" actuelle une application particulièrement remarquable attire l'attention : les capteurs solaires. Leur utilité est surtout domestique, actuellement du moment que leur utilisation industrielle revient chère. Des calculs ont montré que pour de tels collecteurs, on peut produire à une pression de  $7 \text{ Kg/cm}^2$  de la vapeur d'eau.

Des estimations préliminaires nous ont permis d'atteindre avec ce type de collecteur opérant par temps ensoleillé comme celui qui règne au Texas ou Sahara, des températures d'équilibre de l'ordre de  $121^\circ\text{C}$  à  $149^\circ\text{C}$  et obtenu une production annuelle d'énergie de  $192 \text{ Kw}$  par hectare de surface collectrice, avec un prix de revient qui serait approximativement trois fois le prix actuel de l'énergie fournie par des moyens plus conventionnels.

## Introduction

Au point de vue économique, le capteur plat d'énergie solaire est le plus simple des dispositifs de captage. Il comporte une plaque noire absorbante à laquelle sont fixés des tubes dans lesquels circule le fluide caloporteur = l'eau.

Le côté noir est exposé au soleil et est couvert d'une ou plusieurs plaques de verre séparées par une couche d'air, d'environ 1,5 cm.

Ces verres ont l'avantage de diminuer les pertes d'énergie du capteur, aussi bien par convection que par rayonnement.

Le courant d'eau est produit par circulation thermique naturelle (thermosiphon) ou par circulation forcée, (pompes). Le premier procédé montre beaucoup d'avantages, simplicité, inutilité d'une surveillance mécanique quelconque, cependant un léger désavantage, c'est que le réservoir doit être situé à un niveau plus élevé que le collecteur d'une part, d'autre part, il faudrait qu'il y ait le moins de pertes de charges possible.

Le rayonnement reçu par une surface déterminée placée face au sud augmente depuis le lever du jour jusqu'à midi et diminue par la suite.



jusqu'au soir.

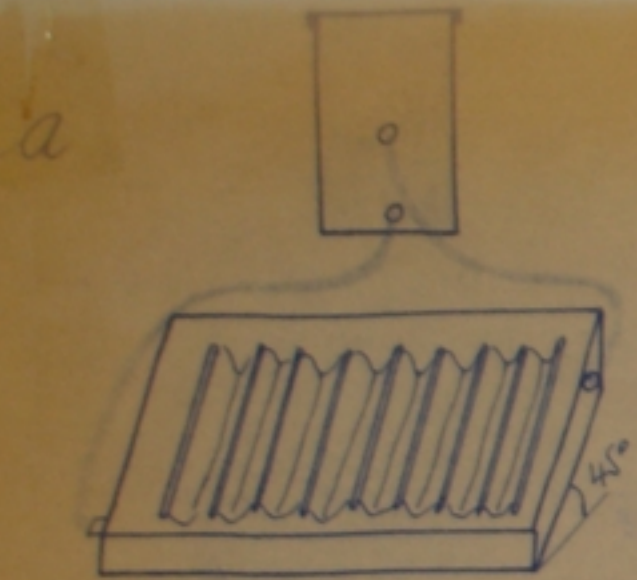
Pendant la première partie du jour la température de l'eau augmentera et l'élevation de température coïncidera avec l'augmentation du rayonnement.

Pendant la seconde moitié du jour on aura une élévation de température de l'eau pour une intensité décroissante du rayonnement. Vers la moitié de l'après midi l'eau du collecteur (ave) atteint une température d'équilibre, ensuite l'eau commence à se refroidir. Pour en tirer le plus de profit possible il suffira de sortir beaucoup d'eau vers le milieu du jour ou de quantités plus petites à intervalles fréquents.

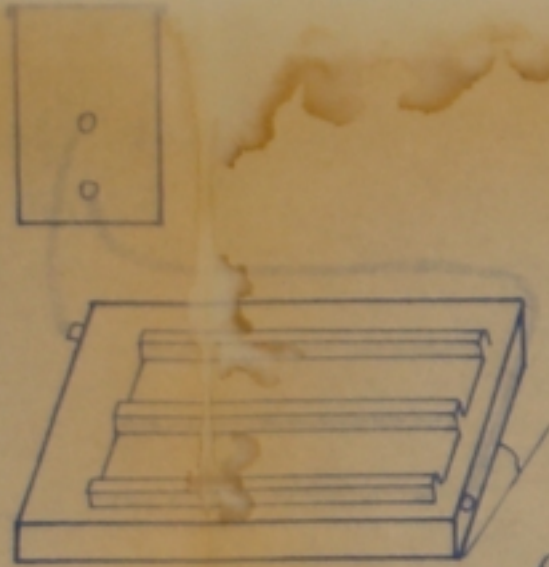
Dans les pays à climats chauds le système à circulation thermique simple suffit. Pour les pays à climats tempérés ou froids il sera nécessaire d'apporter une quantité de chaleur supplémentaire par le moyen, résistance électrique etc...

CHAPITRE 1

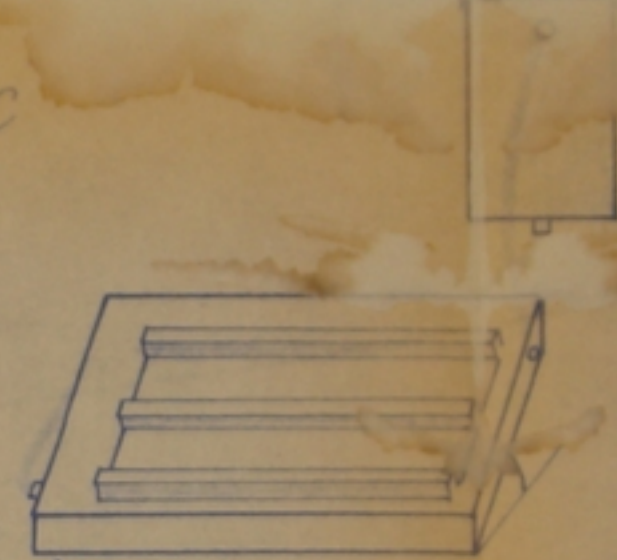




- fig. 0



- fig 2. α

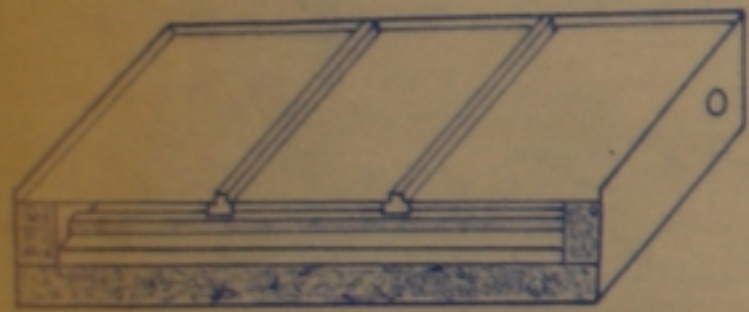


- fig 2. β

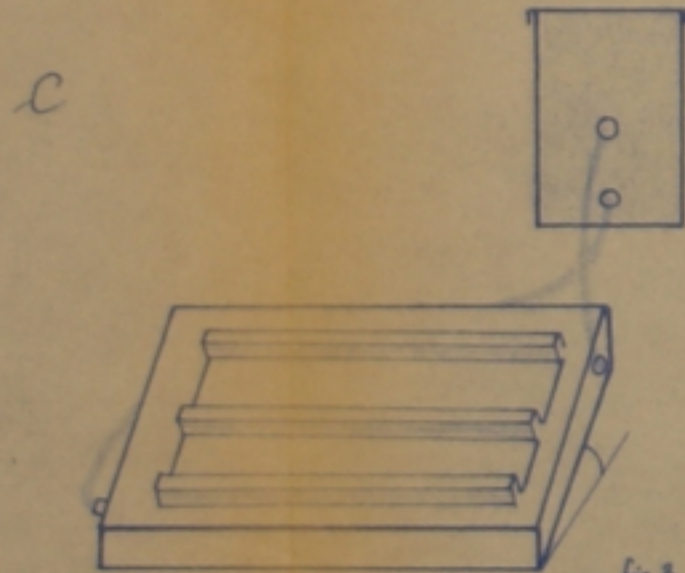
a) capteur muni d'une plaque absorbante servant de plaque absorbante et de circulation d'eau

b) capteur muni d'une plaque absorbante et de tuyaux pour circulation d'eau avec soudure tout le long.

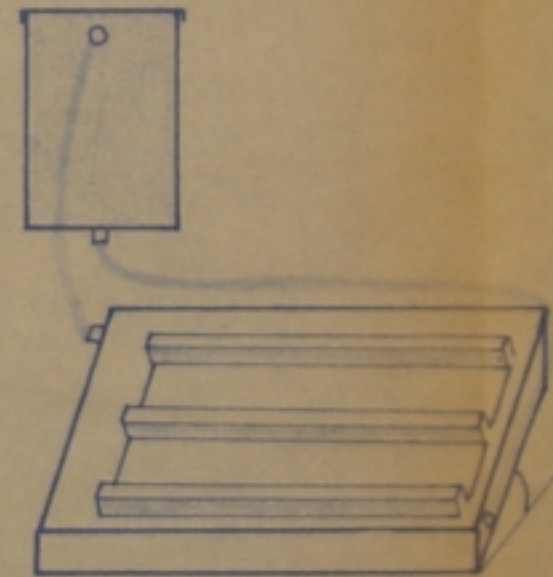
c) capteur idem, mais tuyaux avec soudure interrompue (par points).



- fig 1

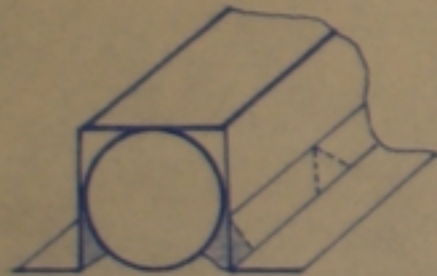
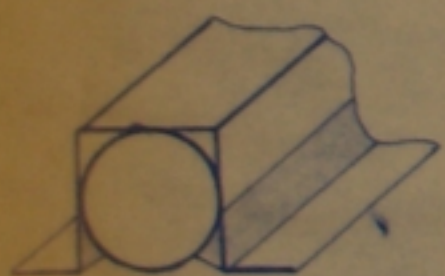


- fig 3. α



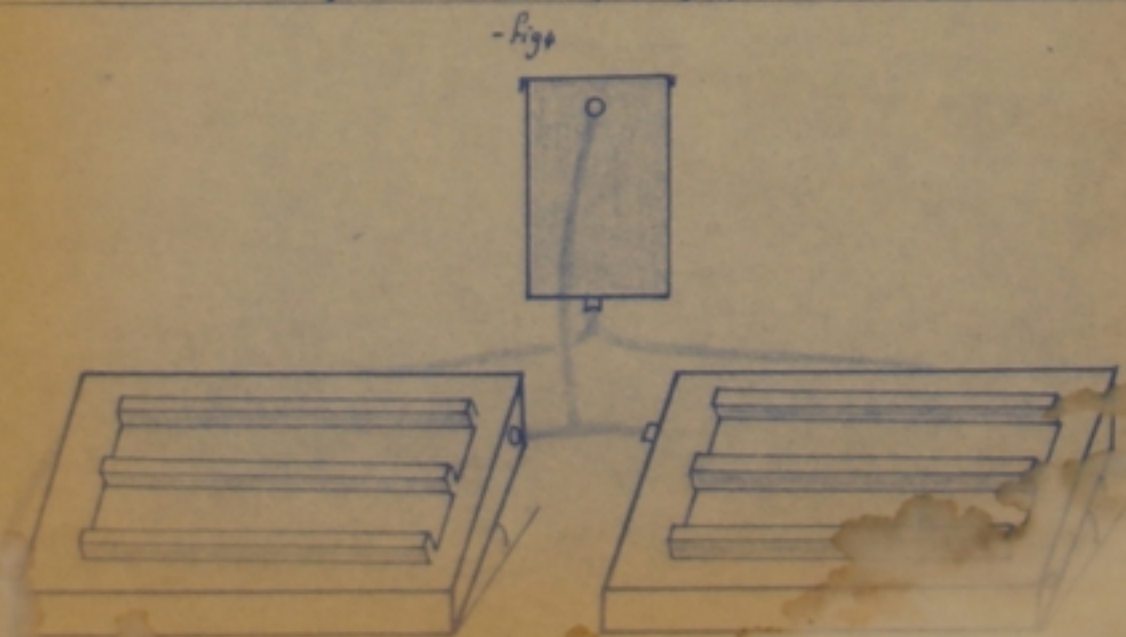
- fig 3. β

2<sup>ème</sup> installation.  
Permutation des capteurs B et C  
les cuves restantes fixes.



tuba soudé  
tout le long  
- fig 1. α

tuba soudé  
par point  
- fig 1. β



- fig 4

3<sup>ème</sup> installation  
Montage en parallèle des  
deux capteurs.

PM 006177  
Avant P. 8



# CHAPITRE I

## 1.1 BUT-

Le but de ce projet est l'élaboration d'un capteur pour au vue d'une production industrielle.

Notre étude se repose essentiellement sur deux paramètres qu'il faudra déterminer grâce à une étude comparative entre deux capteurs -

On a d'une part un paramètre surtout et l'ordre économique, en effet les tuyaux sondés contre la plaque sont sondés tout le long (fig 1-a) ceci en ce qui concerne le capteur (b) fig (2-a). Les tuyaux sondés contre la plaque du deuxième capteur sont sondés par points figure (1-B) : capteur (c) fig (2-B) ce dernier procédé nous permet si les rendements énergétiques ne sont pas très différents d'économiser de la sonde et bien sûr le moyen d'œuvre cher.

D'autre part on a un paramètre d'ordre qualitatif. On pense que le mélange dans les cuves reliées aux capteurs se fera mieux lorsque la sortie de l'eau froide se fait par le fond de la cuve.

L'eau chaude ainsi récupérée dans la cuve servira grâce à un échangeur de chaleur de subvenir aux besoins sanitaires des consommateurs. Pour ce qui est de l'échangeur, vu le temps et le moyen il fera 8

1<sup>er</sup> installation

# CAPTEUR A

te: température entrée  
ta: " " sortie  
tec: " " entrée cuve

Heures \ Temp. °C	Te	Ts	Tec
7 ½	20,9	24,32	21,28
8	22,78	27,15	23,92
8 ½	25	34,45	28,75
9	26	38,92	33,22
9 ½	28,4	41,20	37,4
10	30,6	44,10	40,3
10 ½	31,84	46,05	38,3
11	33	47,92	40,89
11 ½	34,12	47,97	42,1
12	34,92	48,25	44,26
12 ½	36,28	49,96	45,4
13	37,42	49,96	47,68
13 ½	38,75	50,15	48,25
14	39,32	49,58	50,91
14 ½	40,08	49,2	50,15
15	38,32	46,3	47,82
15 ½	38,2	45,04	46,75
16	35,87	43,66	45,75
16 ½	33,85	35,94	46,6
17	31,95	29,67	47,15
17 ½	30,43	29,29	46,77
18	29,73	29,73	47,4
18 ½	28,43	28,43	48

1<sup>ere</sup> installation

# CAPTEUR · B

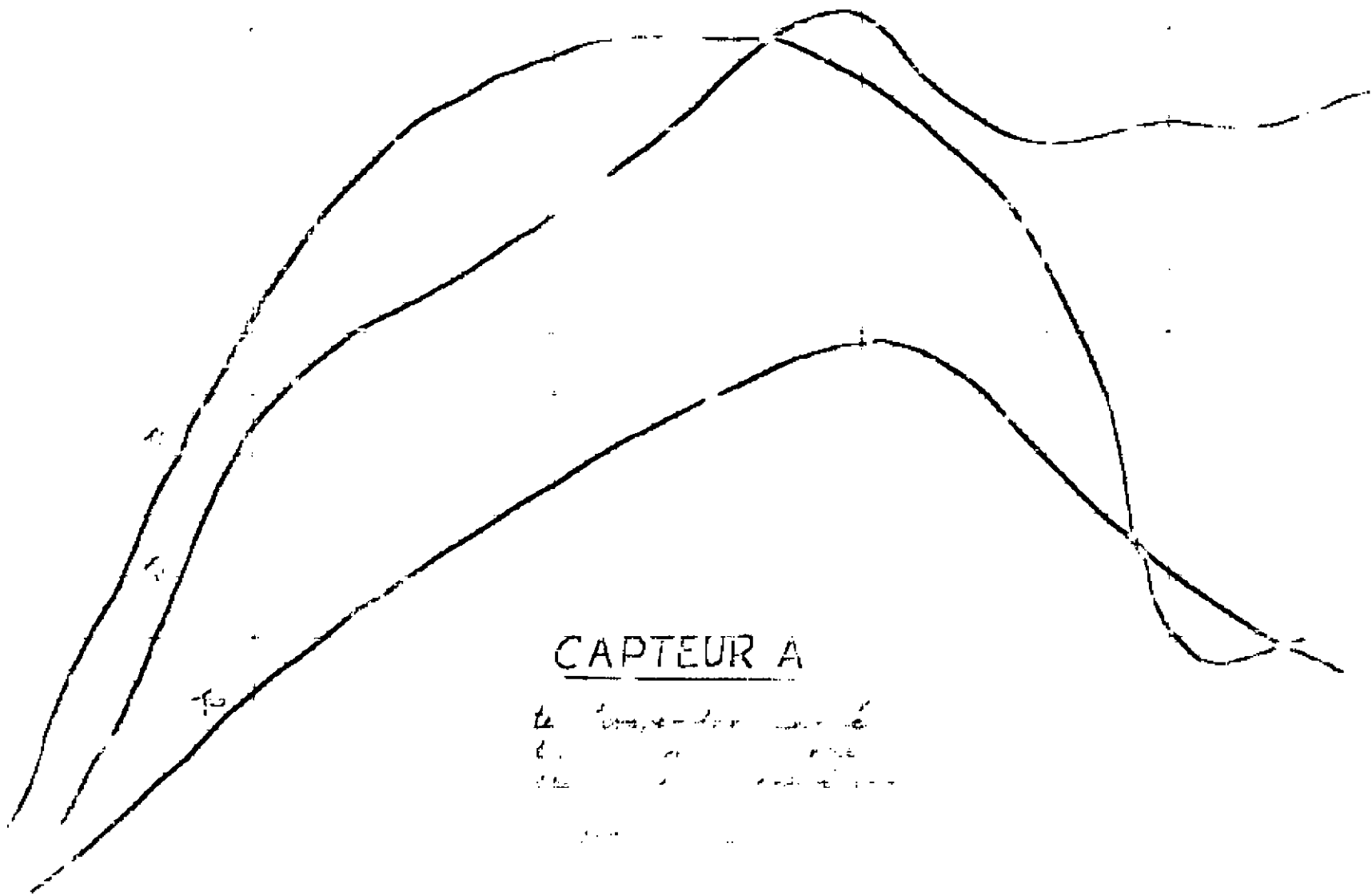
te: température entrée  
ta: " " sortie  
tec: " " entrée cuve

Heures / Temp. °C	Te	Ta	Tec
7	20,8	27,07	26,6
7 ½	24	36,29	27,17
8	27,75	41,78	32,47
8 ½	30	45,85	37,3
9	30,45	48,8	41,2
9 ½	32	49,56	41,2
10	32	51,13	42,2
10 ½	32,8	49,13	41,15
11	34	52,1	45,45
11 ½	34	52,55	46,85
12	35	52,05	48,25
12 ½	36,4	51,5	50,15
13	38	50,91	51,86
13 ½	38,6	50,53	52,24
14	38	50,15	52,43
14 ½	37	49,2	53,57
15	36,6	47,07	52,57
15 ½	35	45,42	52,26
16	33,65	41,38	52,02
16 ½	30	32,9	51,33
17	26,6	26,44	50,95
17 ½	25,8	26,63	50,95
18	25,6	27,07	50,25

1<sup>ère</sup> installation  
CAPTEUR - C

te: température entrée  
ts: " " sortie  
tec: " " entrée cave

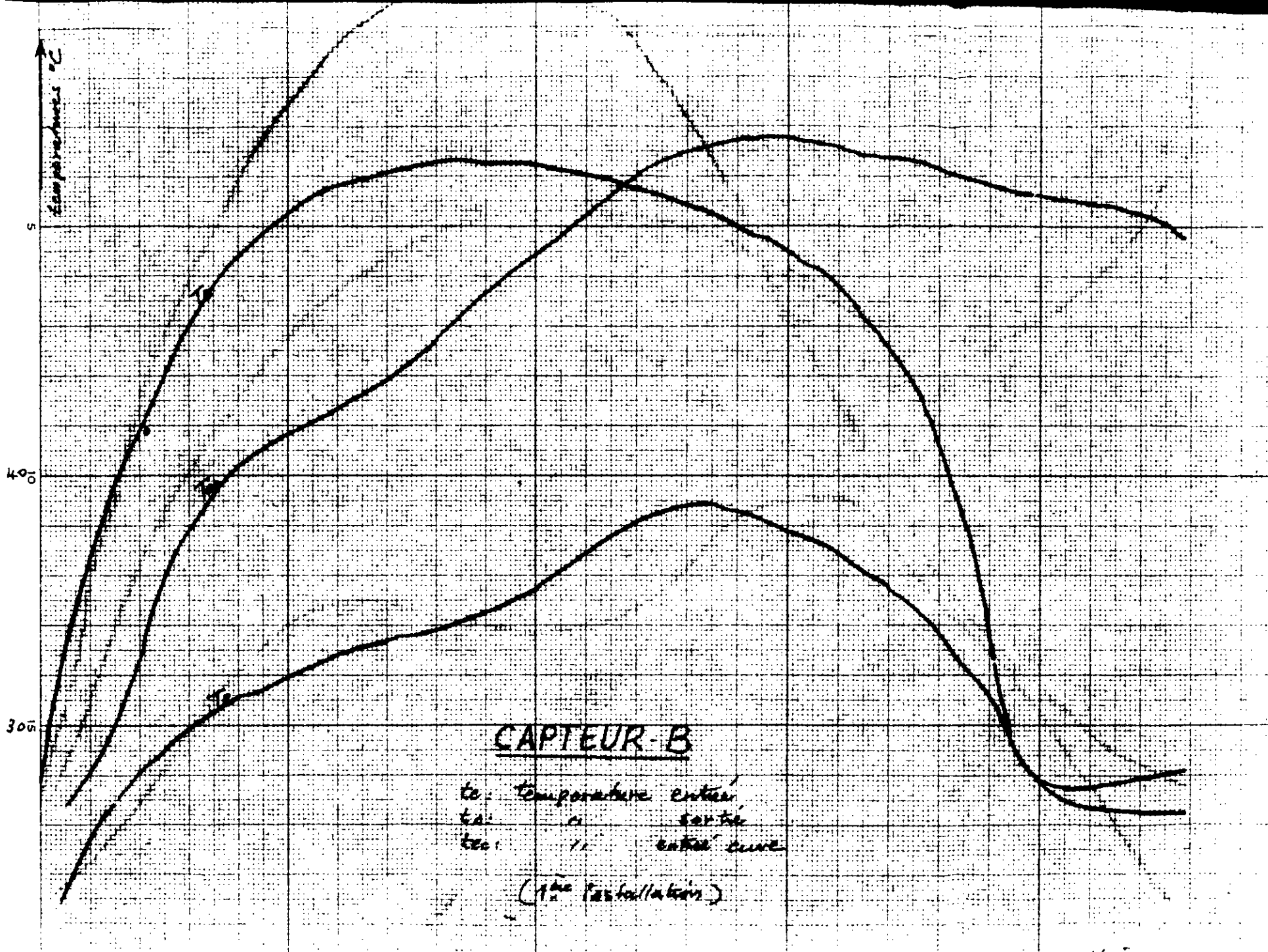
Heures \ Temp °C	Te	Ts	Tec
7 1/2	22,88	28,7	27,34
8	24,77	37,18	33,7
8 1/2	28,5	43,4	38,55
9	30,85	51,22	41,9
9 1/2	32,59	54,13	43,46
10	34,76	55,9	45,82
10 1/2	32,76	56	48,28
11	34,23	60,03	49,56
11 1/2	33,73	61,86	49,44
12	33,23	60,2	50,5
12 1/2	33,23	60,2	50,5
13	33,62	58,64	50,69
13 1/2	34,59	56	50,69
14	37,89	54	49,72
14 1/2	39,05	50	48,75
15	39,02	43,87	46,78
15 1/2	38,9	42,4	46,28
16	35,58	38	45,4
16 1/2	34,11	36	44,9
17	32,56	33	45,56
17 1/2	29,26	32,17	46,78
18	25,24	31,08	47,96
18 1/2	23,38	28,8	52,5



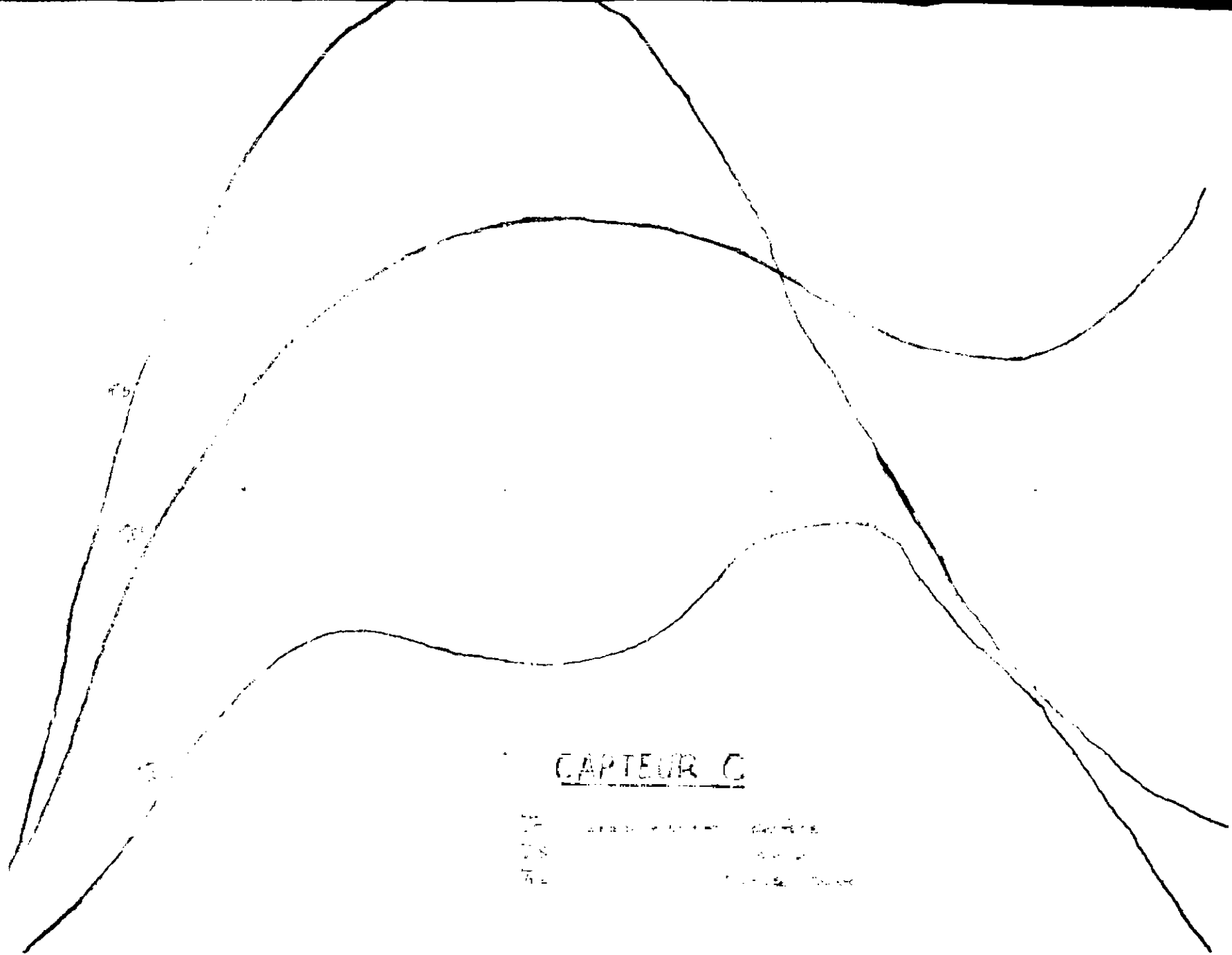
CAPTEUR A

*[Faint, illegible handwritten text]*





Heine



CAPTEUR C

- Ligne
- Niveau
- Profil

L'objet d'un projet futur pour la promotion à venir.  
Le capteur est fabriqué de matériaux produits par nos sociétés  
nationales (SUS, SMLB) d'où l'intérêt d'une fabrication  
en série.

## 1-2 Présentation-

Les capteurs plans sans concentration sont généralement fixes, ou ils orientés  
suivant le lieu et la saison. Pour l'ensemble nous  
ils sont orientés vers le sud.

Dans l'étude comparative de nos capteurs on a prévu trois  
installations. Les capteurs sont placés sur le toit  
d'un bâtiment de l'EPAV est orientés vers le sud  
avec une déclinaison de  $-10^\circ$ . (ou ouest) imposée  
par l'architecture du bâtiment.

1-2.1 Première installation (fig-2) nous avons 3 capteurs  
deux semblables à une sonde, mis (capteur à tuyaux) et 1  
troisième qui est un radiateur - (capteur a).

Les cuves de capteurs (a) et (b) disposent d'une entrée d'eau chaude  
et d'une sortie d'eau froide sur le flanc. La cuve (c) par  
contre possède une entrée d'eau chaude sur le haut de la  
surface latérale et une sortie d'eau froide par le fond.

A l'intérieur de chaque cuve est installé un flotteur  
permettant de maintenir le niveau d'eau constant. Dans  
cette première installation les cuves ont été complètement  
remplies et les mesures ont été prise de 7<sup>h</sup> du matin à  
18<sup>h</sup> 30 -

## 1-2.2 Deuxième installation

Dans cette deuxième partie nous avons permis  
les capteurs (b) et (c) tout en laissant fixes les cuves.

Le capteur (a) aura seulement à nous donner  
une idée sur ce qu'un radiateur peut  
donner comme calories, les mêmes

2<sup>m</sup> installation

## CAPTEUR B

$t_e$ : température entrée  
 $t_s$ : " " sortie  
 $t_{ec}$ : " " entrée cuve

Heures / Temp. °C	$T_e$	$T_s$	$T_{ec}$
7 1/2	24,73	27,26	23,96
8	26,23	34,38	25,46
8 1/2	26,73	35,85	26,35
9	28,43	37,93	30,76
9 1/2	28,43	39,68	31,53
10	28,93	40,76	33,97
10 1/2	30,12	42,34	36,14
11	30,62	42,65	37,8
11 1/2	31,12	42,96	39,27
12	31,62	42,29	44,43
12 1/2	31,82	41,52	43
13	32,7	40,85	42,99
13 1/2	34,26	40,85	44,15
14	35,7	40,16	43,84
14 1/2	37,14	39,46	43,93
15	37,6	38,77	43,43
15 1/2	38,3	39,08	44,12
16	37,91	37,14	44,12
16 1/2	35	35,2	44,12
17	32,92	31,76	43,4
17 1/2	30,95	31,14	45,89
18	29,26	31	46,13
18 1/2	26,48	29,97	45,69

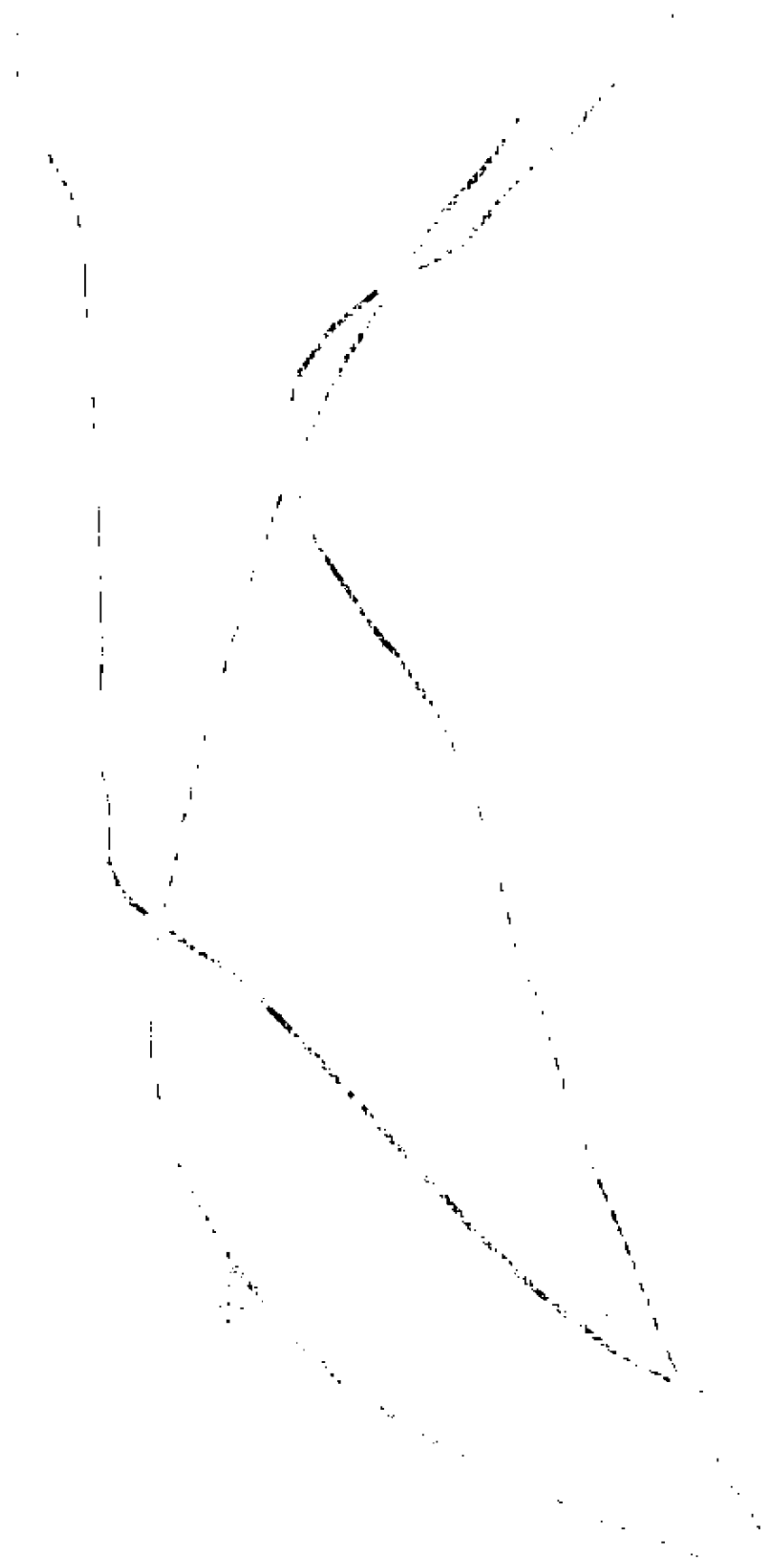
2.° installation.

# CAPTEUR · C

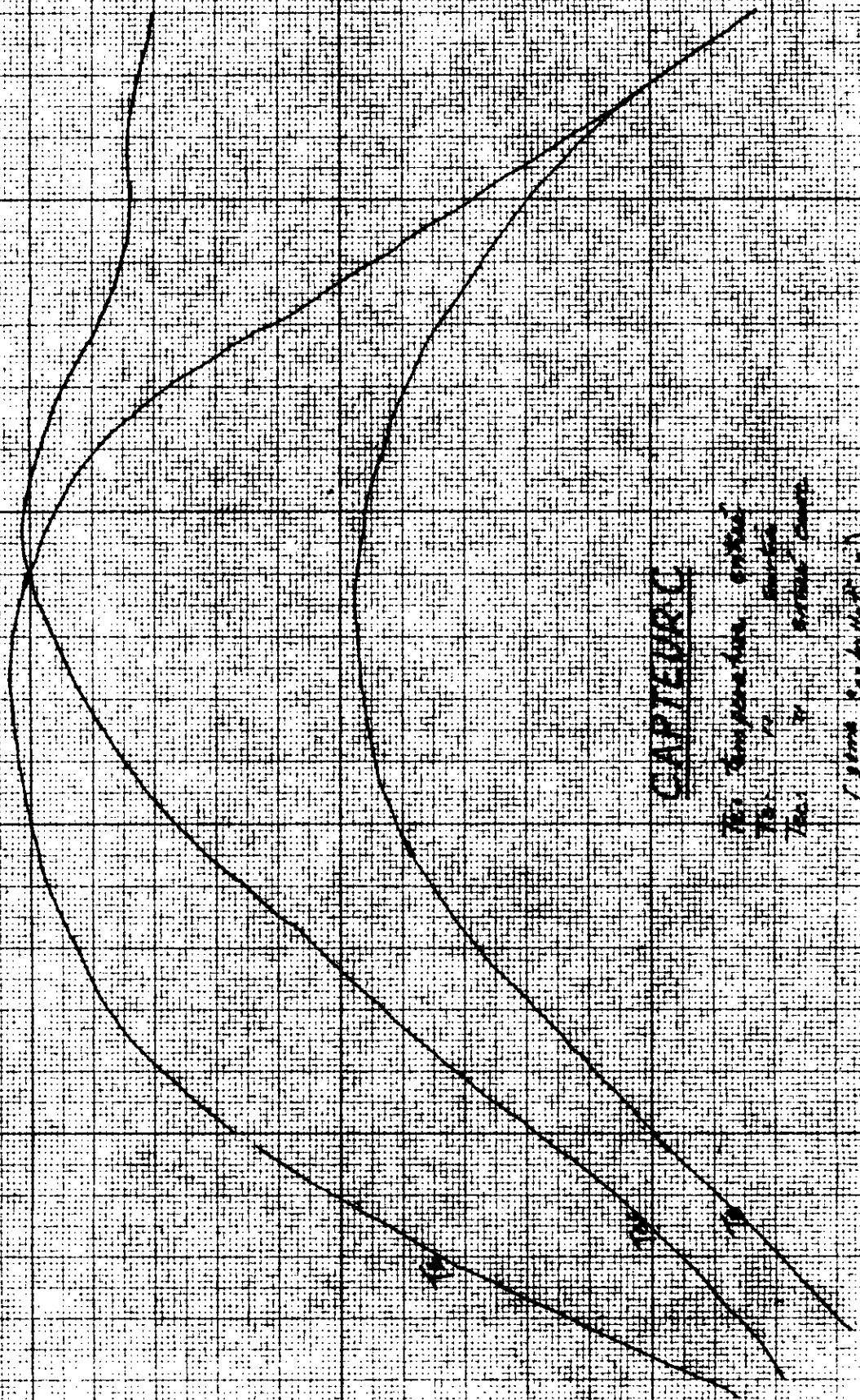
Te: temperature entrée  
 Ts: " " sortie  
 Tec: " " entrée cuve

Heures \ Temp. °C	Te	Ts	Tec
7 ½	19,88	27,26	25,84
8	23,71	33,99	26,04
8 ½	24,6	35,27	28,48
9	28,04	40,65	30,56
9 ½	30,37	43,56	34,64
10	31,26	45,81	36,69
10 ½	33,81	47,39	38,27
11	36,05	48,47	40,71
11 ½	38	48,78	41,99
12	38,2	50,00	46,95
12 ½	39	50,70	46,17
13	38,8	50,55	46,87
13 ½	38,7	50,50	49,78
14	39	50,00	50,19
14 ½	39	49,16	50,13
15	38,5	48,47	49,44
15 ½	38,3	45,87	48,81
16	37,4	42,76	47,67
16 ½	36	38,24	46,93
17	33	34,86	46,02
17 ½	32	32,7	47,28
18	30	30,23	46,23
18 ½	26	26,09	46,23

1917  
1918  
1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938  
1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025



Temperature °C



CAPTEUR

1. Temperature curve  
 2. ...  
 3. ...  
 (some pasteurization)

40

30

Hours

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

0

0

0

0

comparées tour à tour à celle des capteurs (b) et (c) nous sommes  
tour à tour cette idée.

### 1.23. Troisième installation (fig 4)

On effectuera un montage en parallèle des capteurs (b) et (c)  
en utilisant la cuve (c) ce qui nous permettra d'avoir  
une seule distribution d'eau froide par le fond de la  
cuve, et une seule collecte d'eau chaude sur la surface  
latérale.

### 1.24. Instruments de mesures.

La plus importante des variables dans notre bilan thermique  
est la température, et les mesures qu'on a prises sont en  
millivolts grâce à un millivoltmètre de précision.

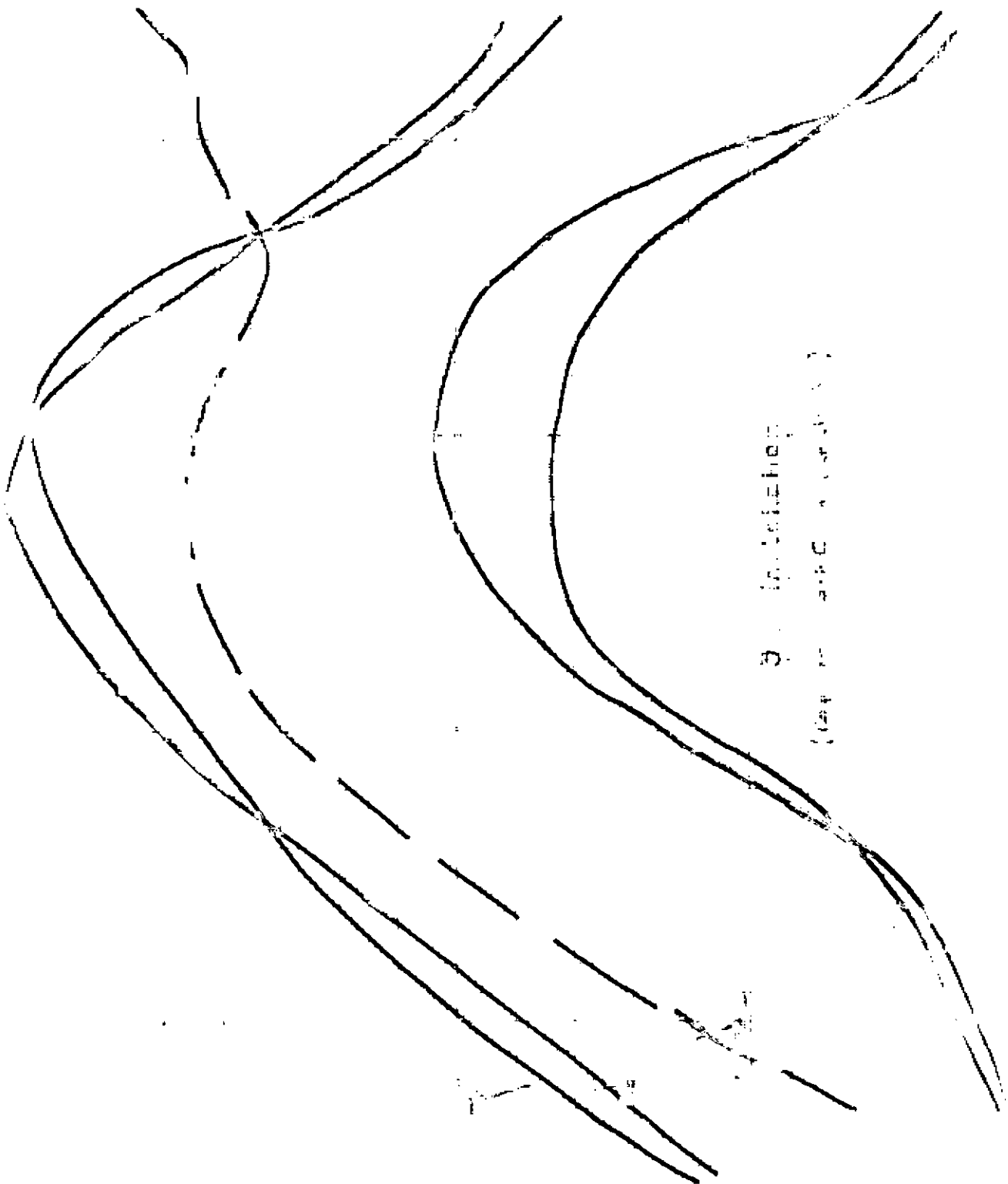
Pour prélever ces températures on a usé de thermocouples  
au nombre de 14 et d'un psychomètre (thermomètre qui donne  
la température humide et sèche de l'air ambiant, il  
est muni d'un ventilateur). On a placé 5 thermocouples  
pour le 1<sup>er</sup> capteur, 6 pour le 2<sup>ème</sup>, 3 pour le 3<sup>ème</sup>.  
Les thermocouples serviront à prélever la température  
de l'eau à l'entrée de la cuve et celles de l'eau à  
l'entrée et à la sortie du capteur. Pour le capteur (b)  
les trois thermocouples en plus serviront à nous donner, la température  
de la plaque, lors du fléage, fés du fléage et sur le panneau du  
fléage puisqu'on a affaire à une tôle de zinc placée.



### 3<sup>ème</sup> EXPERIANCE (installation)

*Capteurs B et C en parallèle*

Heures / °C	T <sub>ec</sub>	T <sub>ac</sub>	T <sub>eb</sub>	T <sub>ab</sub>	T <sub>s</sub>	T <sub>e cure</sub>
8	19,3	30,38	19,7	31,55	30,96	22,23
8½	21,41	34,4	21,21	35,76	35	25,67
9	22,6	37,15	22,21	38,31	37,7	28,03
9½	23,09	39,2	22,51	40,55	39,87	33,38
10	23,68	39,97	22,9	42,30	41,13	36,29
10½	24,38	41,84	23,99	44,55	43,19	38,93
11	27,01	44,28	26,82	46,8	45,54	41,37
11½	28,87	47,69	30,42	47,49	47,59	44,58
12	33,27	51,51	36,18	48,79	50,15	46,85
12½	35,66	52,92	36,24	50,64	51,08	47,49
13	36,16	54,59	37,71	52	52,74	48,57
13½	36,85	55,48	39,57	53,92	54,7	49,27
14	35,96	55,75	40,23	54,39	55,07	49,35
14½	35,96	54,98	40,8	54,62	54,3	48,57
15	36,58	54	40,6	54	53,5	48,4
15½	36	50	39,5	52,18	52,86	46,75
16	33,17	47,13	38	48,44	47,78	46,69
16½	32,14	45,5	35,6	43,56	44,53	48,4
17	27,32	40,9	27,9	40,5	40,70	48,6
17½	25,23	40,4	23,9	39,23	39,8	49,13
18	23,38	39	22,91	36,68	37,84	51,23



Q. (Incl. 10/1/1967)  
(See also 10/1/1967)

Pour la jonction de ces thermocouples nous disposons de une boîte de jonctions de 16 entrées.

### 1.25. Dimensionnement:

Les trois capteurs ont été réalisés par des professeurs de l'EPSCU en l'occurrence M<sup>rs</sup> Lotz et Jacob, et, terminés par nos soins. Les éléments utilisés sont les suivants:

#### 1.251: boîtes:

Trois boîtes de  $\phi 50$  cm de hauteur  $h = 78,5$  cm.

Contenance 150 l.

#### 1.252 tuyauterie

Capteur a:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{tuyauterie froide: } 226 \text{ cm, } 2 \text{ courbes } 1 \text{ vanne} \\ \text{tuyauterie chaude } 226 \text{ cm, } 3 \text{ courbes } 1 \text{ vanne} \end{array} \right.$

Capteur b:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{tuyauterie froide: } 148 \text{ cm, } 3 \text{ courbes } 1 \text{ vanne} \\ \text{" chaude } 138 \text{ cm, } 2 \text{ " } 1 \text{ " } \end{array} \right.$

Capteur c:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{tuyauterie froide: } 356 \text{ cm, } 3 \text{ courbes, } 1 \text{ vanne} \\ \text{" chaude } 160 \text{ cm, } 2 \text{ " } 1 \text{ " } \end{array} \right.$

longueur de tuyauterie en forme de serpentin à l'intérieur des capteurs (b) et (c)  $L = 765$  cm

#### 1.253 boîtier: 166 x 90 x 17,5

Caisse: (bois)

surfaces latérales:  $17,5 \times 90$ ; épaisseur:  $e = 1,5$  cm.

contre plaque:  $90 \times 166$ ; "  $e = 1,5$  cm.

#### verres:

Pour plus de facilité de démontage - montage, nous avons été amené à placer trois (3) vitres pour chaque capteur de dimension,

86x53x0,3 pour les deux pende 160x86x0,3.

Les 3 utis pour maintenir les étiquettes de sorte que se trouvent

isolant. (Épaisseur des plaques 163x87x0,3.

à noter: une plaque de zinte placée, montée en noir mat

à noter: 160x52x0,3

laine de verre:

Les tuyaux chauds et froids sont enveloppés de laine de verre,  
ainsi, pour les cuiseurs afin de diminuer les pertes thermiques et  
l'isoler, une toile de plastique recouvre le tout, pour éviter  
l'humidité, la laine de verre a une épaisseur de 2,5 cm.

CHAPITRE II

## CHAPITRE II

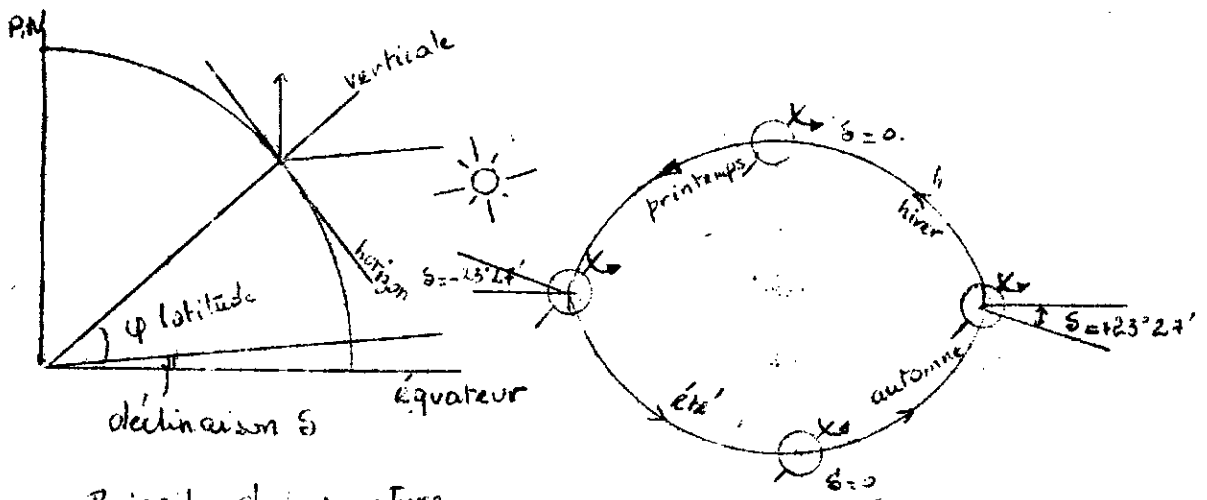
### Rappels élémentaires d'astronomie.

#### 2-1 Les mouvements de la terre

En assimilant la terre à une sphère en rotation, on peut dire qu'elle est régie par deux mouvements. Un mouvement de rotation autour d'un axe (axe passant par les pôles), mobile par rapport à un système extérieur. La période de rotation de la terre autour de cet axe définit la durée du jour (sidéral ou solaire) selon que la référence est celle d'une étoile "fixe" ou du soleil.

Un mouvement de translation, lequel d'après les lois classiques de (Kepler) entend que le centre de gravité du couple terre - lune décrit une ellipse dont l'un des foyers est le soleil.

D'autre part l'équateur terrestre garde toujours la même direction; il est incliné de  $23^{\circ}27'$  sur le plan de l'elliptique: c'est à dire que la déclinaison solaire (l'angle de la direction du soleil avec le plan de l'équateur) varie de  $+23^{\circ}27'$  (solstice d'été) à  $-23^{\circ}27'$  solstice d'hiver; les équinoxes sont par définition les deux instants où elle s'annule (en automne et au printemps).



- Principe de la monture équatoriale.

2-2 Temps solaire vrai (T.S.V) - Temps civil (TL)

2-21 Définitions :

On appelle temps solaire vrai (TSV) en un lieu et à un instant, c'est à dire l'angle dièdre du méridien du soleil et de celui du lieu à l'instant considéré. Par définition il est midi TSV quand  $H = 0$ .

6h TSV quand  $H = 270^\circ$  - 18h TSV quand  $H = 90^\circ$ .

On pourrait utiliser pour cela des cadrans solaires, si ce n'est les irrégularités des mouvements terrestres (mouvements des pôles, nutation, précession). L'équation du temps (ET) est la somme de ses irrégularités du temps solaire vrai.

Le temps solaire moyen (TSM) est le temps solaire vrai augmenté de l'équation du temps :

Par définition :

$$ET = TSM - TSV.$$

Le (vrai) jour solaire moyen correspond ainsi à une rotation uniforme de la terre (période 24 h) autour de son

-are.

TL: Temps universel (Greenwich). Temps légal (TL).

Temps solaire moyen: il s'obtient en ajoutant ou en retranchant  $+4$  min par degré de longitude Est,

d'où 
$$TSV = TSM - ET \quad (II-1)$$

enfin  $H$  (angle horaire en degrés).

2-3

2-3 Formules et approximations:

2-31 déclinaison du soleil ( $\delta$ ).

Il existe diverses formules pour déterminer  $\delta$ : en fonction du numéro du jour dans l'année

$$\delta = 0,302 + 22,93 \cos wd - 0,229 \cos 2 wd - 0,243 \cos 3 wd + 3,851 \sin wd + 0,002 \times \sin 2 wd - 0,055 \sin 3 wd.$$

avec  $\delta = \frac{2\pi}{366}$  et  $d =$  numéro du jour dans l'année).

La précision est absolument illusoire, en effet  $\Delta\delta = \pm 0,0035'' = \pm 12,6''$  en fonction du jour et du mois

$$\delta = 23,45 \times \cos(30m + d - 202). \quad (II-2)$$

$$m = (1 \text{ à } 32) \quad \alpha = (1 \text{ à } 31)$$

Précision:  $\Delta\delta = \pm 1,5''$

dans les deux cas  $\delta$  est exprimé en degrés décimaux

2-32 Equation du temps (ET).

On peut représenter l'équation du temps ET en minutes

par la formule suivante: 
$$ET = +0,0002 \times 0,4197 \cos wd + 3,2265 \cos 2 wd + 0,0903 \cos 3 wd + 7,3509 \sin wd + 9,3912 \sin 2 wd + 0,3364 \sin 3 wd$$

III

(II-3)



### 2.33 Correction de distance soleil-terre.

On sait que la distance terre soleil varie en fonction du mois de l'année et du jour d'environ  $\pm 1,7\%$  (périhélie, aphélie). Il en résulte pour le flux solaire atteignant la terre (variation respective  $\pm 3,4\%$ ).

Donc effectuera le flux solaire d'un facteur de correction  $C$ .

$$\text{Approximativement: } C = 1 + 0,034 \cos [30(m-1) + d] \quad (\text{II-3})$$

avec une erreur absolue de  $\pm 0,003$ , précision largement suffisante pour nos calculs.

### 2.34 Formules fondamentales liant la position du soleil, la latitude et l'angle horaire.

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H. \quad (\text{II-4})$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \sin H}{\cos h} \quad (\text{II-5})$$

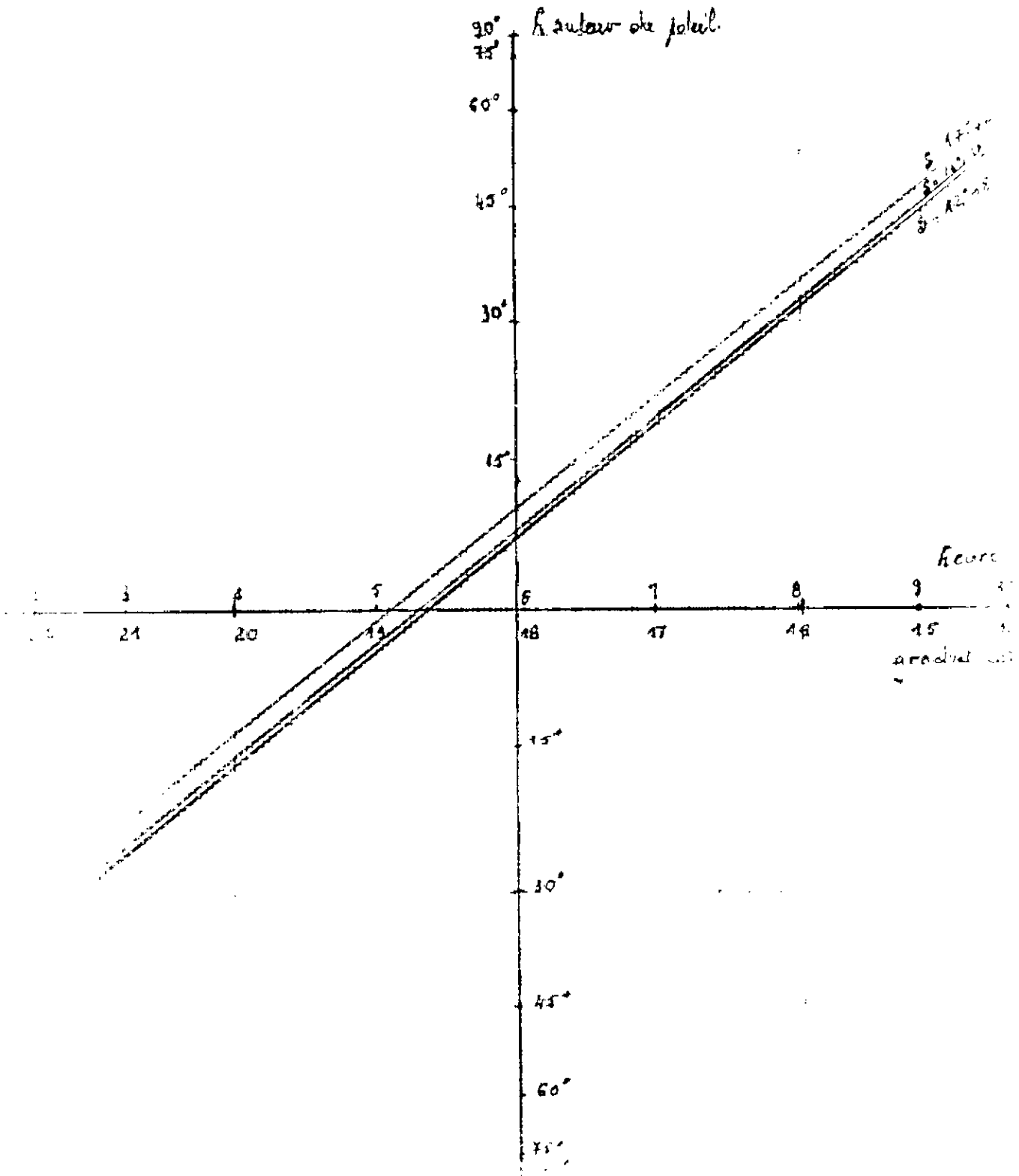
Dans la formule (II-4)  $\varphi, \delta$  sont des constantes journalières, c'est donc l'équation d'une droite qu'on peut représenter dans un repère orthonormé l'axe verticale portant les  $\sin h$ , l'axe horizontal portant les  $\cos H$  (diagramme de SCHÜTTE).

### 2.4 Exemples de calculs

#### 2.41 Temps solaire vrai et angle solaire.

*É. journal de l'observatoire*

14  
1875 E



EL-Harrach se trouve approximativement à une latitude  $\varphi = 37^\circ N$  et à une longitude  $L = 3^\circ 25' E$ .

Le 23/04/1977.

$$TL = 8h$$

$$TU = 8h - 14mn = 7h 46mn$$

$$TSM = 7h 46mn + 14mn = 8h$$

Remarquons ici que le temps légal à EL-Harrach est égal au temps solaire moyen.

$$ET = (-1,92), mn \quad \text{avec } J = 113^\circ \text{ jour de l'année} \quad \omega = \frac{2\pi}{366}$$

$$TSV = 8h + (1,92)mn = 8h 1' 55''$$

$$\text{d'où } H = -59,52^\circ$$

Remarque : quand le temps légal (TL) augmente d'une heure, la (TSV) augmente aussi d'une heure, ce qui implique un décalage de  $+15^\circ$  vers le midi, de l'angle horaire ; par exemple à  $T.L. = 9h$ .

$$TSM = 9h 1' 55'' \text{ et } H = -59,52^\circ + 15^\circ = -44,52^\circ$$

## 2.42. Déclinaison

$$(II-2) \Rightarrow \text{pour } J = 23 \quad m = 4 \quad \delta = 12,08^\circ$$

$$\text{soit } \cos \delta = 0,978 \quad \sin \delta = 0,209$$

## 2.43. Equation de la droite $\sin h = f(\cos H)$

$$\varphi = 37^\circ \Rightarrow \sin \varphi = 0,602 \quad \cos \varphi = 0,798$$

$$(II-4) \Rightarrow \sin h = 0,125 + 0,78 \cos H$$

## 2.44. Correction de distance terre-soleil:

$$d = 23 \quad m = 4$$

$$(II-3') \rightarrow c = 0,3867$$

Calculs du 26/04/77.

En utilisant la même façon de calcul, on obtient un T.S.V. décalé de 32 secondes soit un décalage de  $(+ \frac{32}{3600} \times 15)^\circ$  sur H du 23/04/77.

exemple.  $TL = 8h$        $T.S.V. = 8h 2'27''$        $H = -59,38^\circ$

$$ET = (-2,4573) \text{ min}$$

$$s = 13,113.$$

$$c = 0,985.$$

équation de la durée:  $\sin h = f(\cos H)$ .

$$\sin h = 0,136 + 0,777 \cos H.$$

Calculs du 10/5/77.

$$TL = 8h \quad TSV = 8h 3'52'' \quad H = -59,03^\circ$$

$$ET = -3,677$$

$$c = 0,9781$$

$$s = 17,42.$$

$$\sin h = 3,177 + 0,769 \cos H.$$

### 2.5 Application des données astronomiques au calcul d'énergie :

L'énergie solaire à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre est appelée  $I_0$  (constante). Les mesures les plus récentes donnent le résultat suivant, -adopté- aujourd'hui internationalement:

$I_0 = 1380 \text{ W/m}^2$

En traversant l'atmosphère, ce rayonnement subit des affaiblissements et arrive sur terre sous forme de rayonnement direct et diffus ceci en l'absence de nuages et de diffus seulement quand le temps est couvert.

Le flux solaire à nébulosité au niveau du sol se calcule à l'aide de données météorologiques et astronomiques, notons  $G_{\text{max}}$ , l'énergie correspondante, quand à l'énergie réelle par temps nuageux pourra être évaluée grâce aux données météorologiques et climatologiques notons la  $G$ .

$$I_0 \xrightarrow[\text{phys}]{\text{astronom}} G_{\text{max}} \xrightarrow[\text{nuages}]{\text{Météo}} G$$

↑  
journée parfaitement claire.

Évaluation des apports solaires: (pyranomètre: mais il va falloir attendre au moins 15 à 20 ans pour pouvoir faire un calcul statistique valable.).

Pyranomètre avec intégrateur permet de donner à priori, l'énergie reçue en fonction du temps. (Bougéria).

### 2-51 Mesure du rayonnement direct I sur le plan horizontal.

À Bougéria, il existe un pyranomètre permettant de mesurer l'énergie solaire, ce pyranomètre est muni d'un intégrateur,

et l'énergie globale captée est donnée toutes les demi-heures.

Ce pyranomètre est placé sur le plan horizontal.

Appelons  $I$  le rayonnement solaire direct à un plan horizontal,  $h$  la hauteur solaire mesurée en degrés et  $D$  le rayonnement diffus.

Le vecteur  $\vec{I}$  a deux composantes, une composante normale au plan  $S = I_N + I \sin h$ , agissant directement, et une composante parallèle au plan,  $I_H = I \cos h$  inefficace, ou agissant seulement comme diffus.

Donc l'énergie globale mesurée par le pyranomètre sera

$$E_G = S + D \quad \text{d'où} \quad S = E_G - D.$$

$$\text{et} \quad I = \frac{E_G - D}{\sin h}$$

### 2.52 Calcul du diffus reçu par un plan horizontal.

Des études statistiques américaines effectuées à partir de relevés expérimentaux donnent une valeur approchée du rayonnement diffus reçu par une surface horizontale (formule de Liu et Jordan)

$$D = I_0 C \sin h \left[ 0,27 - 0,29 A \exp\left(\frac{-B}{\sin h}\right) \right]$$

avec:  $I_0 = 1380 \text{ W/m}^2$ .

$C =$  coefficient de distance terre-soleil.  
 $h =$  hauteur du soleil.  
 $A, B =$  coefficients de trouble.

$A = 0,88 \quad B = 0,26$  reçu dans des conditions normales.

## 2-b Détermination de $E_n$ . Énergie globale arrivant sur un capteur incliné.

Considérons un plan  $(\alpha, \delta)$  où  $(\delta)$  est la déclinaison du capteur par rapport au sud :  $\delta = -10^\circ$  dans notre cas ; c'est aussi l'angle de la projection sur le plan horizontal de la normale au plan considéré avec l'axe nord-sud.  $\gamma$  est l'angle de la normale  $ON$  au plan considéré avec le plan horizontal si  $\psi$  est l'angle que fait le flap du capteur avec le plan horizontal ( $\delta = \frac{\pi}{2} - \psi$ ) ;  $\psi = 45^\circ$ . De même que pour le plan horizontal appelons  $i$  l'angle que fait le rayonnement solaire direct  $I$  avec la normale au plan  $(\alpha, \delta)$ .

La composante normale du rayonnement  $I$ , relativement au plan  $(\alpha, \delta)$  sera :

$$E_{n\psi} = I \cos i.$$

d'après la figure soient  $\vec{ON}$  et  $\vec{OS}$  les vecteurs unitaires portés respectivement par la normale au plan  $(\alpha, \delta)$  et par la direction du soleil.

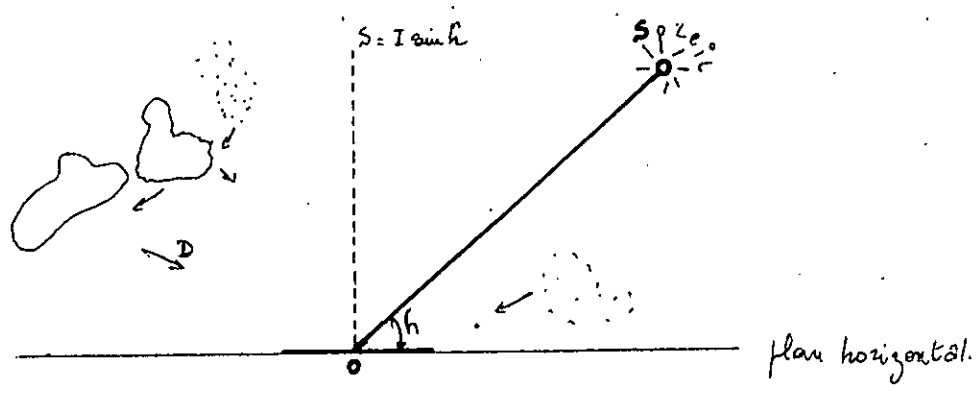
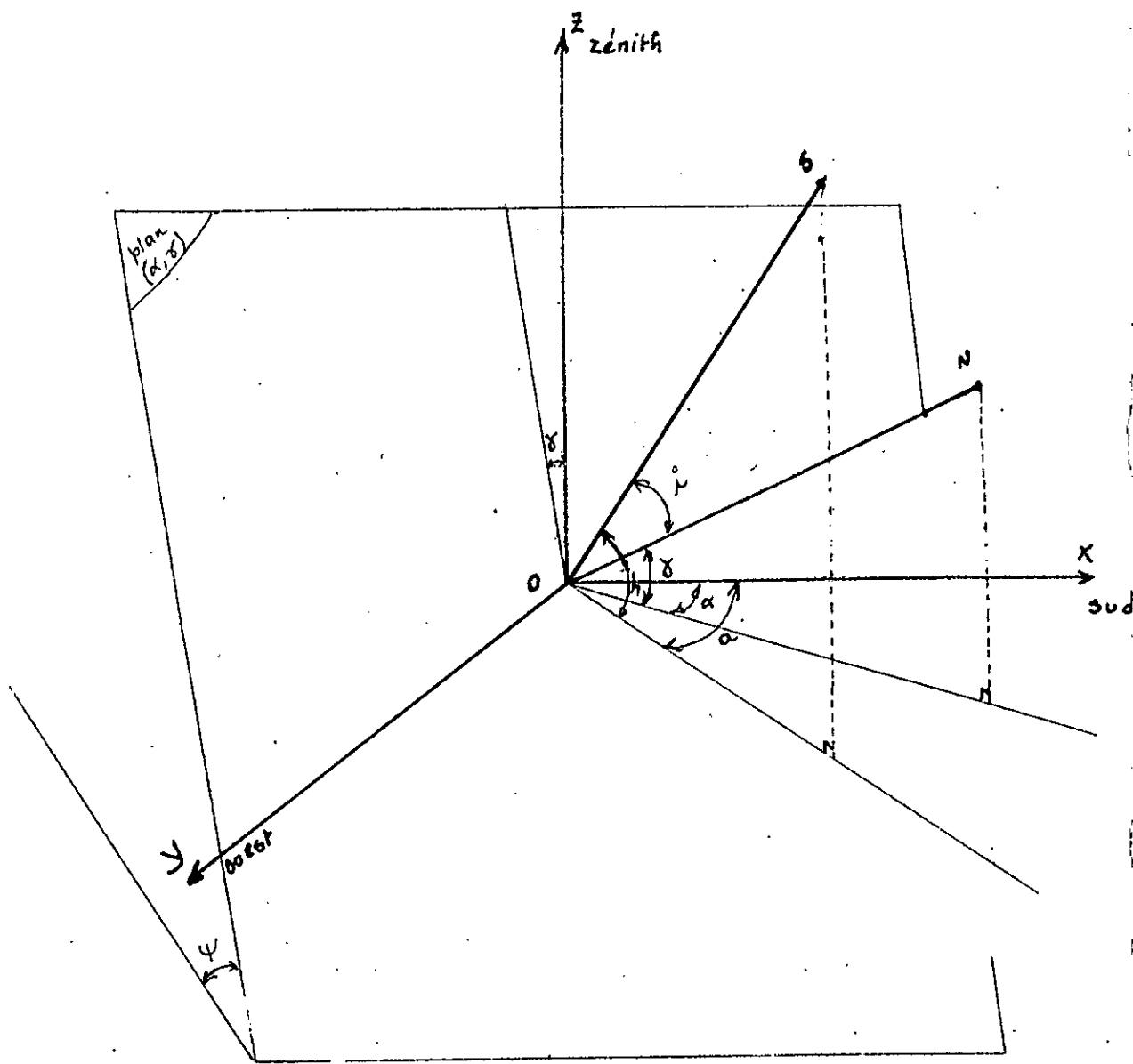
Dans le repère  $OX, OY, OZ$  (sud, ouest, zénith) on peut écrire

Composants de  $\vec{OS}$

$$x_s = I \vec{OS} \cos h \cos a$$

$$y_s = I \vec{OS} \cos h \sin a$$

$$z_s = I \vec{OS} \sin h$$





Composantes de  $\vec{ON}$ .

$$X_N = ON \cos \delta \cos \alpha$$

$$Y_N = ON \cos \delta \sin \alpha$$

$$Z_N = ON \sin \delta$$

$$E_{N\psi} = I \cos i = X_N X_S + Y_N Y_S + Z_N Z_S =$$

$$E_{N\psi} = I [\cos h \cos a \cos \delta \cos \alpha + \cos h \sin a \cos \delta \sin \alpha + \sin h \sin \delta]$$

où "a" est l'angle azimithal, angle de la direction Nord-Sud avec la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal.

### 2.61 Détermination de $E_n$ .

L'énergie reçue par le capteur sera donc de

$$E_n = E_{N\psi} + D'$$

où  $D'$  est le rayonnement diffus, reçu par le capteur ( $\alpha, \delta$ ).  $D' = f(D)$ .

### 2.62 Détermination du diffus $D'$

Pour la surface d'un capteur incliné d'un angle  $\psi$  par rapport au plan horizontal, le rayonnement diffus reçu est constitué en partie par ce qui est émis par la voûte céleste et en partie par le flux solaire total réfléchi par le sol.

- Flux diffus émis par la voûte céleste et reçu par le capteur

Il est donné par la formule suivante qui tient compte de l'inclinaison du capteur et du flux total.

# 1<sup>ère</sup> INSTALLATION

L: longitude  
 $\varphi$ : latitude  
 h: hauteur solaire  
 H: angle horaire  
 TL: temps local  
 TSV: temps solaire vrai  
 ET: équation du temps  
 $\delta$ : déclinaison du soleil  
 C: coeff. distance terre-soleil  
 i: angle d'incidence sur le capteur

ET = -1,92  
 TL = TSM  
 $\varphi = 37^\circ N$   
 $L = 3^\circ 25' E$   
 C = 0,9867  
 $\delta = 12^\circ 08'$

TL	TSV	H°	cos H	sin h	cos i
8	8 <sup>h</sup> 1' 55"	-59,52	0,507	0,52	0,565
9	9 <sup>h</sup> "	-44,52	0,713	0,681	0,744
10	10 <sup>h</sup> "	-29,52	0,87	0,801	0,872
11	11 <sup>h</sup> "	-14,52	0,968	0,88	0,935
12	12 <sup>h</sup> "	0,48	0,999	0,904	0,921
13	13 <sup>h</sup> "	15,48	0,964	0,877	0,868
14	14 <sup>h</sup> "	30,48	0,862	0,797	0,743
15	15 <sup>h</sup> "	45,48	0,701	0,672	0,564
16	16 <sup>h</sup> "	60,48	0,493	0,509	0,347
17	17 <sup>h</sup> "	75,48	0,250	0,32	0,126
18	18 <sup>h</sup> "	90,48	-0,008	0,063	0,066

journee du 23/4/77

## 2<sup>e</sup>me installation

$$ET = -2,4573$$

$$C = 0,985$$

$$\delta = 13^{\circ},113$$

TL	TSV	H°	COSH	Sinh	COSi
8	8 <sup>h</sup> 2' 27"	-59,38	0,509	0,531	0,561
9	9 <sup>h</sup> "	-44,38	0,714	0,691	0,742
10	10 <sup>h</sup> "	-29,38	0,871	0,813	0,864
11	11 <sup>h</sup> "	-14,38	0,969	0,889	0,929
12	12 <sup>h</sup> "	0,62	0,999	0,913	0,928
13	13 <sup>h</sup> "	15,62	0,963	0,885	0,862
14	14 <sup>h</sup> "	30,62	0,861	0,805	0,735
15	15 <sup>h</sup> "	45,62	0,699	0,68	0,557
16	16 <sup>h</sup> "	60,62	0,491	0,518	0,336
17	17 <sup>h</sup> "	75,62	0,248	0,329	0,130
18	18 <sup>h</sup> "	90,62	-0,011	0,127	0,101

Journée du 26/4/77

### 3<sup>ème</sup> installation

$$ET = -3,677$$

$$C = 0,9781$$

$$\delta = 17^{\circ}42$$

TL	TSV	H°	COSH	Sinh	COSI
8	8 <sup>h</sup> 3' 52"	-59,03	0,515	0,571	0,556
9	9 <sup>h</sup> "	-44,03	0,719	0,723	0,725
10	10 <sup>h</sup> "	-29,03	0,874	0,845	0,841
11	11 <sup>h</sup> "	-14,03	0,97	0,918	0,902
12	12 <sup>h</sup> "	0,97	0,899	0,94	0,9
13	13 <sup>h</sup> "	15,97	0,861	0,911	0,833
14	14 <sup>h</sup> "	30,97	0,857	0,832	0,709
15	15 <sup>h</sup> "	45,97	0,695	0,708	0,533
16	16 <sup>h</sup> "	60,97	0,485	0,548	0,336
17	17 <sup>h</sup> "	75,97	0,242	0,363	0,22
18	18 <sup>h</sup> "	90,97	-0,016	0,16	0,174

journee' du 10 / 5 / 77

$$D_1 = D \left( \frac{1 + \cos \psi}{2} \right)$$

- Flux solaire en provenance du sol et reçu par le capteur

Le flux tient compte du Coefficient d'albedo  $a$ .

$$a = 0,2 = \frac{\text{énergie réfléchi par le sol}}{\text{énergie incidente.}}$$

$$D_2 = 0,2 (I \sin h + D) (1 - \cos \psi) / 2$$

$$D' = D_1 + D_2 = \left( \frac{1 + \cos \psi}{2} \right) D + 0,2 \left( \frac{1 - \cos \psi}{2} \right) (I \sin h + D).$$

## ENERGIE

(1<sup>ère</sup> installation)

$E_g$ : Energie globale  
 $D$ : " diffuse  
 $I$ : " directe  
 $D'$ : " diffuse arrivant sur le capteur  
 $E_n$ : " globale "

$B = 0,8$

Ta	Heures	$E_g$ Wh/m <sup>2</sup>	D	I	D'	$E_n$	$B E_n$
20,5	8	528	81,65	446,35	85,15	337,33	269,87
26	9	749,44	88,95	660,49	97,86	589,26	471,41
27	10	873,33	93,45	779,88	105,33	785,38	628,3
28,5	11	962,77	96,13	866,64	110,24	920,54	736,43
24,5	12	992,22	96,91	895,31	111,78	936,36	749,08
24,5	13	962,77	96,03	866,74	110,16	862,49	689,99
24,5	14	854,44	93,31	761,13	104,67	670,18	536,15
23,5	15	714,44	88,5	625,94	96,46	449,49	359,59
22	16	519,44	81,09	438,35	84,42	236,52	189,22
21,5	17	87,22	68,34	18,88	60,87	63,24	50,59
20,8	18	-	-	-	-	-	-

journee' du 23/4/77

# ENERGIE

(2<sup>ème</sup> installation)

$E_G$ : Energie globale  
 $D$ : " diffuse  
 $I$ : " directe.  
 $D'$ : " diffuse arrivant sur le capteur  
 $E_n$ : " globale "

$B = 0,8$

Ta	Heures	$E_G$ $W/m^2$	D	I	D'	$E_n$	$BE_n$
21	8	567,7	89,99	485,71	86,6	359,08	287,26
23	9	730	89,35	640,65	97,64	573	458,4
23,5	10	877,22	93,75	780,47	105,71	780,03	624,02
25	11	947,22	96,43	850,79	110,05	900,43	720,34
26	12	961,11	97,21	863,9	111,12	912,81	730,25
26,5	13	892,77	98,33	796,44	108,36	794,89	635,91
26	14	801,66	93,62	708,04	103,38	623,78	499,03
25	15	649,44	88,75	560,69	94,76	407,06	325,65
25,5	16	478,88	81,39	397,49	83,49	217,04	173,63
24	17	169,44	68,64	100,8	63,54	76,64	61,31

Journée du 26 / 4 / 77

# ENERGIE

( 3<sup>ème</sup> installation )

EG: Energie globale

D: " diffuse

I: " directe

D': " diffuse arrivant sur le capteur

E<sub>c</sub>: " globale "

B = 0,8

Ta	Heures	E <sub>G</sub> W/m <sup>2</sup>	D	I	D'	E <sub>c</sub>	BE <sub>c</sub>
17	8	547,7	83,36	464,34	87,17	345,34	276,27
19,5	9	745	90,59	654,41	99,13	573,57	458,86
19,8	10	900	94,99	805,01	107,44	784,45	627,56
21	11	1003,8	97,67	906,13	112,77	930,09	744,07
<del>21,25</del>	12	1050	98,45	951,55	114,78	971,17	776,94
22	13	975,55	97,57	877,98	111,85	843,2	674,56
22	14	931,66	94,86	836,8	108,25	707,54	561,23
23	15	786,66	89,22	697,44	99,18	470,91	376,73
<del>22,25</del>	16	593,88	82,63	511,25	87,92	259,7	207,76
21,5	17	213,33	71,24	142,09	67,05	98,3	78,64
20	18	-	47,4	-	-	-	-

journee' du 10/15/77



CHAPITRE III

## CHAPITRE II

### 3.1 Bilan énergétique global.

Généralement l'analyse du fonctionnement du capteur plan peut être classée en deux catégories: fonctionnement du capteur en régime permanent, et en régime variable ce dernier cas prend toute son importance dès que'il s'agit d'étudier l'intégration du capteur dans plus systèmes que l'on cherche à optimiser.

3-10 Analyse du fonctionnement en régime permanent.  
- bilan énergétique:

$Q_v =$	$Q_A$	$-$	$Q_p$
puissance utile recueillie	puissance solaire absorbée		puissance correspondant aux pertes thermiques.
Correspondant à l'échauffement de fluide Caloporteur			

(1)

### 3-11 Energie absorbée

L'énergie solaire absorbée est égale à l'énergie solaire incidente, diminuée, du facteur de transmission  $\tau$  de l'ensemble des verres et du facteur d'absorption  $\alpha$  de l'absorbant.

L'énergie solaire est mesurée en l'aide de pyromètre

(Les appareils récepteurs destinés à la mesure du rayonnement solaire global, ce sont le plus souvent des piles thermoélectriques à surface plane, correctement nivelées pour être parfaitement horizontales.)

L'énergie absorbée par le capteur doit théoriquement tenir compte de deux genres de rayonnements, le rayonnement direct et le rayonnement diffus, par conséquent de deux autres facteurs de transmission compte tenu des incidences différentes. Mais pratiquement dans le but de simplifier on se limite à considérer la composante normale ( $E_n$ ) au capteur du rayonnement solaire global incident, et, multiplié l'éclairement correspondant ( $E_n$ ) par une valeur moyenne du produit  $\tau\alpha$ , appelé facteur optique  $B$ .

$$\frac{Q_n}{A} = B E_n \quad (\text{W/m}^2). \quad (2)$$

Des études ont été faites sur le produit  $B = \tau\alpha$  en fonction de l'angle d'incidence du rayonnement et du nombre de verres (ordinaires ou idéaux).

On a constaté que pour un angle d'incidence ( $i$ ) compris entre  $0^\circ$  et  $50^\circ$ ,  $\tau\alpha$  varie très peu, ce qui justifie l'approximation considérée.

ainsi on a noté:

1 verre	$\tau_d \approx 0,95$	} $i = 0.$	} Verre idéal.
2 verres	$\tau_d \approx 0,90$		
3 verres	$\tau_d \approx 0,85$		
1 verre	$\tau_d \approx 0,90$	} $i \approx 50^\circ$	
2 verres	$\tau_d \approx 0,85$		
3 verres	$\tau_d \approx 0,80$		

1 verre	$B \approx 0,82$	} $i \approx 50^\circ$	} Verre normal.
2 verres	$B \approx 0,75$		
3 verres	$B \approx 0,67$		

1 verre	$B \approx 0,87$	} $i = 0^\circ$
2 verres	$B \approx 0,78$	
3 verres	$B \approx 0,72$	

donc on peut dire que :

ordres de grandeurs } - Capteur à simple vitrage  $B \approx 0,8$  à  $0,85$ .  
 } - Capteur à double vitrage  $B \approx 0,65$  à  $0,70$

### 3-12 Pertes thermiques (fig 5)

Les surfaces latérales étant faibles par rapport aux surfaces avant et arrière, on négligera les pertes relatives à ces premières.

La puissance aussi perdue  $Q_p$  sera répartie entre

$Q_{AV}$  et  $Q_{AR}$ .

$$Q_P = Q_{AV} + Q_{AR} \quad (\text{en Watts}).$$

perdes avant:

$$\frac{Q_{AV}}{A} = K_{AV} (t_m - t_a).$$

perdes arrières

$$\frac{Q_{AR}}{A} = K_{AR} (t_m - t_a)$$

perdes latérales

$$\frac{Q_L}{A} = K_L (t_m - t_a).$$

$$\frac{Q_P}{A} = K_{AV} (t_m - t_a) + K_{AR} (t_m - t_a) + K_L (t_m - t_a).$$

$$\boxed{\frac{Q_P}{A} = K (t_m - t_a) \quad (\text{Watts})} \quad (3)$$

Conductances:

$$K = K_{AV} + K_{AR} + K \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).$$

$t_m$ : température moyenne de l'absorbant.

$t_a$ : température ambiante extérieure.

3.121 Perdes sur l'arrière:

Elles font intervenir deux résistances thermiques en série

caractérisant la conduction à travers l'isolant mis en par la convection sortier ~~les~~ - air extérieur.  
(le rayonnement est négligeable).

conductance équivalente :

$$K_{AR} = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{AR}}} \quad (4)$$

$e_i$  = épaisseur de l'isolant.

$\lambda_i$  = Conductivité thermique de cet isolant  
( $\text{W/m}^2\text{C}$  0,04 laine de verre naturelle).

$\lambda_{AR}$  = coefficient d'échange par convection entre  
la face AR et l'air (10 à 15  $\text{W/m}^2\text{C}$ ).

$\lambda$  pour le liège employé dans le bâtiment.

plaque de liège de densité apparente 0,112  $\rightarrow \lambda = 0,0335 \frac{\text{Kcal.mph}}{\text{m}^2\text{C}}$

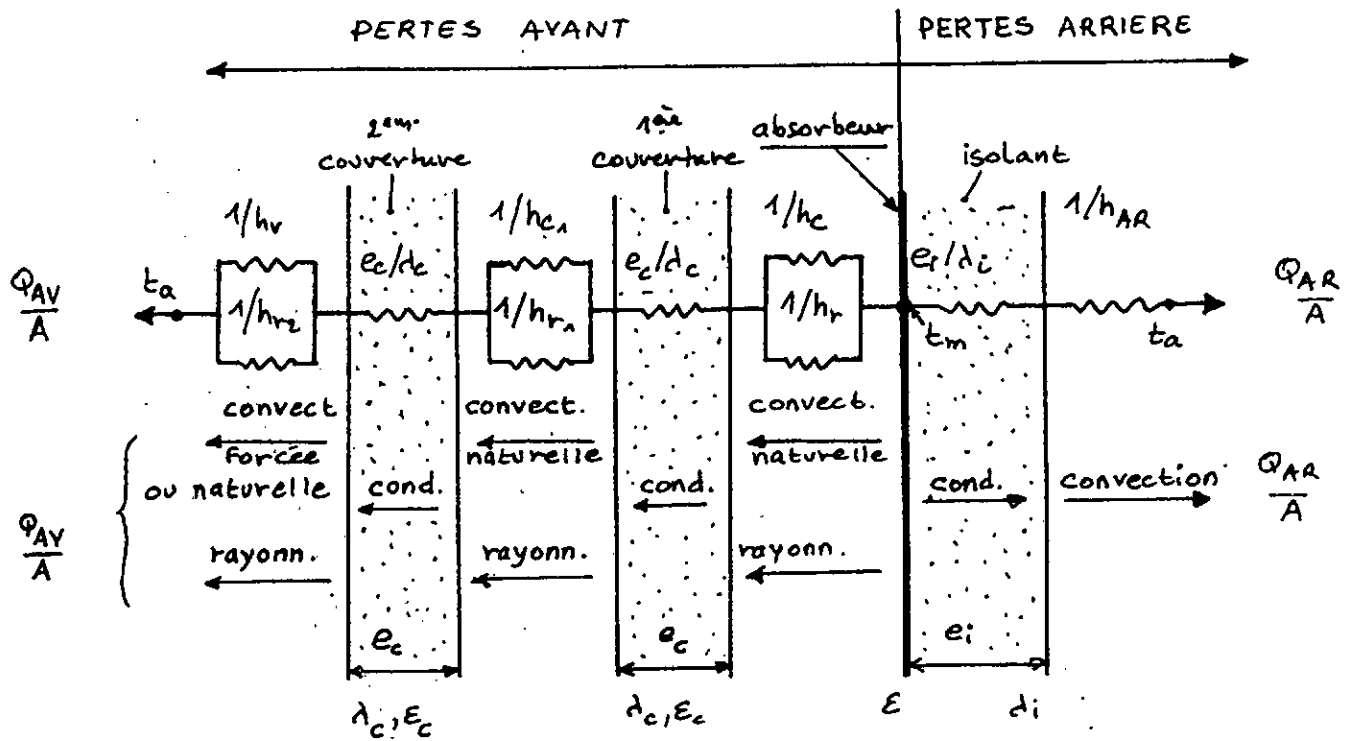
plaque de liège de densité apparente 0,170  $\rightarrow \lambda = 0,037$  "

laine de verre finie de densité apparente 0,16  $\rightarrow \lambda = 0,046$  "

### 3.122 Pertes vers l'avant.

Le calcul de pertes a été amélioré successivement par Hottel et Whertzy, puis par Tabor et dernièrement Klein, on obtient :

$$(5) K_{AV} = \left( \frac{N}{\left( \frac{c}{T_m} \right) \left[ (T_m - T_a) \right] / (N + f) \right)^{0,51} + \frac{1}{h_v} + \left( \frac{\sigma (T_m - T_a) (T_m^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\epsilon + 0,0425 N(1-\epsilon)} + \frac{2N + f - 1}{\epsilon_c} - N} \right)$$



## PERTES THERMIQUES D'UN CAPTEUR

$h_c, h_v, h_{AR}, h_r$  : conductances thermiques ou coeff. d'échange par convection et rayonnement.

$E_c, E$  : facteurs d'émission des couvertures, de l'absorbeur.

$d_c, d_i$  : conductivités thermiques des couvertures, de l'isolant.

$e_c, e_i$  : épaisseurs des couvertures, de l'isolant.

(des pertes arrières sont faibles relativement aux pertes avant.)

Constantes :

$$f = (1 - 0,04 h_v + 0,0005 h_v^2) (1 + 0,091 N)$$

$$c = 365,9 (1 - 0,00883 s + 0,0001298 s^2)$$

$S$  = inclinaison du capteur, en degrés ( $0^\circ$  : horizontale).

$N$  = nombre de couvertures.

$$\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4 \text{ (Constante de Stefan)}$$

$t_m, T_a$  :  $t^\circ$  moyenne absorbée et ambiante en Kelvin.

$\epsilon_p$  : facteur d'émission de l'absorbeur.

$\epsilon_c$  : facteur d'émission des verres ( $\approx 0,88$  pour le verre).

$h_v$  : coefficient d'échange par convection entre la couverture externe et l'air ambiant, ce facteur dépend du vent par conséquent influe beaucoup sur des pertes du capteur.

On l'a estimé empiriquement : par

$$h_v \text{ (W/m}^2) = 6 + v$$

$v$  = vitesse du vent en km/h.

Domaine de validité des formules :

$$310 < t_m < 400^\circ \text{K}$$

$$260 < T_a < 310^\circ \text{K}$$

$$0,10 < \epsilon < 0,95$$

$$0 < v < 10 \text{ m/s (36 km/h)}$$

$$1 \leq N \leq 3$$

$$0 \leq S \leq 90^\circ$$

Remarque : au niveau du projet on pourrait s'offrir de tous ces calculs en écrivant :



$$\frac{Q_p}{A} = K (t_m - t_a)$$

$K = K_{AV} + K_{AR}$  si on néglige les pertes latérales.

En ce qui concerne  $K_{AV}$ , on a constaté qu'il venait avec la température de l'absorbteur  $t_m$  et les conditions extérieures.

Des expériences ont été faites entre  $0^\circ$  et  $120^\circ$  C  $t_m$ , en fonction de la vitesse du vent et de l'ambiance et de l'inclinaison  $45^\circ$  du capteur, pour déterminer  $K_{AV}$ . (fig. 5).

### 3-13 Equations caractéristiques:

Les équations (1) et (3)  $\Rightarrow$  
$$\frac{Q_v}{A} = BE_n - K(t_m - t_a) \quad (6)$$

$t_m$  est difficile à déterminer. On a cherché à remplacer  $t_m$  par  $t_{mf}$  (température moyenne du fluide).  
L'équation (6) devient alors.

$$\frac{Q_v}{A} = F' [BE_n - K(t_{mf} - t_a)] \quad (7)$$

$F' < 1$  légèrement.

Où  $F'$  est un paramètre sans dimension qui caractérise la qualité de transfert de chaleur entre absorbteur et caloporteur. Il dépend de la nature de l'absorbteur (géométrie, matériaux, qualité de contact, tubes / tôle etc...).  
32

Or  $t_{mf}$  n'est pas aussi accessible, et, dans la majorité des projets on utilise l'équation de la puissance en fonction des températures d'entrée et de sortie  $t_e$  et  $t_s$ .

Expression en fonction de  $t_e$  et  $t_s$

$$\frac{Q_u}{A} = F_c \left[ B E_n - K \left( \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \right) \right] \quad \text{utilisée surtout pour les débits faibles. (8)}$$

- avec 
$$F_c = \frac{2 \operatorname{micp}}{K} \frac{1 - \exp(-F'/\operatorname{micp})}{1 + \exp(-F'/K)} \quad (8 \text{ bis})$$

$$0 < F_c < 1$$

De plus on a constaté empiriquement que si  $\operatorname{micp}/K > 2$   $F_c$  est équivalente à  $F'$  à -2% près.

(8) peut s'écrire dans ce cas.

$$\frac{Q_u}{A} = F' \left[ B E_n - K \left( \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \right) \right] \quad (9)$$

et si  $F' \approx 1$

$$\frac{Q_u}{A} \approx B E_n - K \left( \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \right) \quad (10)$$

- Mais incorrecte pour les débits faibles alors utiliser (8).

D'autre part l'équilibre thermique se fait avec.

$$\frac{Q_u}{A} = \operatorname{micp} (t_s - t_e) \quad (11) \quad t_s - t_e = \Delta t$$

Ce qui nous permettra d'avoir l'expression du débit:

(9) et (11)  $\Rightarrow$

$$\boxed{m_{icp} = \frac{F' B E_n}{\Delta t} - F' K \left( \frac{1}{2} + \frac{t_e - t_a}{\Delta t} \right)} \quad (12)$$

Si  $t_e = t_a$  (cas parti culier)

$$\boxed{m_{icp} = \frac{F' B E_n}{\Delta t} - \frac{F' K}{2}} \quad (13)$$

(8) et (11)  $\Rightarrow$

$$\boxed{m_{icp} = \frac{-F' K}{\ln \left[ 1 - \frac{K \Delta t}{F' E_n - K(t_e - t_a)} \right]}} \quad (14)$$

cette formule n'est pas très commode de point de vue calculs, mais possède un domaine d'application, plus large, surtout pour les <sup>faibles</sup> débits, du fluide caloporteur.

Raisonnement auil.

On a constaté que le fluide caloporteur, ne commence à circuler qu'à partir d'une certaine valeur de l'énergie globale reçue par le capteur.

L'équation (13)

$$m_{icp} = \frac{F' B E_n}{\Delta t} - \frac{F' K}{2} \quad (t_e = t_a)$$

fournit pour  $m_{icp} = 0$  une certaine valeur de  $E_n$  qu'on appellera

$$\boxed{E_{ns} = \frac{K \Delta t}{2 B}} \quad (15)$$

- c'est l'abscisse du point d'intersection de la droite  
(13) avec l'axe  $E_n$

Si on utilise l'équation générale (14).

(pour  $n_i = 0$ ) ( $t_e = t_n$ )

(14)  $\Rightarrow$

$$-F'B$$

$$\frac{\ln \left[ \frac{B E_n - K \cdot t}{B E_n} \right]}$$

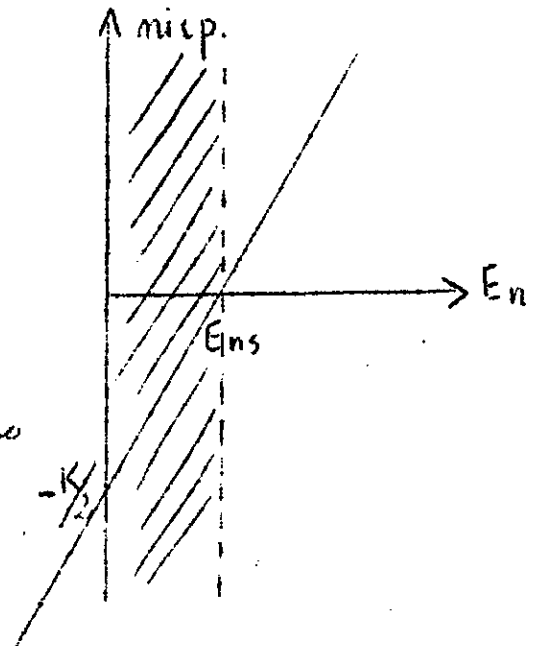
$$F'B = ct \Rightarrow \dots$$

$$\text{L'axe } [B E_n - K \cdot t] = 0$$

$$\text{soit } E_n = \frac{K \cdot t}{B}$$

soit à la suite:

$$x_s = \frac{K \cdot t}{B} \quad (15)$$



On constate que "l'énergie" soûl" obtenue en utilisant  
la formule (15) est double de la précéd-  
ente  $E_n$ .

Donc, en ce qui concerne l'énergie, on prendra comme  
l'énergie soûl  $E_{ns}^*$  et non  $E_{ns}$ .

CHAPITRE IV

## Calcul des coefficients.

### I. Calcul du coefficient de conductance globale K.

$$K = K_{AV} + K_{AR}$$

$K_{AV}$  = coeff de pertes vers l'avant

$K_{AR}$  = coeff. de pertes vers l'arrière

#### a) conductance $K_{AR}$ .

$$K_{AR} = \frac{1}{\frac{e_1}{d_1} + \frac{e_2}{d_2} + \frac{1}{h_{AR}}}$$

$e_1$  = épaisseur de l'isolant tapissant le fond de la boîte (liège).  $e_1 = 0,06 \text{ m}$

$d_1$  = conductivité thermique du liège

$$d_1 = 0,043 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$e_2$  = épaisseur du bois =  $0,015 \text{ m}$

$d_2$  = conductivité du bois =  $0,33 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$h_{AR}$  = coefficient d'échange par convection entre la face arrière du capteur et l'air extérieur.

En convection naturelle il vaut  $10 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$

$$K_{AR} = \frac{1}{\frac{0,06}{0,043} + \frac{0,015}{0,33} + \frac{1}{10}} = 0,65$$

$$\boxed{K_{AR} = 0,65} \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

b) conductance  $K_{AV}$

$$K_{AV} = \left( \frac{C/T_m [(T_m - T_a)/(N+f)]^{0,31}}{h_v} + \frac{1}{h_v} \right)^{-1} +$$

$$+ \frac{\sigma (T_m + T_a) (T_m^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon + 0,0425 N (1-\varepsilon)} + \frac{2N+f-1}{\varepsilon_c} - N}$$

$$f = (1 - 0,04 h_v + 0,0005 h_v^2) (1 + 0,091 N)$$

$$C = 365,9 (1 - 0,00883 A + 0,0001298 A^2)$$

$$\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \text{ (constante de stefan)}$$

$A$  = inclination du capteur en degré ( $0^\circ$  = horizontale)

$$A = 45^\circ \quad N = \text{nombre de couvertures} = 1$$

$T_m, T_a$  : température moyenne absorbée et ambiante en Kelvin

$$\varepsilon_c = \text{facteur d'émission des couvertures} = 0,88$$

$$\varepsilon = \text{facteur d'émission de l'absorbteur} = 0,95$$

$h_v$  = coefficient d'échange par convection entre la couverture extérieure et l'air ambiant. Ce paramètre dépend beaucoup du vent.

$$h_v = 6 + V \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad V = \text{vitesse du vent en km/h}$$

NOTA Il existe aussi des abaques pour lire le coefficient  $K_{AV}$  connaissant la température moyenne de la plaque.

La valeur de  $K_{AV}$  qu'on va calculer ou lire est

une valeur moyenne d'utilisation.

Sachant que la température moyenne de la plaque varie entre  $40^\circ$  et  $60^\circ\text{C}$  valeurs qui correspondent respectivement à 4,6 et 5 pour le  $K_{AV}$  lu sur l'abaque. Donc pour une valeur moyenne on aura  $K_{AV} = 4,8$  ce qui donnerait pour le coefficient global de pertes.

$$K = K_{AV} + K_{AR} = 4,8 + 0,65 = 5,45 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Exemple de calcul en appliquant la formule.

$$C = 124,35$$

$$h_v = 6 + 12 = 18 \text{ Km/h} \quad (\text{vent moyen de } 12 \text{ Km/h})$$

$$T_m = 323^\circ\text{K} \quad (\text{correspond à } 50^\circ\text{C comme Temp. moy.})$$

$$T_a = 25^\circ\text{C} = 298^\circ\text{K}$$

$$f = 0,482$$

$$T_m^2 = 104329 \quad T_a^2 = 88804$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\varepsilon + 0,0425 N(1-\varepsilon)} &= 1,05 \\ \frac{2N + f - 1}{\varepsilon C} - N &= 0,684 \end{aligned} \right\} \text{Somme} = 1,734$$

$$\frac{\sigma(T_m + T_a)(T_m^2 + T_a^2)}{\varepsilon + 0,0425 N(1-\varepsilon)} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon C} - N = 3,928$$

$$\left( \frac{1}{\left( \frac{C}{T_m} \left[ \frac{(T_m - T_a)}{(N + f)} \right]^{0,151} + \frac{1}{h_v} \right)^{-1}} \right)^{-1} = (1,08 + 0,055)^{-1} = 0,87$$



$$K_{AV} = 3,428 + 0,1881 = 4,18$$

$$K = K_{AV} + K_{AR} = 0,65 + 4,18 = 5,45 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K = 5,45 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Remarque - Dans nos calculs on a pris comme valeur moyenne de  $K$  la valeur 5,4 pour tenir compte de toute les Températures moyennes de la plaque durant la journée. (ceci en calculant toutes les valeurs de  $K$  et prendre la moyenne). d'où

$$\boxed{K = 5,4 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- Pour le capteur (A) la Température moyenne de la plaque étant inférieure à celle de (B) ou (C), ceci entraîne une valeur de  $K$  inférieure d'où par calcul  $K = 5,2 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## II Calcul du coefficient $F'$ (coeff. de construction).

$$F' = \frac{1}{\frac{1}{F(1 - \frac{c}{w}) + \frac{c}{w}} + \frac{w K}{c K_c}}$$

$$K_c = \frac{1}{\frac{c}{\pi d h} + \frac{1}{K_b}} = \begin{array}{l} \text{conductance thermique} \\ \text{entre le fluide caloporteur} \\ \text{et la T}^\circ\text{de l'absorbeur} \end{array}$$

$$K = \text{conductance globale des pertes de l'absorbeur} \\ = 5,4 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$K_b = \frac{d_b}{L}$  conductance thermique de la brasure tube/tôle

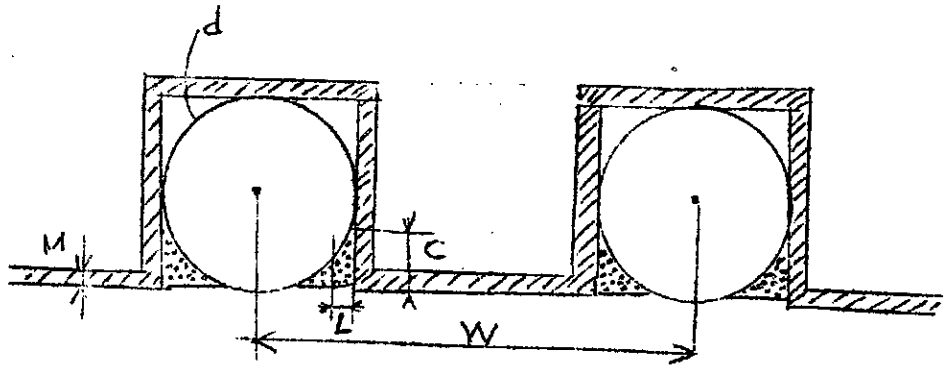
$d_b =$  conductivité thermique de la brasure.

$F =$  efficacité des ailettes  $= \tanh(a/2) / a/2$

$$a = (W-c) \sqrt{\frac{k}{d_t \pi}}$$

$d_t =$  conductivité thermique de la tôle de l'absorbeur.

$h =$  coefficient d'échange par convection, entre le fluide caloporteur et la paroi des tubes.



Coefficient  $F'$  pour le capteur B.

$$d_b = 61,48 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$L = 0,005 \text{ m}$$

$$C = 0,01 \text{ m}$$

$$d_t = 111,36 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

$$h = 230 \text{ w/m}^2\text{}^\circ\text{C}$$

$$M = 0,001 \text{ m}$$

$$W = 0,175 \text{ m}$$

Les tuyaux sont soudés à l'absorbeur sur toute leur longueur.

$$K_b = \frac{61,48}{0,005} = 12296 \text{ w/m}^2\text{}^\circ\text{C}$$

$$a = (0,175 - 0,01) \sqrt{\frac{5,4}{111,36 \cdot 10^{-3}}} = 1,14$$

$$F = \frac{\tanh(a/2)}{a/2} = 0,903$$

$$K_c = \frac{1}{\frac{0,01 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 230} + \frac{1}{12296}} = 1293$$

$$F' = \frac{1}{\frac{1}{0,903 \left(1 - \frac{0,01}{0,175}\right) + \frac{0,01}{0,175}} + \frac{0,175 \cdot 5,4}{1293 \cdot 0,01}} \approx 0,856$$

$$F'_b = 0,86$$

Coefficient  $F'$  pour le capteur c

Les tubes ici ne sont pas sondés tout le long mais par point. On a une sonde de 4 cm de longueur pour un intervalle de 40 cm ; donc on a jugé utile de considérer que les tubes sont sondés tout le long mais de longueur de sonde égale à 5/10 de mm (car la sonde a une largeur de 5 mm).

On aura ainsi une moins bonne conduction pour le capteur (c). Toutefois on sait que pour les deux capteurs les tubes sont placés par force dans leur rainure. (Ceci aidera d'ailleurs dans la conduction).

$$K_b = \frac{61,48}{0,005} = 12296 \quad a = (0,175 - 0,001) \sqrt{\frac{5,4}{111,3 \cdot 10^{-3}}} = 121$$

$$F = \frac{h(a/2)}{a/2} = 0,9$$

$$K_c = \frac{1}{\frac{0,001 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 230} + \frac{1}{12296}} = 6656,33$$

$$F' = \frac{1}{\frac{1}{0,9 \left(1 - \frac{0,001}{0,175}\right)} + \frac{0,001}{0,175} + \frac{0,175 \cdot 5,4}{0,001 \cdot 6656,33}} \approx 0,837$$

$$F'_c \approx 0,84$$

Remarque Les coefficients qu'on a adopté pour nos calculs sont des valeurs moyennes de toutes celles calculées.

Ainsi on a  $F'_b = 0,86$

$F'_c = 0,84$

- $F'$  est un paramètre essentiellement constructif.
- La conductance thermique de la brasure a une bonne influence sur  $F'$ . donc il faut avoir un bon contact entre les tubes et la tôle.

## CH IV. Etude comparative des 2 capteurs B et C

4.1 caractéristiques des capteurs. Les performances thermiques des 2 capteurs ont été déterminées par voie d'ensoleillement naturel. Les paramètres mesurés sont :

$E_n$  : Éclairement énergétique du capteur en  $W/m^2$  (déduit de l'énergie globale mesurée par l'intégrateur de Bougeria).

$T_a$  : température de l'air ambiant au voisinage du capteur en  $^{\circ}C$ .

$T_e$  : température d'entrée du fluide dans le capteur en  $^{\circ}C$ .  $T_s$  (température de sortie).

durée d'ensoleillement mesurée à l'INA. ( $\bar{\alpha}$ , en  $h$  par jour pour chaque jour d'expérience).

$V$  : vitesse du vent (mesurée à l'INA).

$T_{ec}$  : température de l'eau à l'entrée de la cuve.

### 4.2 Présentation des Résultats.

Cette étude comparative comprend à la fois la comparaison des capteurs et des cuves.

#### 4.2.1 Comparaison des capteurs.

Pour cette étude on utilise la même cuve pour les deux capteurs pris séparément.

Il existe différentes façons de présenter les courbes

caractéristiques d'un capteur, par exemple en rapportant  $Q/A$  à  $E_n$  de façon à définir un rendement instantané.

$$\eta = \frac{Q/A}{E_n} = \frac{F'B E_n - F'K \left( \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \right)}{E_n}$$

$$\eta = F'B - F'K \left( \frac{t_e + t_s}{2} - t_a \right) / E_n$$

Si on pose  $\Delta\theta = \frac{t_e + t_s}{2} - t_a$  on aura :

$$\boxed{\eta = F'B - F'K \frac{\Delta\theta}{E_n}} \quad \eta = f\left(\frac{\Delta\theta}{E_n}\right)$$

C'est l'équation d'une droite dont l'ordonnée à l'origine est  $F'B$ .

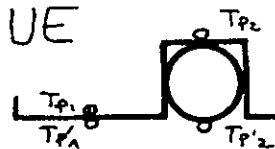
Remarque - La courbe  $\eta = f(E_n)$  peut aussi être exploitée. (voir planche).

\* Le réservoir qui a servi à la comparaison est la cuve (C). (ou on a eu d'ailleurs les mêmes résultats avec la cuve (B)).

En traçant les courbes  $\eta = f\left(\frac{\Delta\theta}{E_n}\right)$  on a été amené à conclure que le capteur (B) est meilleur que le capteur (C) et ceci grâce à son rendement toujours supérieur. (on remarque toutefois que la différence n'est pas trop grande une fois les tuyaux de l'écouleur sortis montés à force dans les gorges de la plaque).

# TEMPERATURE DE PLAQUE

( temps clair )

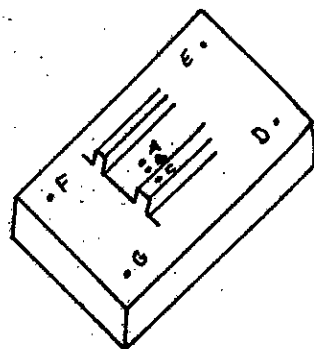


Heures \ Temp °C	TP <sub>1</sub>	TP' <sub>1</sub>	TP <sub>2</sub>	TP' <sub>2</sub>
8	38,15	38	36,8	32
8½	45,34	43,4	39,23	32,82
9	51,8	51,22	42,24	33,9
9½	56,1	55,1	44,2	36,3
10	58	57,1	46,3	37,85
10½	59,4	58,95	48,6	40,00
11	61,39	60,42	49,25	42,7
11½	61,86	60,89	50	44
12	62,33	62,33	50,63	44,23
12½	62,33	62,33	50,42	44
13	62,13	61,36	49,7	43,15
13½	61,16	60,39	48,15	42,6
14	58,06	57,48	46,9	40,9
14½	55,15	52,00	45,00	39
15	52,6	48,00	41,7	37
15½	48,6	42,98	39,30	34,5
16	43,34	39	35,5	33,18
16½	37,4	33,91	32,6	32
17	31,2	31,2	31,2	31,2
17½	31,2	31,2	30	30
18	29,72	29,72	29,7	29,7

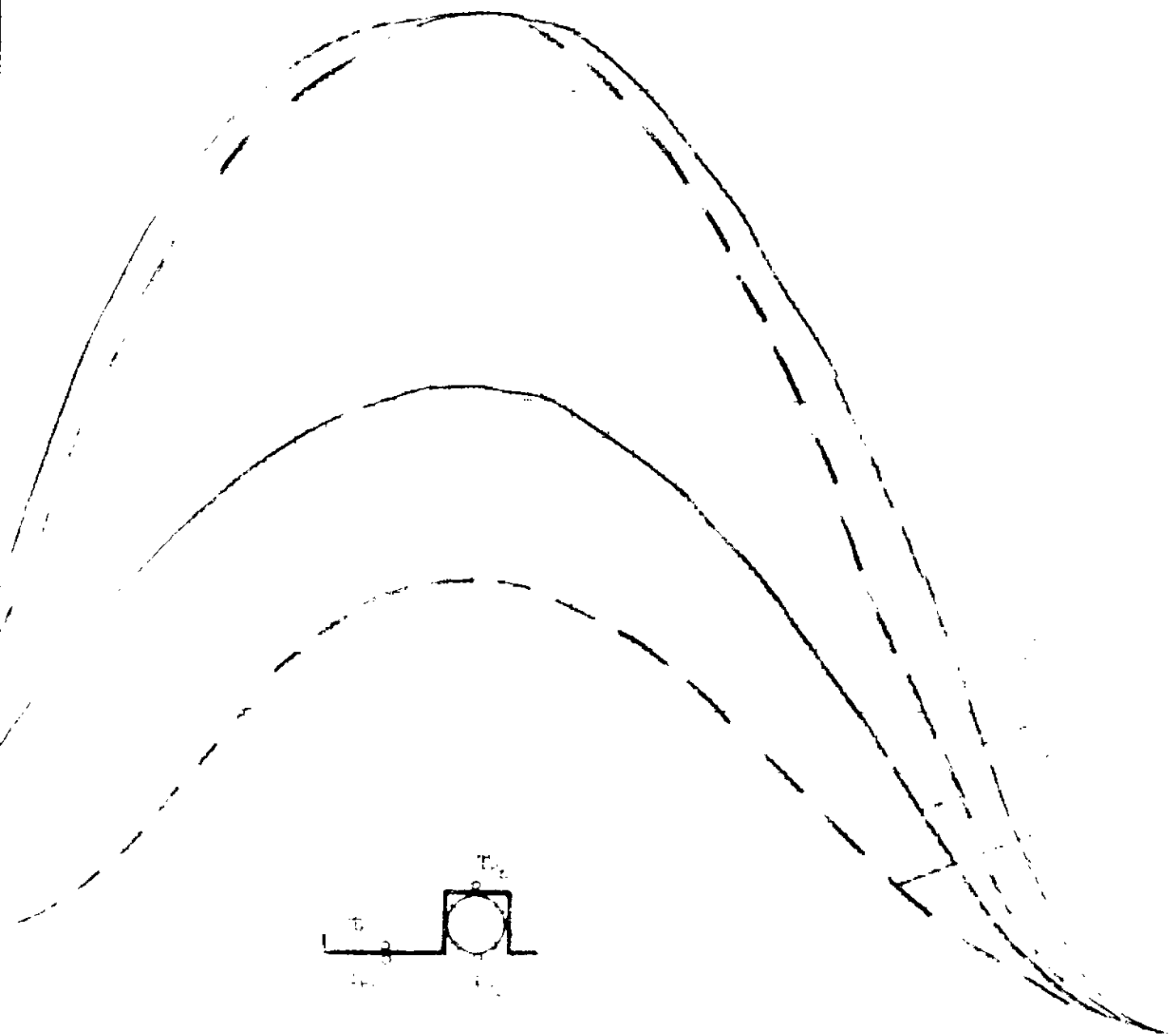
# TEMPERATURE DE PLAQUE

(temps clair)

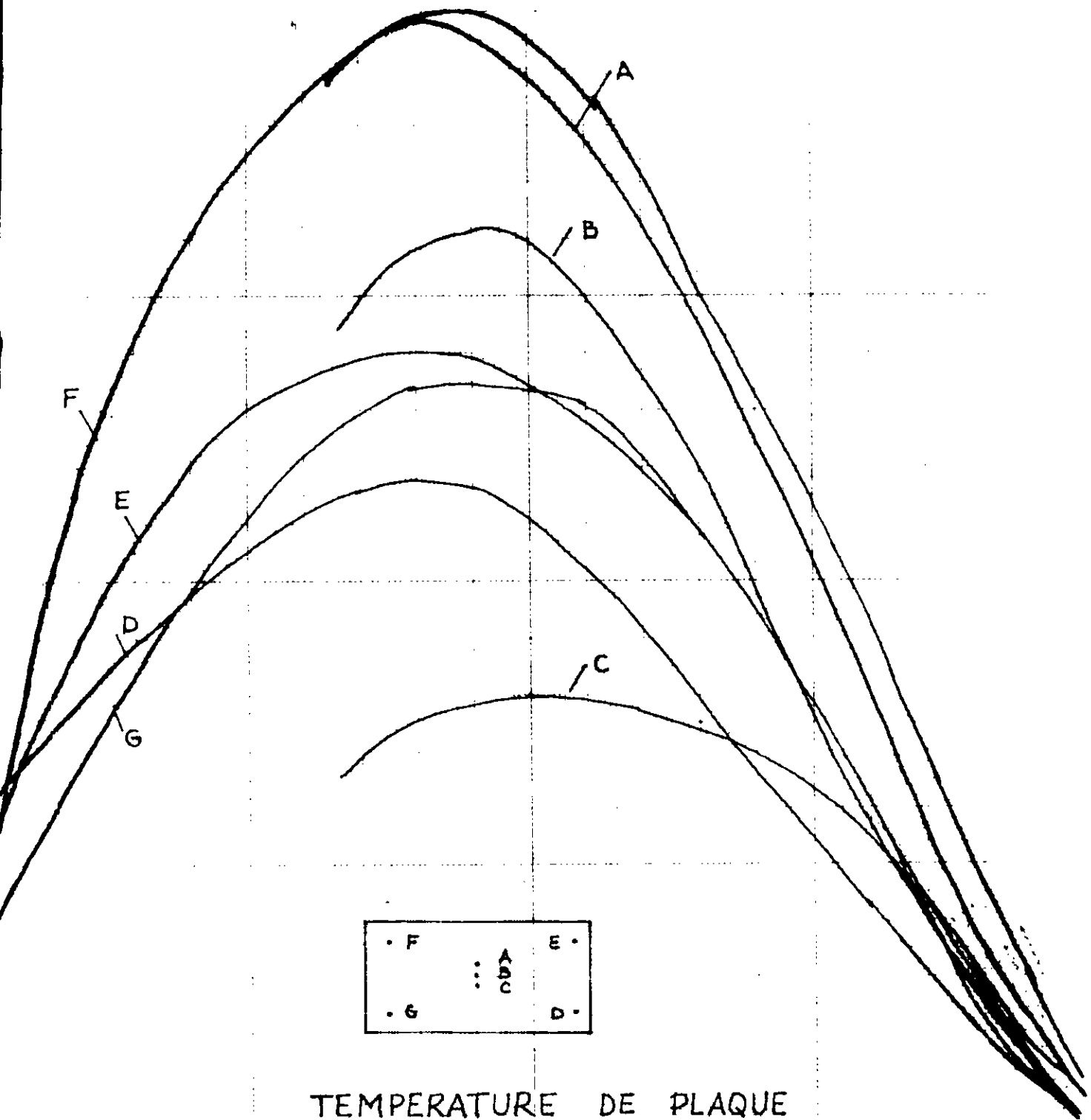
Temp. °C Heures	D	E	F	G			
8	35,55	36,32	39,23	40,4			
8½	40,12	42,84	45,75	43,81			
9	44,92	53,26	47,63	44,53			
9½	45,69	58,11	51,13	45,69			
10	49,49	62,3	54,15	48,72			
10½	52,43	65,62	56,31	51,27			
11	53,9	66,7	56,8	52,16	A	B	C
11½	55,76	67,79	57,51	53,04	67,21	59,8	43,87
12	57,04	70,00	58,20	54,13	69,65	62,75	45,6
12½	56,45	69,65	56,45	52,19	69,00	61,52	46,00
13	56,76	68,79	55,98	51,72	68,08	62,00	46,1
13½	56,57	67,24	56,37	51,72	66,05	60,00	45
14	55,10	64,8	55,68	48,42	63,24	57,85	46,00
14½	51,69	60,08	50,13	45,28	60,42	56,12	45
15	50,22	57,39	49,25	44,20	56,00	50,72	43,37
15½	46,84	53,63	46,25	40,24	50,91	46,08	43,8
16	43,73	49,55	43,15	40,05	46,84	43,87	43,14
16½	39,85	44,12	39,46	38,3	39,46	38,97	38,97
17	36,02	39,90	34,86	33,70	37,96	37,23	37,23
17½	33,86	37,55	33,67	32,70	35,6	33,3	33,5
18	31,20	32,17	31,20	30,23	31,39	32	32,4







TEMPERATURE DE PLASME



La remarque est la même pour les délais. Les délais instantanés du capteur (B) est toujours supérieur à celui du capteur (C) et ceci pour même énergie incidente. Le capteur (C) par contre chauffe plus l'eau, ceci explique son débit faible.

#### 4.22 comparaison des cuves.

On a utilisé un seul capteur pour tester les cuves. (par exemple le capteur B).

Pour l'énergie d'entrée comparable on a reporté la température d'entrée en fonction de l'énergie. Donc, pour une même énergie la température d'entrée du fluide en utilisant la cuve (B) est supérieure à celle de (C) ce qui prouve que le mélange se fait un peu mieux (car la différence n'est pas trop grande) avec cette cuve (B).

Nous pensons que ceci est due à la position du trou d'entrée d'eau chaude de la cuve (C) placé un peu trop haut, ce qui fait que le mélange ne peut se faire mieux.

Il suffira de redescendre le trou de la cuve (C) au même niveau que celui de la cuve (B) et laisser la sortie d'eau froide par le bas.

#### 4-3 utilisation des capteurs B et C en //.

En général une surface absorbante de  $1 \text{ m}^2$

chauffez 50 litres d'eau, et comme la cuve contient 148 litres il lui faut  $3 \text{ m}^2$  donc 3 capteurs de  $1 \text{ m}^2$ .  
 Donc cela on a été amené à placer les 2 capteurs (B) et (C) en parallèles en utilisant une seule cuve.  
 Par cette expérience on a constaté que l'on a un débit acceptable de l'ordre de  $40 \text{ Kg/h}$ .  
 Les calculs étant fait séparément, et le débit total étant la somme des débits partiels. (Le débit manrique est constant). On remarquera au passage que le rendement du capteur (B) est un peu meilleur à celui de (C).

### EXEMPLES

\* débits moyens pour la journée du 23/4/77  
 (pris entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup>)

capteur B :  $21,13 \text{ Kg/h}$  d'où 169 litres d'eau renouvelés par le capteur entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup> c'est à dire toute l'eau de la cuve.

Capteur C :  $16,31 \text{ Kg/h}$  ce qui donne 114,77 litres d'eau renouvelée. (toute l'eau n'est pas passée entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup>).

\* débits moyens pour la journée du 26/4/77.  
 (pris entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup>).

capteur B :  $\approx 35 \text{ Kg/h}$  avec 280 litres renouvelés (2 fois le volume de la cuve).

# CAPTEUR B

(1<sup>ère</sup> installation)

$BE_n$ : énergie reçue par la plaque

$Q_U$ : énergie utile (absorbée par l'eau)

$$\Delta T = T_s - T_e$$

$\dot{m}$  = débit d'eau en  $\text{kg}/\text{h m}^2$

$\eta$  = rendement du capteur

H	$T_a$	$BE_n$	$\frac{t_e + t_s}{2}$	$Q_U$	$\Delta T$	$\dot{m}$	$\eta$
8	20,5	269,87	34,76	165,06	14,03	10,19	0,49
9	26	471,41	39,62	342,16	18,55	16,07	0,58
10	27	628,3	41,56	472,72	19,13	21,3	0,6
11	28,5	736,43	43,05	551,82	18,1	26,28	0,599
12	24,5	749,08	43,52	555,87	17,05	28,1	0,59
13	24,5	689,99	44,45	500,74	12,91	33,43	0,58
14	24,5	536,15	44,07	370,2	12,15	26,26	0,55
15	23,5	359,59	41,83	224,12	10,47	18,45	0,49
16	22	189,22	37,51	80,7	7,73	10,11	0,38

journee du 23/4/77

## CAPTEUR B (2<sup>ème</sup> installation)

$BE_n$ : énergie reçue par la façade ( $W/m^2$ )  
 $QU$ : " utile (reçue par l'eau) ( $W/m^2$ )  
 $\Delta T = T_s - T_e$  en  $^{\circ}C$

$\dot{m}$ : débit d'eau en  $kg/s$

$\eta$ : rendement du capteur

H	$T_a$	$BE_n$	$\frac{t_e + t_s}{2}$	$\Delta T$	$QU$	$\dot{m}$	$\eta$
8	21	287,26	30,3	8,15	203,85	24,56	0,56
9	23	438,4	33,19	9,15	346,94	31,48	0,6
10	23,5	624,02	34,84	11,83	483,99	35,26	0,62
11	25	720,34	36,63	12,03	565,48	40,52	0,628
12	26	730,25	36,95	12,67	577,16	46,63	0,63
13	26,5	635,91	36,77	18,15	499,18	52,8	0,627
14	26	499,03	37,93	14,45	373,16	-	0,599
15	25	326,65	38,18	11,80	281,85	-	0,537
16	25,5	173,63	37,5	-	93,59	-	0,43
journée du 26/4/77							

# CAPTEUR C

(1<sup>ère</sup> installation.)

$BE_n$ : Energie reçue par le capteur  $W/m^2$

$Q_u$ : " utile (absorbée par l'eau)

$\Delta T = T_s - T_e$  en  $^{\circ}C$

$\dot{m}$ : débit d'eau en  $kg/h m^2$

$\eta$ : rendement du capteur

H	$T_a$	$BE_n$	$\frac{t_s+t_e}{2}$	$\Delta T$	$Q_u$	$\dot{m}$	$\eta$
8	20,5	269,97	30,17	12,41	182,82	12,7	0,54
9	26	471,41	41,03	12,4	327,8	22,78	0,55
10	27	628,3	55,33	20,37	399,72	16,85	0,5
11	25,5	736,43	47,13	21,19	520,48	21,17	0,56
12	24,5	749,08	46,71	25,8	528,48	17,65	0,564
13	24,5	689,99	46,13	26,97	481,47	15,38	0,558
14	24,5	536,15	45,94	25,02	353,11	12,16	0,526
15	23,5	359,59	41,44	16,11	220,6	11,8	0,49
16	22	189,22	36,79	4,85	91,8	/	0,38

journee du 23 / 4 / 77

# CAPTEUR. C

(2<sup>ème</sup> installation)

$BE_n$ : énergie reçue par le capteur  $W/m^2$

$Q_u$ : " utile (absorbée par l'eau)

$\Delta T = T_s - T_c$  en  $^{\circ}C$

$\dot{m}$ : débit d'eau en  $kg/h \cdot m^2$

$\eta$ : rendement du capteur

H	$T_a$	$BE_n$	$\frac{t_s + t_c}{2}$	$\Delta T$	$Q_u$	$\dot{m}$	$\eta$
8	21	287,26	28,85	10,28	205,69	17,24	0,57
9	23	458,4	34,34	12,61	333,61	22,8	0,58
10	23,5	624,02	38,53	14,55	456,0	27	0,584
11	25	720,34	42,26	12,42	526,79	36,56	0,585
12	26	730,25	44,1	11,8	531,3	38,8	0,58
13	26,5	635,91	44,67	11,75	451,74	33,14	0,568
14	26	499,03	44,5	11	335,26	26,27	0,537
15	25	325,65	43,48	9,97	189,72	16,4	0,46
16	25,5	173,63	40,08	5,36	79,71	12,82	0,367

janvier du 26. / 4 / 77



# CAPTEURS BetC en PARALLELES

$BE_n$ : énergie reçue par la plaque

$Q_u$ : " " utile

$\Delta T = T_s - T_e$

$\dot{m}$ : débit en  $kg/h \cdot m^2$

$\eta$ : rendement du capteur

(3<sup>ème</sup> installation)

H	Ta	BE <sub>n</sub>	$\frac{t_{e+ts}}{2}$	$\Delta T$	Q <sub>u</sub>	$\dot{m}$	$\eta$	débit Total	$\frac{t_{e+ts}}{2}$	$\Delta T$	Q <sub>u</sub>	$\dot{m}$	$\eta$
8	17	276,27	25,62	11,85	197,56	14,37	0,57	29,6	24,84	11,08	195,18	15,23	0,56
9	19,5	458,86	30,26	16,1	346,04	18,52	0,16	38,56	29,87	14,55	338,4	20,04	0,59
10	19,8	627,56	32,6	19,4	480,25	21,54	0,61	46,35	31,82	16,29	472,6	25,01	0,16
11	21	744,07	36,81	19,98	566,47	24,44	0,609	52,32	35,64	17,27	558,6	27,88	0,16
12	21,25	776,94	42,48	12,61	569,57	38,93	0,58	65,24	42,39	18,24	556,7	26,31	0,57
13	22	674,56	44,85	14,29	474	28,59	0,56	50,13	45,37	18,43	460,62	21,54	0,54
14	22	561,23	47,31	14,16	365,16	22,23	0,52	38,05	45,85	19,79	363,24	15,82	0,51
15	23	376,73	47,88	13,4	211,23	13,58	0,448	24,23	45,29	17,42	215,3	10,65	0,45
16	22,25	207,76	43,2	10,44	81,38	6,7	0,313	12,44	40,15	13,96	93	5,74	0,35

Capteur B

journee du 10/5/77

capteur C

Captain C. 25,67 Kg/h avec 205,36 litres renouvelés  
entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup>. (1 fois et demi le contenu  
de la cuve.

\* débit moyen pour la journée du 10/5/77  
(3<sup>ème</sup> installation).

débit total moyen = 40 Kg/h ce qui fait  
320 litres d'eau renouvelée entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup> donc  
deux fois le volume de la cuve.

### CAPTEUR A

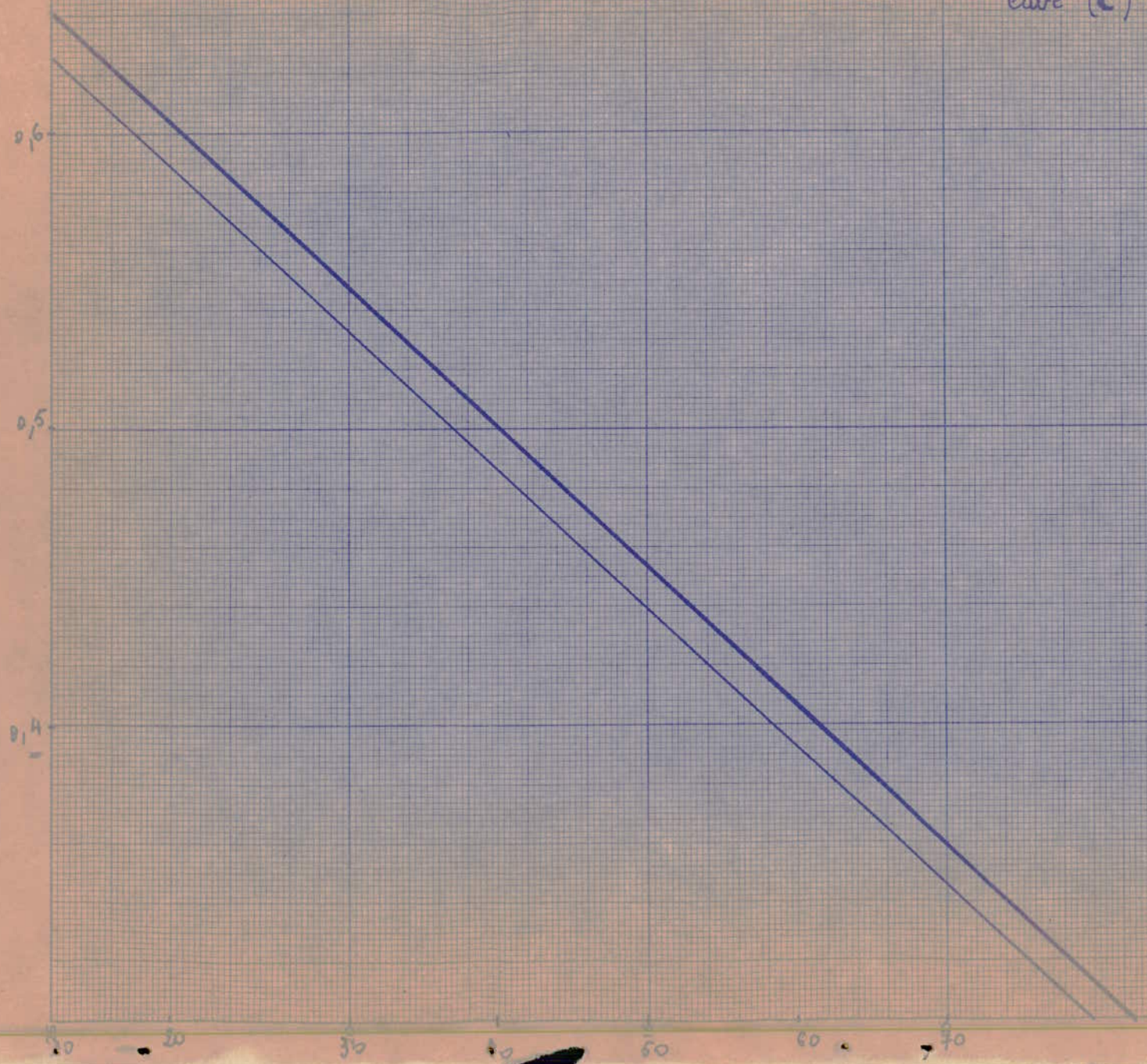
On remarque que les radiateurs sont un peu plus  
utilisés dans la installation de chauffe eau,  
ceci grâce à leur grande surface de contact avec  
le fluide absorbent. Ils offrent d'ailleurs des  
rendements assez valables.

Il est ainsi intéressant d'avoir des radiateurs à  
plaque très mince pour faciliter l'échange thermique  
de radiateur qu'on a expérimenté nous a donné  
un rendement maximum de 0,7 c'est à dire  
meilleur que celui des 2 autres capteurs à tubes en  
serpentins.

Donc le débit il est de l'ordre de 31,87 Kg/h.  
(valeur moyenne entre 8<sup>h</sup> et 16<sup>h</sup> pour la journée  
de 1<sup>ère</sup> expérience c'est à dire le 23/4/77). Il  
correspond à un renouvellement d'eau de 223,  
litres soit une fois et demi le contenu de la cuve.



capteur b le 26/10/77  
capteur c le 23/11/77  
curve (C)



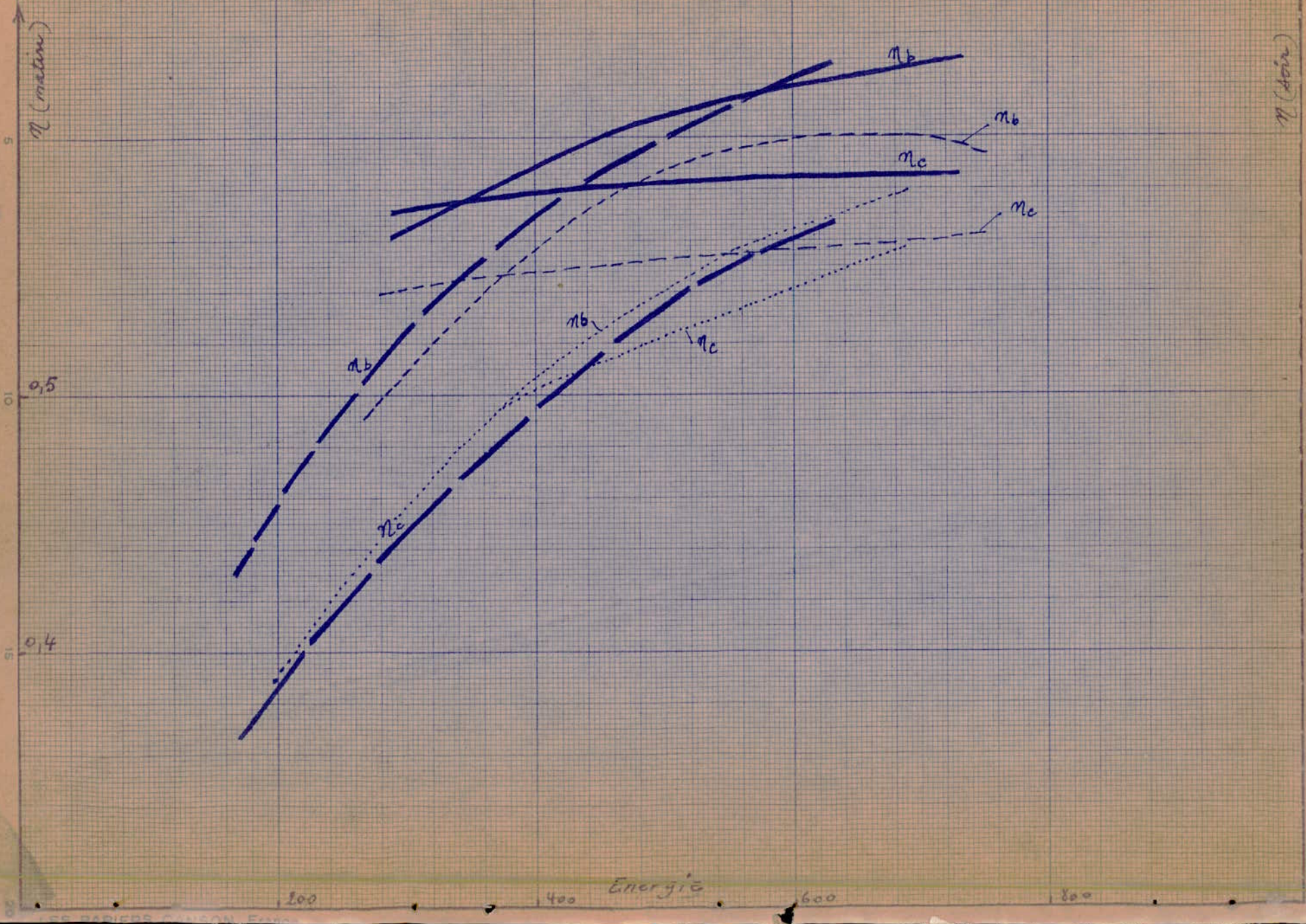


(---) (matin) (soir)

(—) (matin) (soir)

1<sup>ère</sup> installation

2<sup>ème</sup> installation





Température d'entrée Te

Température d'entrée Te

30

30

25

25

--- Température d'entrée du capteur Te  
(Air)  
— Temp. d'entrée du capteur Te  
(main)

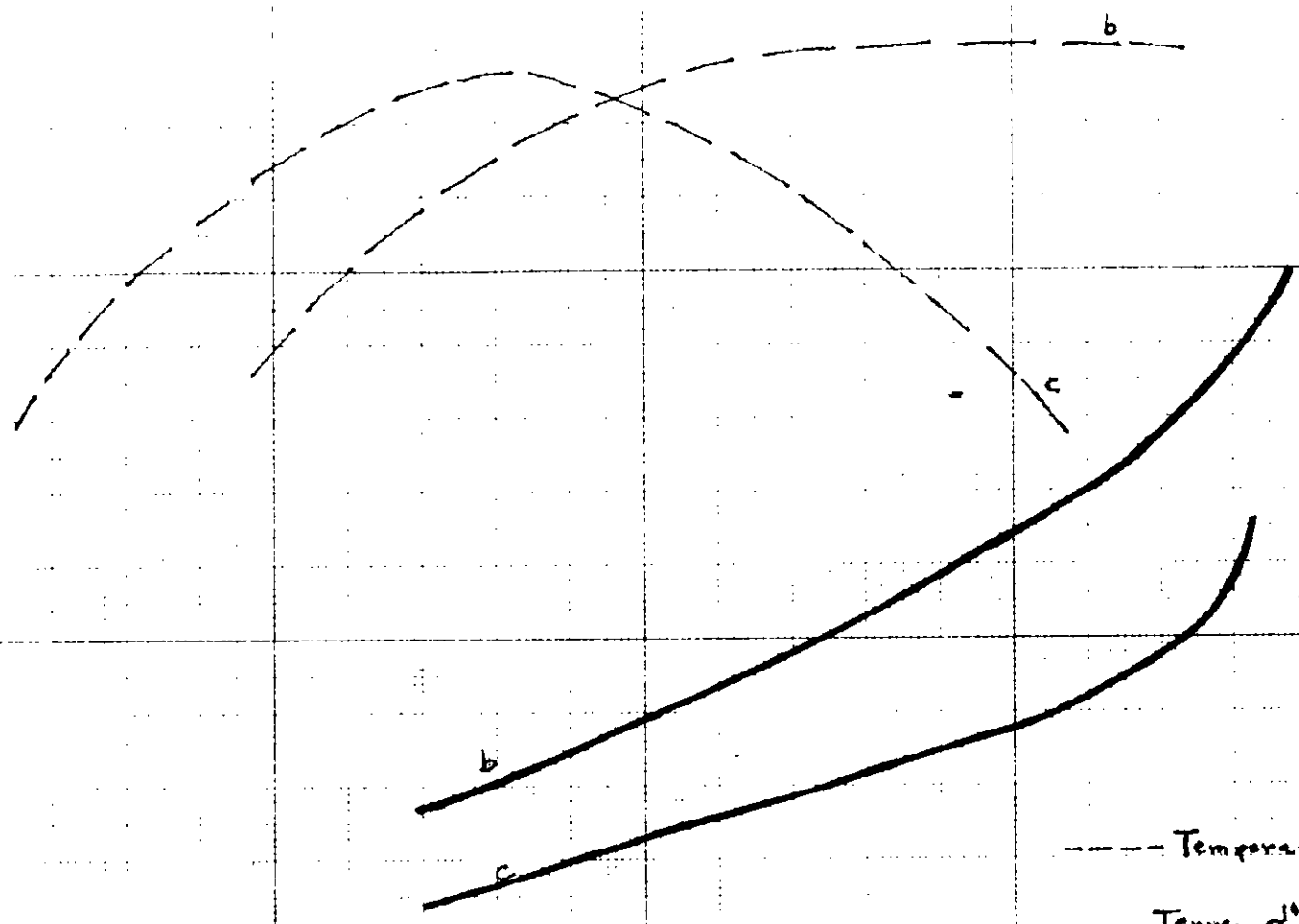
b : curve b  
c : curve c

(capteur Test B)

Energie

200

800



# CHAPITRE V

# Chapitre V

## ETUDE Économique:

### 5.1 Absorbteur:

L'étude d'un capteur se base surtout sur le choix de sa surface absorbante et de son circuit de fluide caloporteur.

L'absorbteur, dans ce cas doit avoir une bonne conductivité thermique, il peut être en cuivre (bien mais cher), en zinc, en aluminium. Le dernier est à déconseiller à cause des phénomènes de corrosion qu'il crée; il peut être en acier doux, mais sa conductivité thermique est faible relativement au zinc, lequel, plus léger et non oxydable, présente un meilleur avantage.

Cette plaque doit être recouverte d'une peinture mate, afin de diminuer au maximum les réflexions. Cette peinture peut être de n'importe quelle couleur (excepté le blanc), mais afin d'approcher le corps noir le plus possible, on fait généralement le choix de la couleur sur le noir.

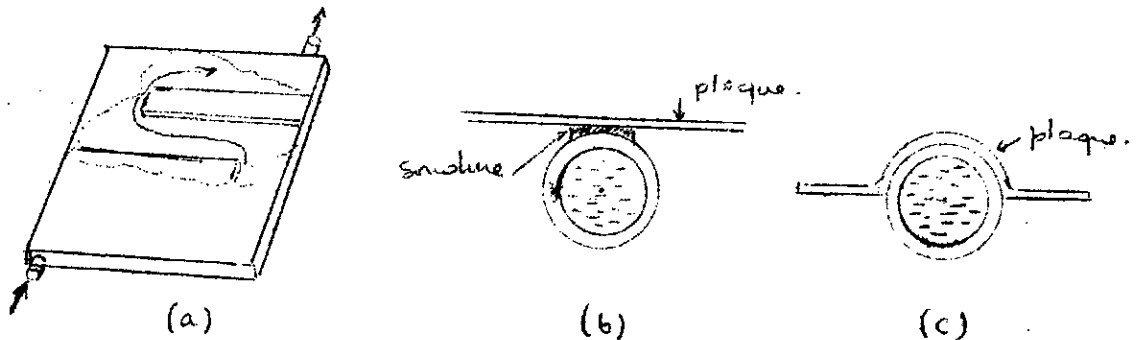
Sachant que la peinture est une matière isolante ou en général mauvaise conductrice de chaleur, la couche déposée doit être la plus mince possible.

### Circuit Caloporteur:

Il a pour fonction de récupérer les calories obtenues par l'absorbteur, et, pour cela il faut qu'il ait le meilleur contact possible avec

la plaque; chose logique mais dont la réalisation est très délicate par conséquent coûteuse. fig (a), Le principe, est presque le même que celui du radiateur: il s'agit de faire circuler un mince filet d'eau (2 à 4 mm), à travers des chicannes soudées entre deux plaques.

La deuxième solution consiste à plaquer des tubes contre la plaque en les soudant: solution moins bonne que la première mais évidemment plus réalisable à quelques pertes près. fig (b) et (c).



### Radiateur de chauffage:

Les contacts thermiques entre le circuit d'eau et la surface d'échange sont directs, d'où de bons résultats, et, moins ils sont nombreux, moins ils ont d'inertie thermique, et, plus ils sont bons.

### Isolation thermique:

En général on utilise la laine de verre (5 à 10 cm). par m<sup>2</sup>; avantages: elle est économique, excellent isolant et résiste aux températures de plus de 100°C.

Inconvénients: quand elle est humide, elle perd ses qualités d'isolant thermique. Pour cela il faut que le boîtier soit très étanche.



## CAPTEUR · A

$T_m$  : Température moyenne de plaque  
 $Q_p$  : Énergie perdue  
 $B_{en}$  : Énergie reçue par la plaque  
 $Q_u$  : " " utile

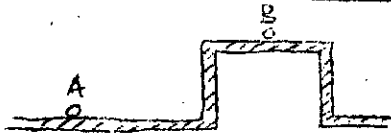
$\Delta T = T_s - T_e$   
 $\dot{m}$  : débit d'eau en  $\text{kg/h} \cdot \text{m}^2$   
 $\eta$  : rendement du capteur

H	$T_a$	$T_m$	$Q_p$	$B_{en}$	$Q_u$	$\Delta T$	$\frac{T_e + T_s}{2}$	$\dot{m}$	$\eta$
8	20,5	31	54,6	269,87	215,27	4,37	24,96	/	0,63
9	26	38,2	63,44	471,41	407,97	12,92	32,46	27,22	0,69
10	27	41	72,8	628,3	555,5	13,5	37,35	35,47	0,7
11	28,5	43,02	91,1	736,43	645,33	14,92	40,1	37,28	0,7
12	24,5	44	101,4	749,08	647,68	13,33	41,58	41,88	0,69
13	24,5	45,08	107	689,99	582,99	12,54	43,69	40	0,67
14	24,5	45	106,6	536,15	429,55	10,26	42,81	36	0,64
15	23,5	44,8	110,7	359,59	248,89	7,98	42,3	26,88	0,55
16	22	40,8	97,76	189,22	91,46	7,79	39,76	10,12	0,4

journee du 23/4/77


Notons toutefois que si l'on a à utiliser un radiateur comme chauffe eau, il sera préférable d'ajouter un échangeur pour éviter l'entartrage, la corrosion des tubes et avoir une eau propre à l'utilisation.

### PLAQUE.



L'expérimentation d'une plaque de TN40 de cette

forme (forme de commerce) nous a amené à constater que la conduction de la chaleur ne se fait pas bien et que pour passer du pt A au pt B la perte de température va jusqu'à  $20^{\circ}\text{C}$ . Ceci est dû à ce que les tubes pour fluide caloporteur dont la distance entre axes est de 17,5 cm sont beaucoup espacés.

Pour remédier à cela on a pensé à utiliser une autre forme de plaque  en effet de sorte ceci permettra de réfléchir 3 fois le rayonnement solaire incident et donc chauffer plus la plaque. La distance entre tuyaux est de 12 cm.

### Pertes dans la tuyauterie.

La tuyauterie de collecte d'eau chaude étant très courte et bien calorifugée, les pertes calorifiques sont faibles. Ceci se calcule puisqu'on connaît la température de sortie de l'eau du container et celle

de l'eau à l'entrée de la cuve. Mais le  
thermocouple qui mesure cette dernière température  
ne mesure pas réellement celle de l'eau mais  
aussi celle du tube.

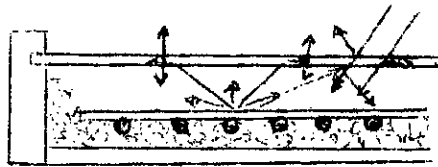
A défaut d'étanchéité, on utilise le liège aggloméré, soit la conductivité thermique est proche de la celle de la laine de verre.

### 5-2. Couverture: (effet de serre):

Une plaque de verre, ou de matière transparente (plastique), est placée à 25 ou 40 mm des dessous de la plaque absorbante;

isolation: la vitre limite les pertes par convection, et, l'air emprisonné entre l'absorbant et cette première couche d'isolant, sa conductivité thermique étant  $0,024 \text{ kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

effet de serre: la vitre laisse passer le rayonnement solaire et récupère le plus possible le rayonnement émis par l'absorbant.



Étant peint en noir, l'absorbant s'approchera du corps noir. Il va absorber le rayonnement solaire et s'échauffer, et, suivant le débit d'eau et l'énergie reçue par la plaque, la température de l'absorbant variera de  $(40^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$  environ).

Le verre transparent ou autres matériaux s'insolaires laissera le rayonnement solaire le traverser, et restera opaque au rayonnement infrarouge émis par la plaque.

La vitre va s'échauffer et rayonner par toute sa surface, autant par chaque face.

Si on veut diminuer les pertes par l'avant on ajoute, une ou deux vitres; seulement il y a un inconvénient à cela: la transparence globale diminue.

exemple . facteur de transparence du verre 0,8 (80% de rayonnement  
de traverse; deux vitres nous donneront  $0,8 \times 0,8 = 0,64$ .

Si notre capteur a un fort débit, la température sera faible, et, le  
rayonnement de l'absorbant le sera aussi, donc, ajouter une vitre ne sera  
une grande subtilité, car la perte due au manque de transparence ne sera  
pas compensée par le faible rayonnement infra-rouge qui n'est pas ré-  
cupéré par effet serre.

Si le débit est faible, la température de l'absorbant sera élevée, par  
conséquent son rayonnement aussi, et, dans ce cas il serait intéressant  
d'ajouter une vitre.

Notons que plus le verre est transparent (pur), plus il est meilleur,  
mais ce verre coûte cher. Relativement moins cher, le verre ordinaire qui  
présente sur la tranche des reflets verts dus aux oxydes métalliques qu'on  
lui adjoint, peut bien le remplacer.

Concernant ce paragraphe en parlant de l'emplacement des vitres: il  
est recommandable de placer la première à environ 8 cm de la plaque,  
et la deuxième à 1,5 cm de la première. La première peut être  
en translation à cause de la forte dilatation, quant à la deuxième, il  
ne sera pas nécessaire qu'elle le soit, compte tenu de sa température,  
relativement faible.

### 5-3. La Coque:

La coque maintient l'ensemble de façon rigide et assure son étanchéité,  
elle est soutenue par des supports, posés sur un toit ou à même le sol.

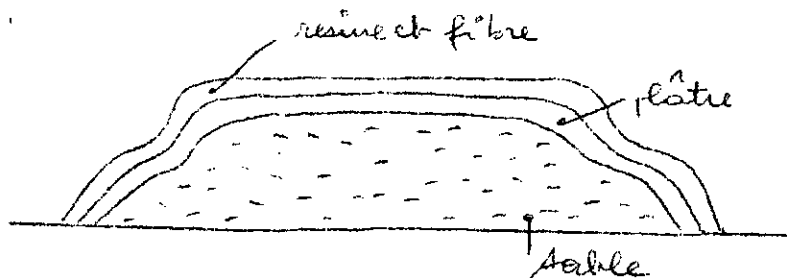
## matériaux

Elle peut être en fibre de verre et résine, solution pas très chère mais très sûre au détriment de la tôle noire (facilite les pertes thermiques) et du bois (s'use et se déforme avec le temps).

- Principe pour la coque en plastique (coque nue.)

On fait un moule en sable et plâtre au lequel on pose la fibre (mat) en une épaisseur qu'on enduit de résine en évitant de laisser des bulles.

On démonte après séchage, on ponce et on peut se servir de cette caisse soit comme moule pour les suivantes si on met du démontant chaque fois, soit comme coque du capteur en rajoutant une deuxième épaisseur de fibre.



Nota. il faut avoir une bonne isolation pour l'entrée et la sortie du fluide caloporteur et éviter d'avoir des trous de même diamètre dans la coque pour la tuyauterie entrée et sortie.

## 5-4 Tuyauteries.

- contrainte d'installation.

l'eau chaude doit toujours monter vers le réservoir et l'eau froide redescendre vers l'isolateur.

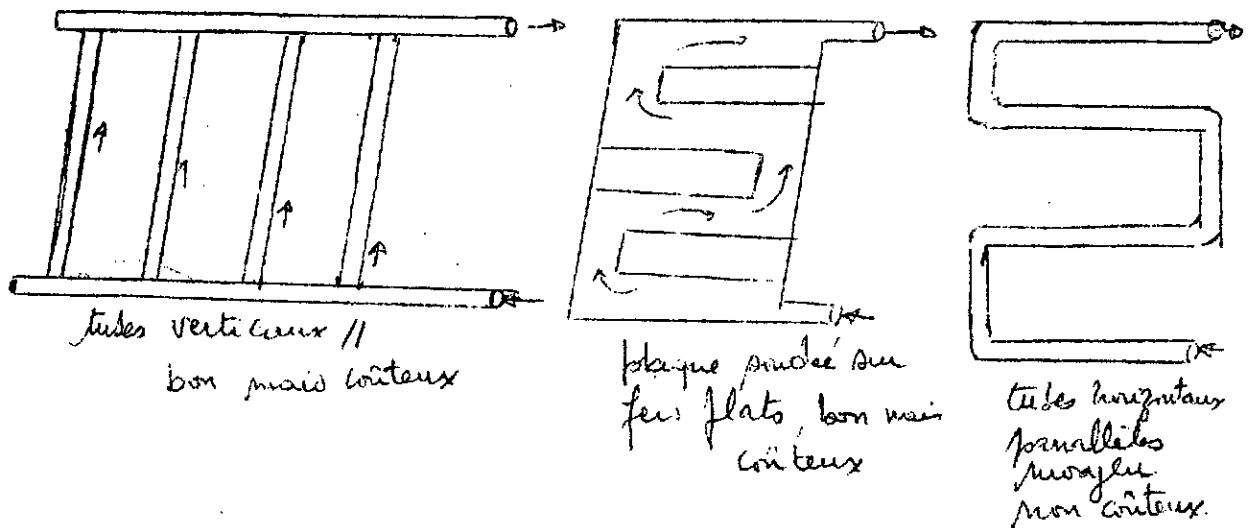
Si les pertes de charge sont trop importantes le thermosiphon ne s'amorcera pas.

- Réservoir au dessus de l'isolateur

- légère pente pour les tuyauteries horizontales vers les points hauts.

- tuyaux assez gros pour la libre circulation de l'eau

Forme du circuit d'eau dans l'isolateur.



### Choix du tuyaux.

On choisira le tube de cuivre malgré son prix assez cher car il présente de nombreux avantages.

- légèreté

- moindre encombrement

- facilité et rapidité de pose
- peu de prise à l'entourage (intérieure très lisse)
- bonne résistance à la corrosion.

• Si le circuit est composé de métaux différents, il y aura corrosion qui proviendra de l'autre matériaux.

### Isolation de la tuyauterie.

- circuit placé à l'extérieur. on utilisera de la laine de verre (2,5 cm d'épaisseur) avec isolation à la pluie (matière plastique).

### 5.5. Reservoir.

Le réservoir est placé verticalement. l'eau chaude peu légère que l'eau froide s'accumule dans le haut. La sortie d'eau chaude se fera le plus haut possible dans le réservoir.

- l'alimentation se fera directement par le réseau. Il est préférable dans ce cas de prévoir à l'arrivée d'eau froide :
  - \* un clapet non retour (évite un reflux d'eau chaude en cas de baisse de pression).
  - \* un robinet de vidange
  - \* soupape de surtension (vidange du réservoir quand il y a mauvais fonctionnement et que la température



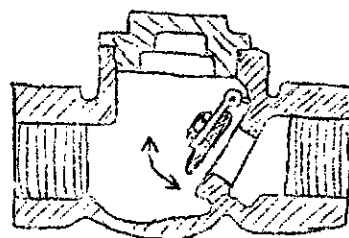
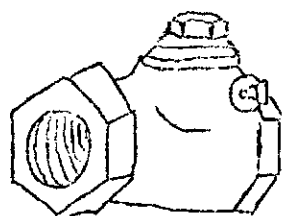
est trop élevée d'où accroissement de pression et explosion du réservoir.

- Alimentation par le réseau et mise d'un flotteur à l'entrée de l'eau froide pour maintenir le niveau d'eau constant dans la cuve.

Nota le réservoir peut être un fût métallique (fût ayant contenu de l'huile par exemple, le rincer au fuel qui dissout l'huile puis à l'essence qui dissout le fuel) ou en tôle.

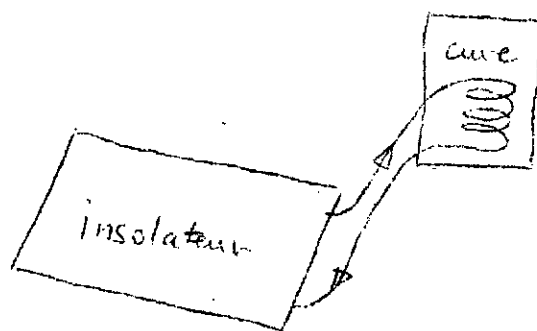
\* Revêtement intérieur. on utilisera de la peinture résistante à la chaleur.

\* isolation. on utilisera un matelas de laine de verre de 5 cm d'épaisseur. (à titre indicatif, si l'on a de l'eau à 60°C la température s'abaisse de 10°C par 24 heures, avec un matelas de 5 cm d'épaisseur et de 5°C par 24 heures pour 10 cm). on recouvra le tout d'une toile serrée ou d'une jaquette en tôle peinte.



\* Il existe aussi des réservoirs avec échangeur. cet échangeur jouera le rôle d'un radiateur. l'eau chaude venant de l'isolateur perdra une partie de ses calories pour chauffer l'eau plus froide du réservoir.

L'échangeur sera placé dans le bras du réservoir où l'eau est la plus froide, il aura la forme d'un serpentín pour un meilleur échange thermique.



## Captteur adopté.

Pour le choix de l'absorbant, on a opté pour une tôle de zinc plié. Ce métal donne lieu à un minimum de réflexion vers un micron. Il présente donc un pouvoir absorbant assez remarquable pour le rayonnement solaire.

Une plaque de zinc capterait 37% environ du rayonnement. Pour cela il est nécessaire de modifier sa forme pour augmenter l'absorption c'est à dire la plier pour avoir des réflexions multiples. \* Une tôle pliée à  $90^\circ$  réfléchit 2 fois le rayonnement. Pour des angles  $60, 45, 36, 30$  on aurait respectivement 3, 4, 5 et 6 réflexions.

### Choix.

I. Absorbant. tôle de zinc pliée avec des angles de  $60^\circ$  (3 réflexions pour le rayonnement).

Surface :  $0,72 \times 1,42 = 1,022 \text{ m}^2$

- Pente avant : 3 vitres (épaisseurs 3 mm)  
dimensions :  $50,3 \times 94$  avec baguettes supports.
- Pente arrière : isolation par 2 matelas de laine de roche. épaisseur totale 5 cm.
- Tuyauteries pour fluide caloporteur. En forme de

Serpentin de longueur totale  $L = 9,02 \text{ m}$

II. coque en fibre de verre et résine.

dimensions  $154 \times 96 \times 14,4$

longueur de fond.  $l = 84 \text{ cm}$



III. tuyauteries extérieures.

eau chaude  $L = 1,38 \text{ m}$

eau froide  $L = 2,76 \text{ m}$

- isolation : laine de verre + plastique d'étanchéité.
- clapets non retour aux niveau des entrées.
- 2 vannes de vidange.

IV. Réservoir.

cuve de  $50 \text{ l}$  pour 1 capteur,  $200 \text{ litres}$  pour  $4 \text{ m}^2$   
(4 capteurs de  $1 \text{ m}^2$  en parallèles).

+ peinture à l'intérieure (genre alimentaire)

+ flotteur. entrée d'eau chaude par le milieu  
Sortie d'eau froide et chaude par le bas.

- isolation = 2 matelas de laine de verre.

V. Support caisson + support cuve en bois.

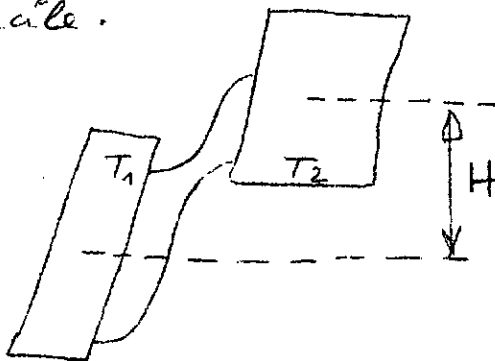
## Remarques.

a) L'installation, devra être suffisamment puissante pour vaincre les pertes de charges. Ceci est caractérisé par la charge hydromotrice appelée charge tout court.

Elle dépend de .

- $H$  = différence entre le milieu du réservoir et le milieu de l'isolateur.
- $\Delta T = T_1 - T_2$  . différence de la température de l'eau entre la sortie de l'isolateur et la sortie du réservoir.

Plus  $H$  et  $\Delta T$  sont grands, plus la circulation de l'eau est facile.



(Si  $H > 30$  cm : on n'a pas besoin de clapet non retour)

b) Si dans le circuit on est en présence de cuivre et d'acier (ou réalise une pile électrique et l'acier sera attaqué) il sera préférable de faire une mise à terre.

Il en est de même pour la cuve.

# Propriétés thermiques de quelques métaux

$\lambda$  W/m°C  
conductibilité thermique.

Cuivre	390	
Fer	60	
beton	1,5	
Verre	1,15	
bois courant	0,15	
Isolants	0,04	
laine de verre	0,041	
liège pur expansé	0,043	
Chêne	bois $\perp$ grain	0,2
	" // grain	0,348
Pin	" $\perp$ "	0,116
	" // "	0,243
air	0,03	
Zinc	111,36	
Argent	415,28	
Laiton	99,76	
Fonte	pure	55,68
	Alliage	49,88
Acier	doux	45,24
	Inox	15,08

Tableau estimatif du Capteur (b).\*

Désignation	nombre	Prix unitaire /DA	Prix total /DA
1 plomberie capteur.			
TN40	1m <sup>2</sup>	27,50	27,50
Cuivre couronné φ 20	9m	10,00	90,00
coudes φ 20	10	1,35	13,50
vannes	2	46,00	92,00
Soudure	2kg	25,00	50,00
Main d'œuvre soudure + mise en place des tuyauteries	8h	30,00	240,00
Total partiel			513,00
2 Caisson du capteur:			
liège de 3cm	3m <sup>2</sup>	8,00	24,00
peinture antirouille	1kg	38,00/5kg	7,60
noir mat	5kg	96,00/1kg	46,00
main d'œuvre peinture	2h30	30,00/h	75,00
Contre-plaque 15mm / feuilles 244x122 = 3m <sup>2</sup>	1 feuille	20,00/m <sup>2</sup>	34,60
main d'œuvre menuiserie + whier	4h	35,00	140,00
Total partiel			482,20
3- Support Caisson:			
• Basting	5ml	14,00	70,00
• main d'œuvre	2h	35,00	70,00
total partiel			140,00
Total 1+2+3 =			1.135,20
4. Cuve P	1	300,00	300,00
Plomberie cuve			
manchons	8	3,00	18,00
main d'œuvre robinetterie			
Sur cuve		137,00	137,00
raccords	3	5,00	15,00
Flotteurs	1	130,00	130,00
robinet	1	13,00	13,00

\* aimablement communiqué par M<sup>me</sup> Lotz et Jacob.

Désignation	nombre	Prix unitaire	Prix total
Isolation cuve; laine de verre	3,5 ml	10,00/ml	17,50
main d'œuvre de pose	4 h	30,00	120,00
Raccordement cuve-Cap-			30,000
Cuve de 20/22	3 m	10,00	
main d'œuvre	5 h	30,00	150,00
Isolation tuyauterie laine de verre	1,5 ml	10,00	15,00
Plastique	1,5 ml	10,00	15,00
		Total partiel	995,50
5. Support cuve:			
Basting	8 ml	14,00	112,00
Laite	0,5 ml	45,00	22,50
main d'œuvre	4 h	35,00	140,00
Peinture antirouille	1 kg	38,00/kg	7,60
" grise	1 kg	32,00/kg	6,40
Main d'œuvre	2 h	30,00	60,00
		Total partiel	348,50
Prix Capteur =			2483,20 DA.
<u>récapitulatif:</u>			
<u>main d'œuvre:</u>			
Sur cuve			407,00 DA
Sur Support cuve			200,00 DA.
Sur Capteur			525,00 DA
			<u>1.132,00 DA.</u>



Remarque.

Nous n'avons pu établir un tableau  
récapitulatif des prix de capture adoptés  
car les responsables concernés dans les sociétés  
nationales n'ont pu nous avancer des  
prix pour le moment -

## CONCLUSION

Les résultats obtenus sont surtout des résultats très approchés vu le manque de fiabilité de certains instruments de mesure (thermocouples) et la précision de certains formules de calculs -

Mais puisque il s'agit d'une étude comparative, les résultats obtenus sont acceptables.

Nous notons aussi que l'on a eu pas mal de difficultés dans la réalisation de nos montages malgré la bonne volonté de la part de vos promoteurs.

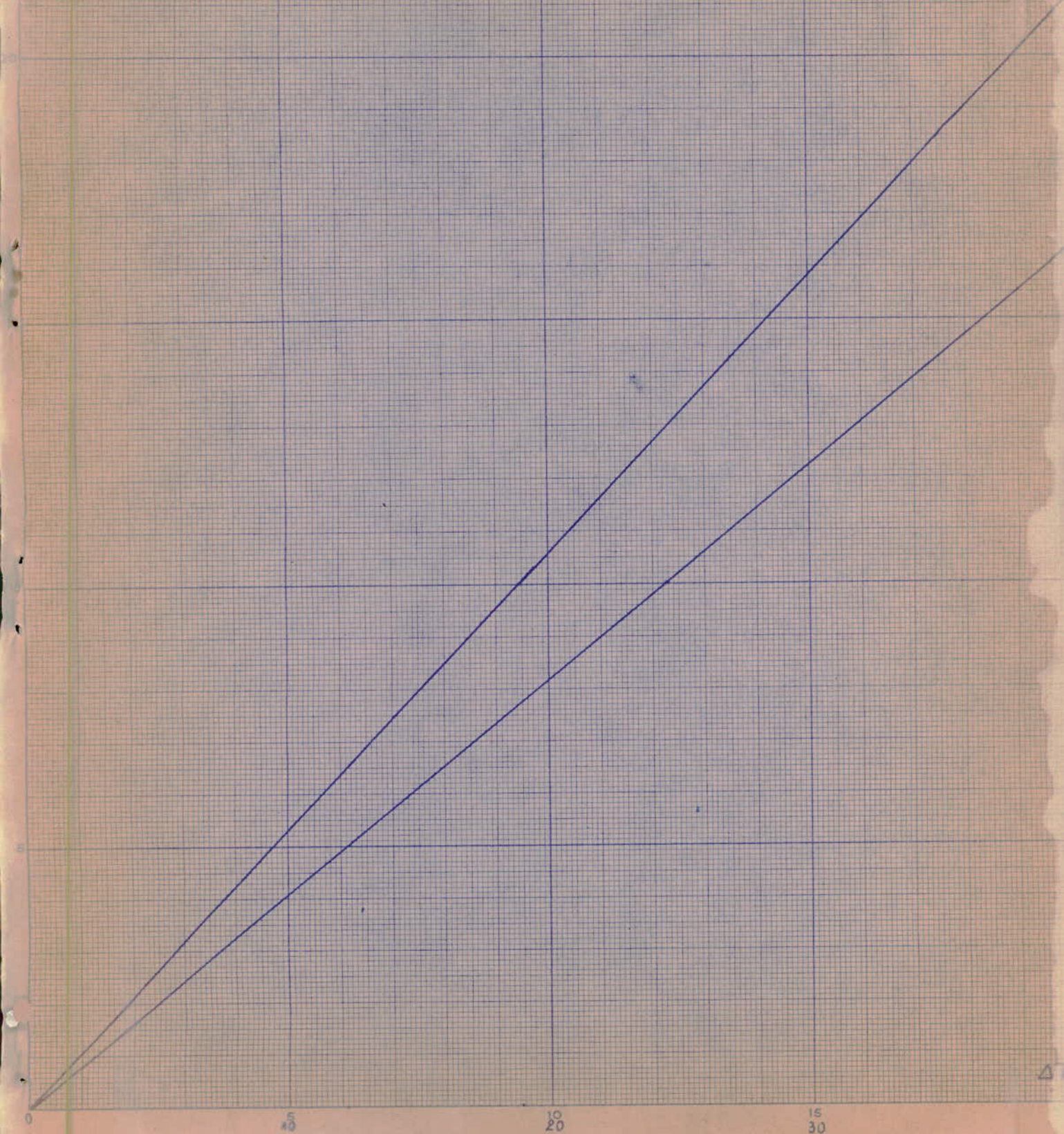
Il aurait été préférable aussi de mesurer le débit expérimentalement et ainsi comparer l'expérience à la théorie c'est à dire tester le capteur et les moyens de calculs ce qui ferait un bon projet pour les promotions futures.

## Bibliographie

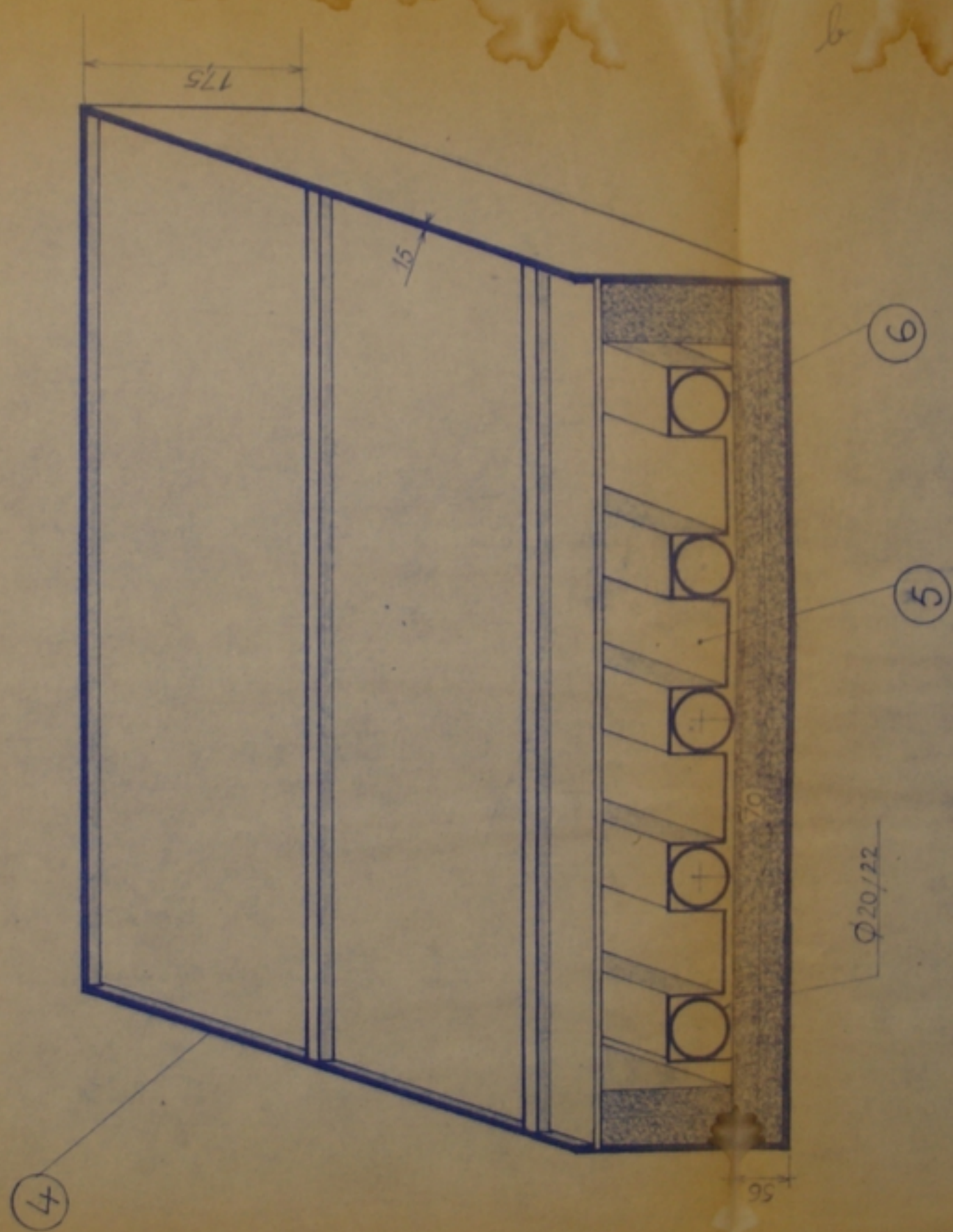
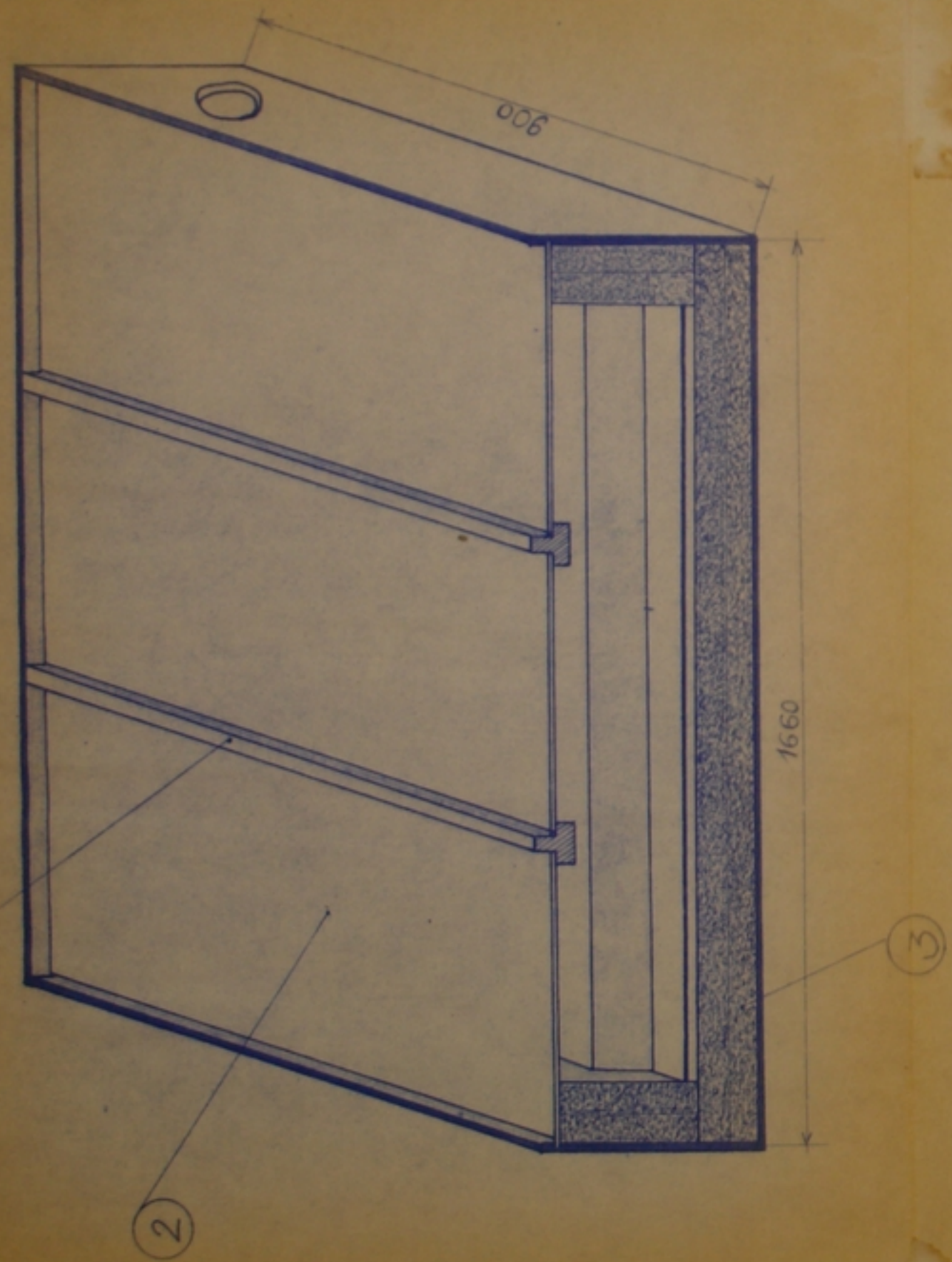
- W.H. Mc ADAMS . transmission de la chaleur
- F. KREITH . Transmission de la chaleur et  
thermodynamique
- Thierry Carbirol , Albert Delissou , DANIEL ROUX  
le chauffe eau solaire .
- colloques internationaux du CNRS
- CH. PERRIN DE BRICHANBAUT .  
Rayonnement solaire et échanges radiatifs  
Nocturnes .
- Institut français de combustible et de  
l'énergie . Revues de SACADURA  
CHOUARD  
DIAMANT



Courbes d'étalonnage  
des  
thermocouples







- b
- 1 - baguette support en bois
  - 2 - vitre
  - 3 - liege
  - 4 - caisse en bois
  - 5 - plaque de Zn
  - 6 - tuyau en cuivre

Coupe schématique  
d'un capteur

- a) coupe longitudinale
- b) coupe transversale

PM006/77

Annexe

