



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS

34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 589 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2240-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 460382 - I

H4.SMR/193 - 56

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".
(26 août - 11 septembre 1986).

"REALISATION ET ETUDE DE CHAUFFE EAU SOLAIRE".

Mahama Yves Traore
Institut Burkinabé de l'Energie
Ouagadougou, Burkina Faso

Ces notes de recherche provisoires, sont destinées aux participants. Eventuellement, d'autres copies seront disponibles au bureau 231.



1. Rappels sur les modes de transfert de chaleur

Le transfert de chaleur correspond à une transmission d'énergie entre deux zones d'un système. Ce passage de chaleur peut se faire de trois manières :

1.1. La conduction

Elle se fait à l'intérieur de la matière macroscopiquement immobile par interactions entre molécules (collisions). Le flux de chaleur Q échangé est proportionnel au gradient de température $\frac{dT}{dx}$, et à la surface A à travers laquelle s'effectue ce transfert de chaleur comme le montre la loi de Fourier:

$$Q = A \frac{dT}{dx} \cdot k \quad (1.1)$$

Le coefficient de proportionnalité

k est la conductivité thermique de la matière à l'intérieur de laquelle s'effectue ce transfert de chaleur.

1.2. Le rayonnement

Le rayonnement d'énergie se fait sous forme électromagnétique. Le flux de chaleur de la surface émettrice vers l'extérieur est donné par la relation de Stéphan.

$$Q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (1.2)$$

avec ϵ , émissivité de la surface (dépend de la matière)
 $0 < \epsilon < 1$

$$\sigma = \text{Cte de Stéphan} = 5.67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

T : température de la surface en K.

.../...

.../...

Le chauffe-eau est un des produits solaires le plus développé car sa technologie est au point et les services rendus sont appréciables. Plusieurs types de chauffe-eau solaires existent sur le marché à des prix divers ; dans le présent rapport il sera question de chauffe-eau destinés aux familles à faible ou moyen revenu, réalisés à partir d'un fût métallique de 120 l dans un coffrage isolé, ouvert le jour et fermé la nuit ; deux modèles de chauffe-eau de ce type ont été fabriqués et testés à l'I.V.E. : nous les avons dénommés, chauffe-eau fût bois et chauffe-eau fût métallique du fait de la nature de leurs coffrages respectifs.

1.3. La convection

Ceci correspond à un transfert d'énergie par déplacement de matière. La convection ne peut avoir lieu que dans les fluides. Le flux de chaleur échangé est donné par la relation de Newton.

$$Q = h \cdot A (T_p - T_f) \quad (1.3)$$

avec T_p = température de la paroi

T_f = température du fluide.

h = coefficient de convection, dépendant de la forme de la surface, de la vitesse de circulation du fluide autour du corps et de $(T_p - T_f)$.

1.4. Absorption, réflexion et transmission du rayonnement

Lorsqu'un rayonnement atteint la surface d'un corps, il est partiellement absorbé, partiellement réfléchi et partiellement transmis. Les coefficients respectifs d'absorption, de réflexion et de transmission (α, ρ, τ) sont liés dans les mêmes conditions par la relation:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1.4)$$

Les corps opaques ne transmettent pas de rayonnement, d'où

$$\alpha + \rho = 1 \quad (1.5)$$

Les surfaces parfaitement lisses ou polies ont une réflexion spéculaire (cas du miroir). Les surfaces rugueuses réfléchissent elles de manière diffuse. Pour les matériaux semi-transparents (verres, plastiques) il faut définir ces coefficients pour des domaines de longueur d'onde déterminés. L'effet serre, pour le verre illustre cette propriété : le verre est transparent aux rayonnements pour lesquels $\lambda < 3 \mu\text{m}$ et opaque au dessus (rayonnement infra-rouge).

1.5. Loi du corps noir et loi de Kirchoff

Le corps noir est un corps bon absorbeur du rayonnement solaire ($\alpha = 1$) mais c'est aussi le corps qui rayonne le maximum d'énergie thermique à chaque température et longueur d'onde considérées. Il sert d'étalon de rayonnement. Emetteur parfait, c'est le corps idéal fournissant la puissance rayonnée la plus élevée dans des conditions données. Son émissivité est $\epsilon = 1$.

L'étude thermodynamique montre en effet que l'émittance M du corps noir est égal à :

$$M = \sigma T^4 \quad (1.6)$$

L'émittance du corps noir n'est donc fonction que de la température de ce dernier.

Placés dans les mêmes conditions que le corps noir, le corps réels ont une émittance inférieure.

$$M = \epsilon \sigma T^4 \quad (1.7)$$

ϵ est ici fonction de la température, de la longueur d'onde et de la direction $\epsilon = \epsilon(\lambda, T, \theta)$ (1.8)

Les corps réels obéissent à la loi de Kirchoff ; leur coefficient d'absorption $\alpha(\theta, \lambda, T)$ et leur émissivité sont égaux dans les mêmes conditions.

$$\alpha(\theta, \lambda, T) = \epsilon(\theta, \lambda, T) \quad (1.9)$$

Il ressort donc qu'un bon absorbeur est également un bon émetteur dans les mêmes conditions.

Un corps dont le comportement est différent selon le domaine de longueur d'ondes considérés est un corps sélectif.

2. Les chauffe-eau fûts

2.1. Approche du problème

L'idée de base est de réaliser un chauffe-eau de faible coût dont la production peut être artisanale, voir même à la portée de tout un chacun. Contrairement au cas courant des chauffe-eau solaires où le capteur et la réserve d'eau chaude sont séparés, nous avons pensé à un chauffe-eau où les deux fonctions seraient assurées par un même élément ; nous avons ainsi réalisé des chauffe-eau à partir d'un fût métallique de forme cylindrique de 120 l, disponible sur les places du marché.

Conformément aux théories des paragraphes précédents, ce fût peint en noir peut servir à élever la température de l'eau qu'il contient ; on réalise ainsi un modèle de chauffe-eau solaire élémentaire. Une étude sommaire de ce système a été faite et nous donnons ci-dessous les résultats obtenus : ils concernent les mesures de rayonnement solaire incident sur le chauffe-eau, et de température d'eau. Ces mesures ont été faites sur un fût dont la génératrice est dans la direction Est-Ouest. Les mesures de rayonnement solaire se limitent à celle du global horizontal et du vertical sur un plan sud ; elles sont faites à l'aide d'une cellule solaire étalonnée de type SOLAREX.

Les mesures de température sont faites sans tirage d'eau et à l'aide de sondes placées en parties haute et basse à l'intérieur du fût ; on a ainsi une idée de la stratification de la température de l'eau à l'intérieur du fût.

Toutes ces mesures ont été effectuées pendant la journée du 6/4/1983, de 7H30 à 17H avec interruption de 12H30 à 15 H (figure 2.1.) . De cette figure on peut déduire pour cette journée que :

- * le rayonnement solaire a pour valeurs maximales

$G_H \text{ max} = 812 \text{ W/m}^2$	entre 10H30 et 11H30
$G_{\perp S} \text{ max} = 421 \text{ W/m}^2$	à 8H30

.../...

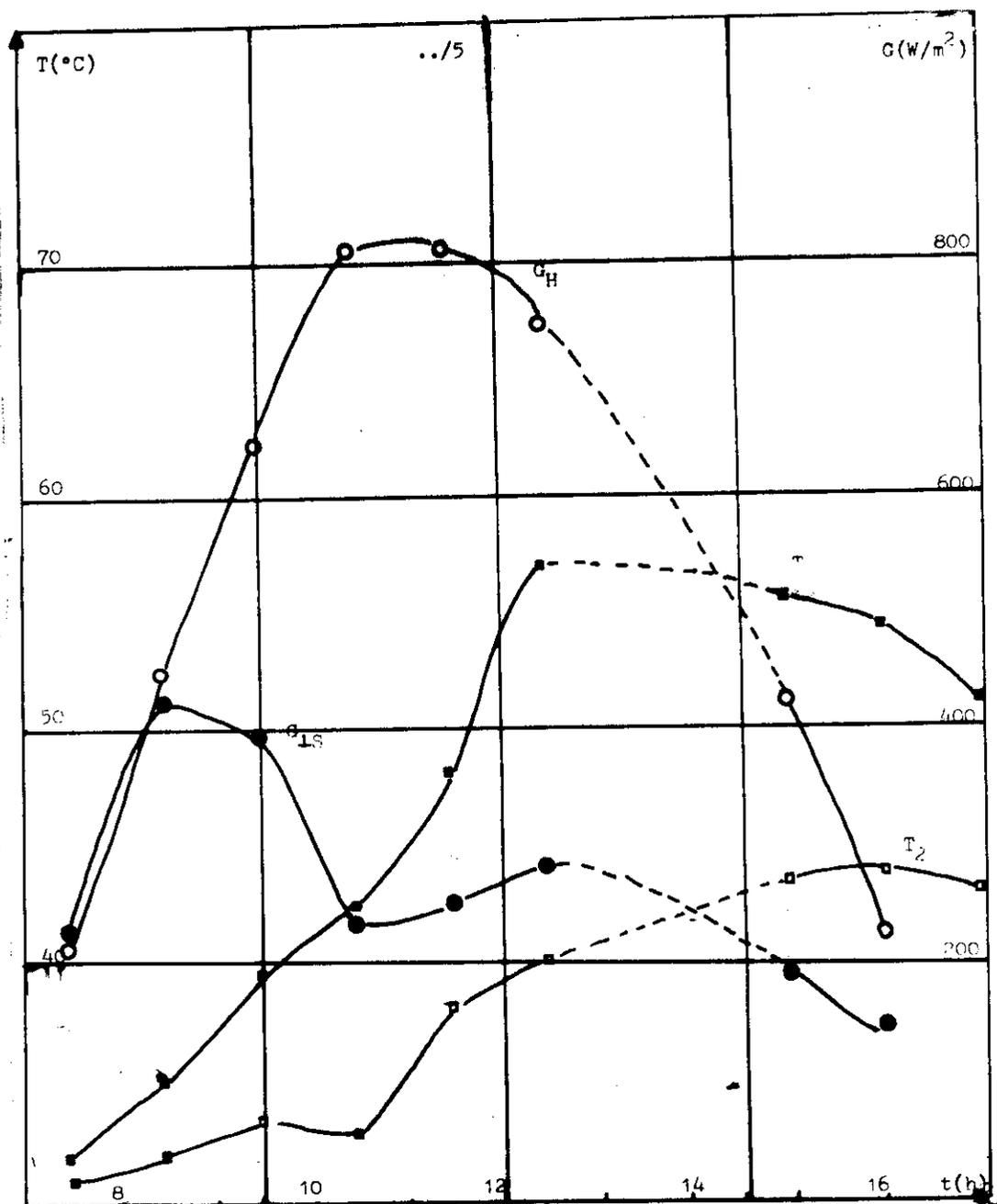


Figure 2.1: Rayonnement solaire et températures sur le chauffe-eau fût élémentaire (journée du 6/4/1983)

G_H : rayonnement solaire global horizontal

$G_{\perp S}$: rayonnement solaire sur le plan vertical sud

T_1 et T_2 : températures en parties haute et basse du fût.

Il est à noter que ces mesures rayonnement solaire ne donnent qu'une idée de l'énergie incidente sur le chauffe-eau, étant donné que celle-ci est fonction de plusieurs autres facteurs atmosphériques (vitesse du vent, hygrométrie ...). Pour une température d'eau à l'entrée de l'ordre de 31°C, les températures maximales obtenues sont respectivement pour les parties haute et basse à l'intérieur du fût :

- T₁ = 57°C à 12H30
- T₂ = 43°C à 16 H.

De cette étude on peut tirer les conclusions suivantes : Les niveaux de température obtenus montrent que le chauffe-eau ainsi réalisé peut servir à la fourniture d'eau chaude domestique dans la journée. Il est cependant illusoire d'espérer obtenir de l'eau chaude le lendemain matin, étant donné que le système n'est pas isolé ; de ce fait il y aura en effet un équilibre thermique entre la température du système et celle du milieu environnant au cours de la nuit. Pour palier à ces inconvénients, nous avons apporté des modifications de configuration à ce chauffe-eau, lesquelles conduisent au modèle de chauffe-eau fût.

2.2. Description des chauffe-eau fûts

Afin de réduire les pertes de chaleur aussi bien nocturnes que diurnes les modifications suivantes sont apportées au chauffe-eau précédent :

Le fût est logé dans un coffrage de forme parallélépipédique fonctionnant ouvert le jour et fermé la nuit et dont les parois sont isolées soit à l'aide de mousse de polyuréthane soit à l'aide de bois. Ce coffrage comporte des parois vitrées permettant un effet serre et contre lesquelles s'appliquent des portes amovibles ou ouvertures. Ces portes sont isolées comme ci-dessus indiquées mais sont recouvertes en plus, d'aluminium sur leur face intérieure (côté vitre) servant d'une part à renforcer le rayonnement solaire sur le fût, d'autre part à réfléchir le rayonnement solaire infrarouge réémis par ce dernier, réduisant alors les pertes de chaleur. Etant donné que plus le fût est chaud et plus il rayonnera de la chaleur, un compromis est à trouver au niveau du nombre

.../...

.../...

d'ouvertures. Pour ce faire nous étudions en parallèle deux chauffe-eau fût avec quatre ouvertures pour le bois et deux pour le métallique. Ils sont présentés ci-dessous:

2.2.1. Chauffe-eau fût bois

Les ouvertures sont en bois de 5 cm d'épaisseur, recouvert par du papier aluminium. Le fond du coffrage et la face par laquelle se font les entrée -sortie d'eau sont isolés par 5 cm de mousse de polyuréthane. (Figure 2.2.).

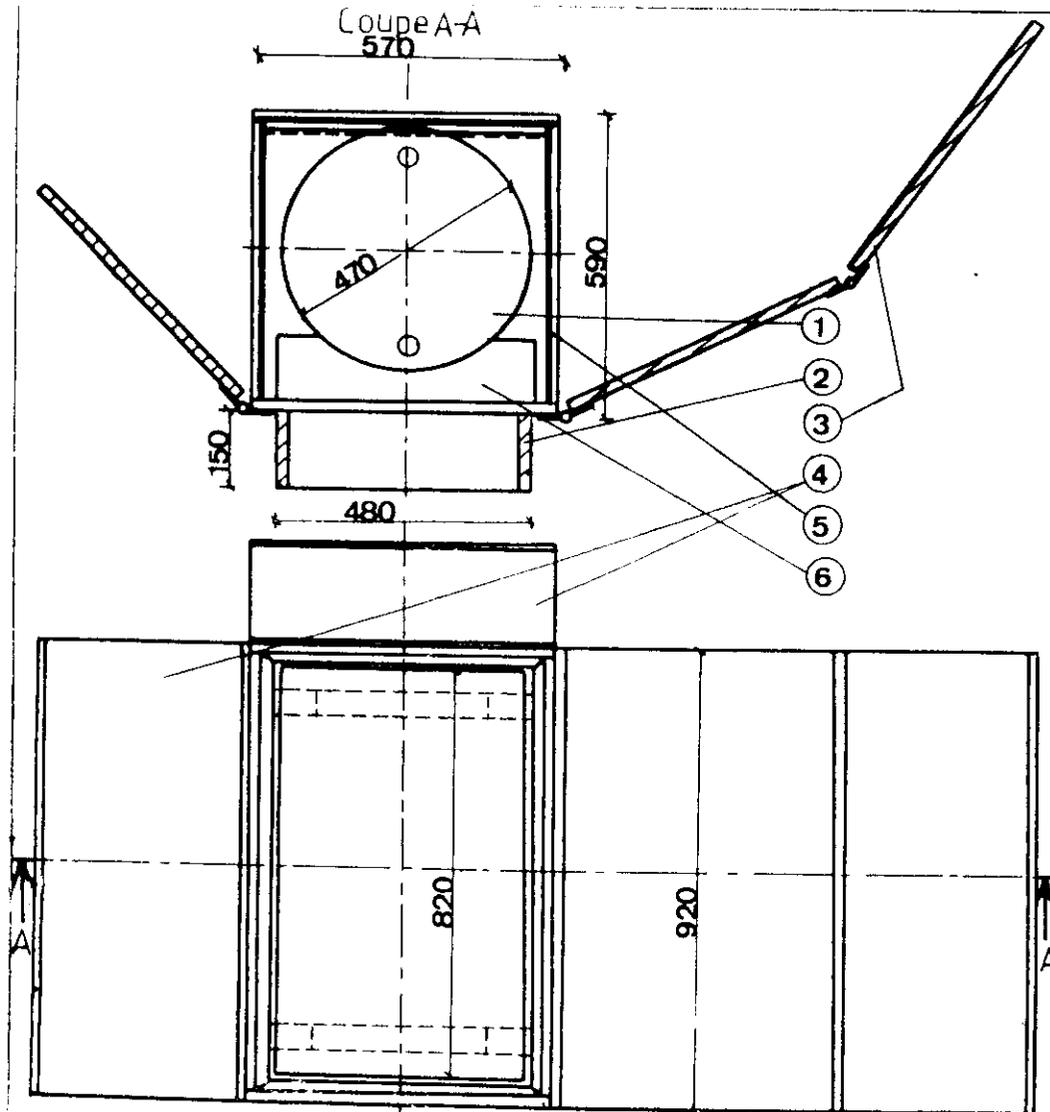
2.2.2. Chauffe-eau fût métallique

Le coffrage est en tôle ondulée galvanisée que nous avons dépliée. Les ouvertures et les autres faces du chauffe-eau sont isolées par 5 cm de mousse de polyuréthane. Les réflecteurs sur les ouvertures sont constitués de la même tôle ondulée dépliée. (Figure 2.3).

3. Résultats expérimentaux

En vue de pouvoir comparer les résultats obtenus sur les deux chauffe-eau, nous avons essayé de les réaliser le plus similaires possibles, et de les mettre dans les mêmes conditions expérimentales. Les mesures effectuées sont des mesures de rayonnement solaire global horizontal et vertical sur les diverses ouvertures de ces chauffe-eau, et des mesures de températures ambiante, d'eau à l'entrée, en parties haute et basse du fût et d'absorbeur. Les sondes de température sont placées aux mêmes endroits sur les deux chauffe-eau, à savoir à 5 cm, et 45 cm de la génératrice supérieure du fût pour T₁ et T₂ et au milieu de cette même génératrice pour T_{abs}.

.../...



06	2	Patiers	bois samba	blanc
05	4	Vitres	verre	ordinaire
04	2	Ouvertures solitaires	—	—
03	1	Double-ouverture	—	—
02	1	Soie	contre-plaque	blanc
01	1	Fût-réservoir	toile d'acier	noir
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations

INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE OUAGA

Echelle 1/100

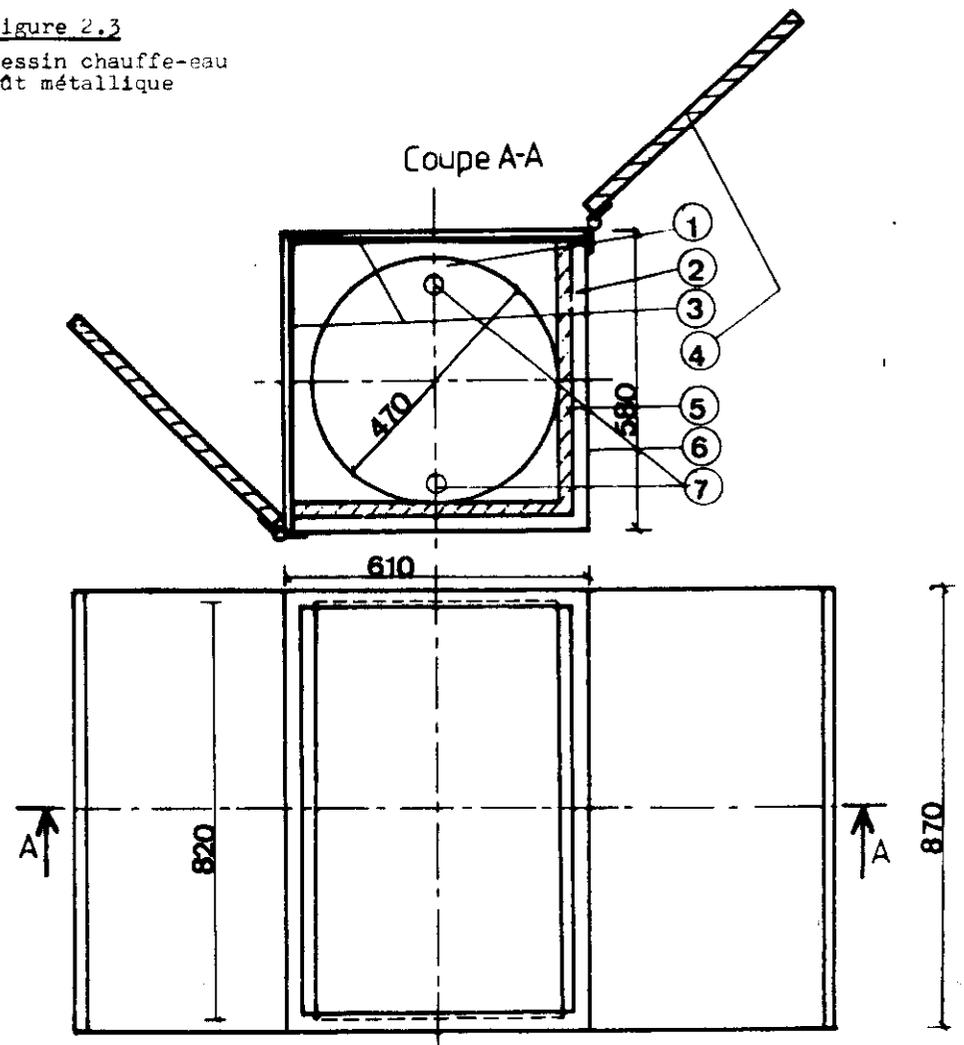
Chauffe-eau fût bois I.V.E.01AD-YT 82

O. Philippe

Le 18/10/1983

Figure 2.3

Dessin chauffe-eau
fût métallique



07		Manchons	acier galva	15/21, 20/27
06		Tôles	zinc	ondulées
05		Isolants	polyuréthane	en plaques
04		Ouvertures	bois-toile-poly	cadre en bois
03		Vitres	verre	ordinaire
02		Cadre métallique	Profils en acier	anti-rouille
01	1	Fût-réservoir	toile d'acier	noir
Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observations

INSTITUT VOLTAIQUE DE L'ENERGIE OUAGA

Echelle 1/100

Chauffe-eau fût métal I.V.E.02 AD 82

O. Philippe

Le 18/10/1983

Ces mesures ont été effectuées dans un premier temps sans tirage d'eau dans la journée et dans un second temps nous avons simulé une utilisation réelle du chauffe-eau, c'est à dire avec divers tirages dans la journée. Les autres paramètres intervenant dans l'étude des chauffe-eau sont l'orientation de celui-ci (Nord-Sud, Est-Ouest) et la présence ou non des réflecteurs. Nous présentons ci-dessous différents résultats obtenus.

3.1. Mesures effectuées d'Avril à Mai 1983

Ces mesures ne concernent que le chauffe-eau fût bois qui seul était prêt en ce moment. Dans un premier temps on étudie les niveaux de températures obtenus avec ce chauffe-eau sans ouverture et dans un second temps on utilise les réflecteur

3.1.1. Mesures effectuées sur le chauffe-eau sans réflecteur (journée du 17/5/1983)

Ce chauffe-eau est orienté Nord-Sud avec l'arrivée d'eau du côté Nord. Nous étudions l'évolution temporelle de 7 H à 17 H du rayonnement solaire incident sur les faces du chauffe-eau (figure 2.4.) et celle de la température ambiante T_a , des températures d'eau en parties haute et basse du fût (T_1 , T_2) et d'absorbeur T_{abs} . (figure 2.5.).

Sur la figure 2.4 sont représentées les variations du rayonnement solaire horizontal G_H et vertical sur les faces Est, Ouest, Nord et Sud du chauffe-eau en fonction du temps (G_{1E} , G_{1O} , G_{1N} , G_{1S});

* le graphe de $G_H(t)$ est symétrique et atteint un maximum à 12 H, égal à 860 W/m^2

* les valeurs maximales de G_{1E} et G_{1O} sont :

$$G_{1E} = 519 \text{ W/m}^2 \quad (10 \text{ H})$$

$$G_{1O} = 525 \text{ W/m}^2 \quad (15 \text{ H})$$

.../...

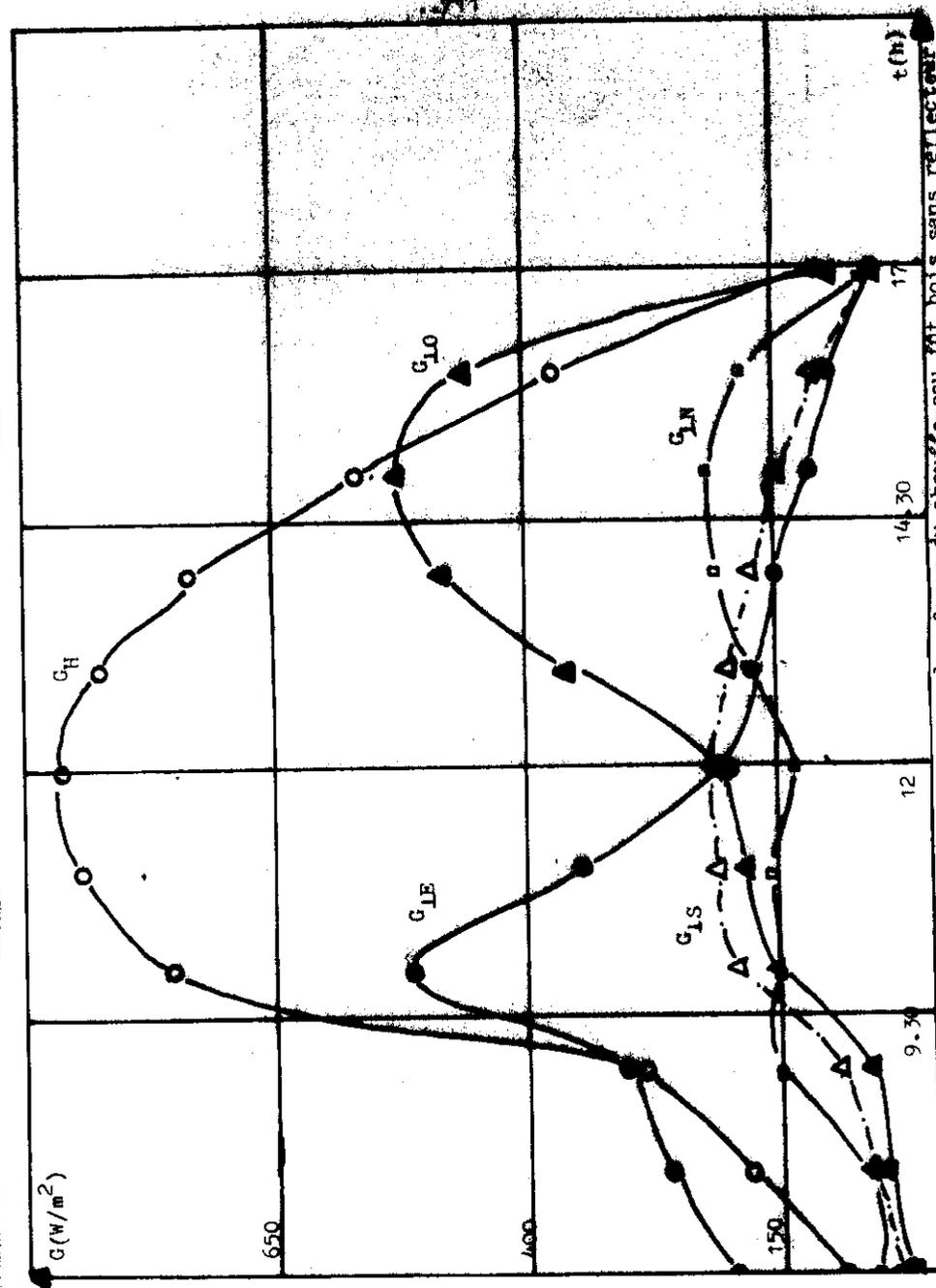


Figure 2.4: Rayonnement solaire incident sur les faces du chauffe-eau fût bois sans réflecteur (journée du 17/5/1983)

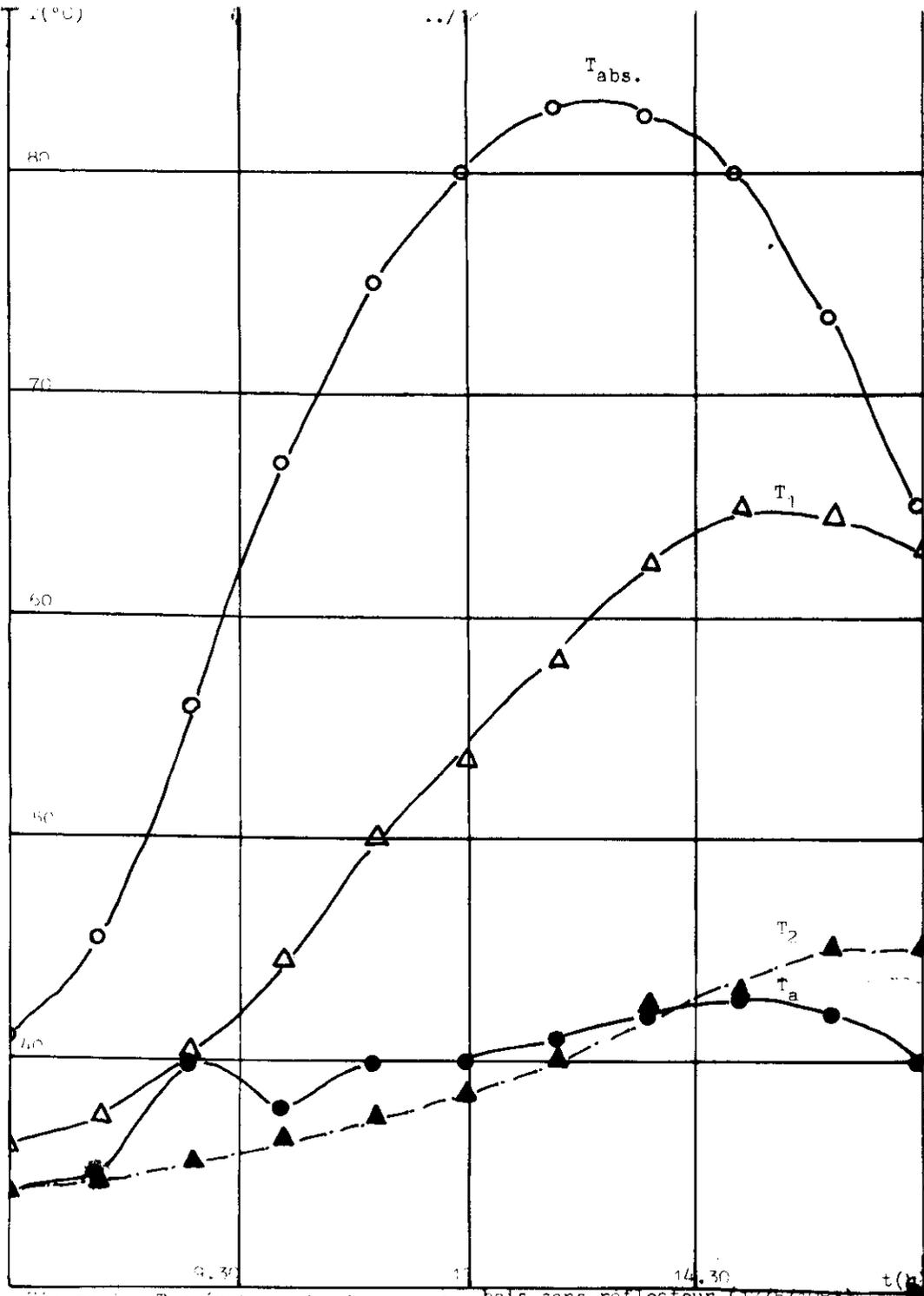


Figure 1.1: Température chauffe-eau bois sans réflecteur (17/5/85)

G_{IS} et G_{IN} ont des valeurs bien inférieures à celles de G_{IE} ou G_{IO} . Leurs valeurs maximales respectives sont de 212 W/m^2 et 218 W/m^2 à 12 H et 15 H.

Sur la figure 2.5, la température ambiante moyenne est de 38°C au cours de cette journée.

- * T_{abs} croît de façon monotone de 7 H à 13 H puis décroît jusqu'à 17 H.
- * L'évolution de T_1 est similaire, à savoir une croissance de 7 H à 15 H, puis une décroissance jusqu'à 17 H.
- * T_2 croît de 7 H à 16 H, puis demeure constante jusqu'à 17 H.

Les principales valeurs de températures obtenues sont données ci-dessous.

(	$T_{abs.}$ (7 H)	$T_{abs.}$ (17 H)	$T_{abs.}$ max	T_1 (7 H)	T_1 (17 H)	T_1 max.
(	41	65	83	36	63	65
{	°C					
}						

(	T_2 (7 H)	T_2 (17 H)	T_2 max.	T_{eau} (7 H)	T_{eau} /jour	ΔT
(	34	45	45	35	45	10
{	°C					
}						

A partir d'une eau à 35°C environ on arrive à élever sa température au cours de la journée jusqu'à 45°C , soit une élévation de 10°C environ ce qui est déjà appréciable.

.../...

Le chauffe-eau est fermé à 17 H où la température moyenne de l'eau est de 54°C. Les températures, le lendemain matin à 7 H et les écarts par rapport à celles de la veille sont donnés dans le tableau suivant :

T'_{abs} (7 H)	T'_1 (7 H)	T'_2 (7 H)	T'_{eau}	ΔT_{abs}	ΔT_1	ΔT_2	$\Delta \bar{T}'_{eau}$
45	44,5	36,5	40,5	20	18,5	8,5	13,5

La perte de température entre la veille à 17 H et le lendemain matin à 7 H est de l'ordre de 13 °5C ce qui semble relativement satisfaisant pour ce chauffe-eau.

3.1.2. Mesures effectuées sur le chauffe-eau muni de réflecteurs
Journée du 19/5/1983

Les réflecteurs sont en papier aluminium placés sur les faces Est, Ouest et Sud du chauffe-eau et les ouvertures correspondantes sont orientées de façon à recevoir le maximum de rayonnement solaire sur chacune de ces faces vers 11 H. Les mêmes mesures que précédemment sont faites.

Mesures de rayonnement (figure 2.6)

Les valeurs maximales mesurées sont les suivantes :

Valeurs max.	G_H (12H30)	G_{1E} (10H40)	G_{1O} (11H30)	G_{1S} (12H30)	G_{1N} (13H30)
G (W/m^2)	1011	1175	654	789,5	218

Nous constatons alors que les apports des réflecteurs sont appréciables au niveau ensoleillement. Au cours de la journée, c'est la face Est qui reçoit le plus d'ensoleillement

.../...

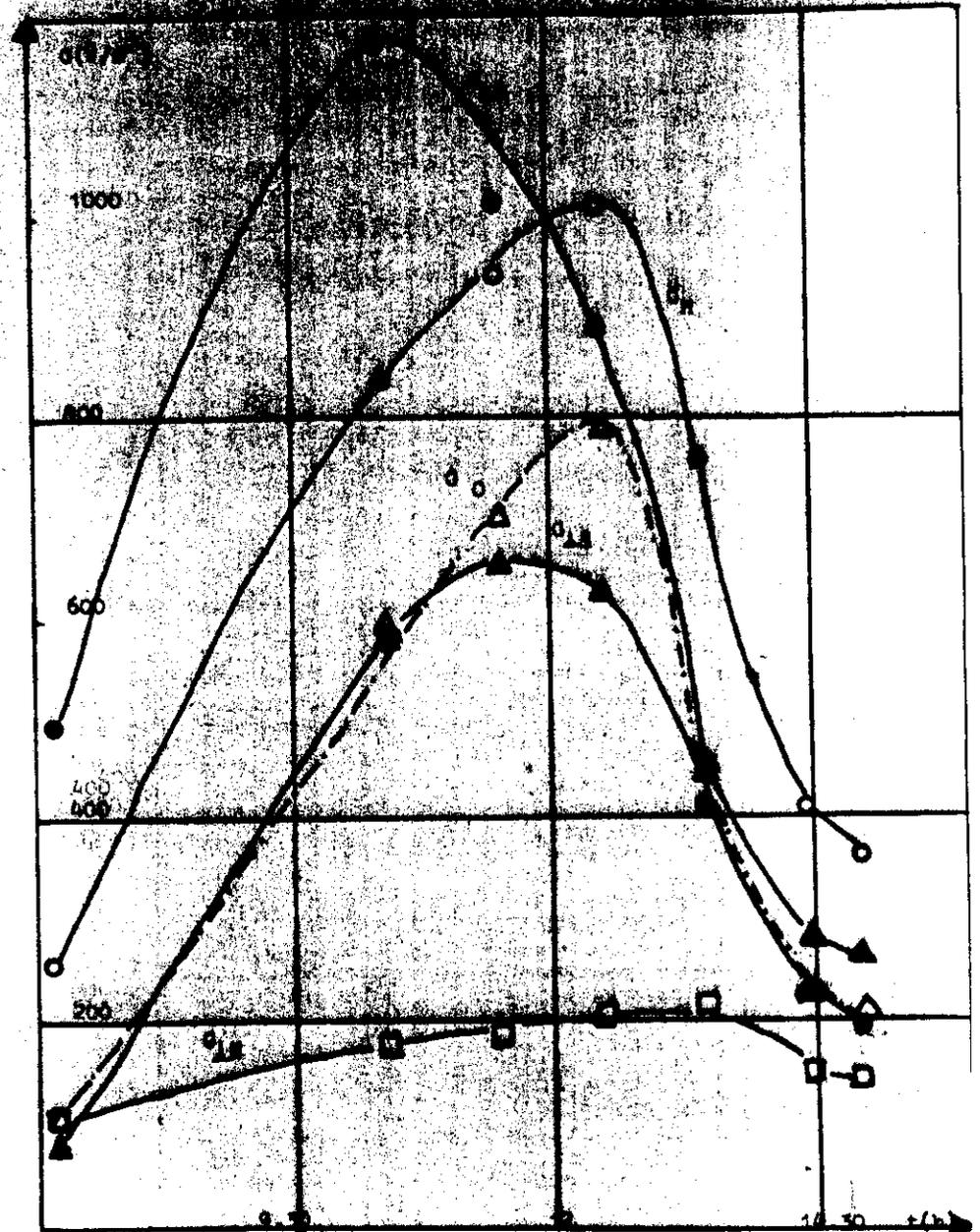


Figure 2.6: Rayonnement solaire incident sur les faces du chauffe-eau fût bois muni de réflecteurs (journée du 19/5/1983)

à cause de la double ouverture articulée sur celle-ci. Le rayonnement sur la face Sud se rapproche de celui sur la face horizontale. A l'exception de la face nord où il n'y a pas de réflecteur les apports solaires sur toutes les autres faces semblent équilibrés par rapport au cas où le chauffe-eau n'est pas muni de réflecteur.

- Mesures de températures (figure 2.7)

- * La température ambiante à une valeur moyenne de 36°C.
- * T_{abs} croît de façon monotone de 58,5°C à 7H15 jusqu'à 88,5°C à 12H30. Au delà, T_{abs} décroît pour atteindre 73°C à 15 H.
- * L'évolution de T_1 est semblable à celle de T_{abs} , à savoir une croissance de 7 H à 14H30 puis une décroissance jusqu'à 15 H.
- * T_2 croît régulièrement de 7 H à 15 H.

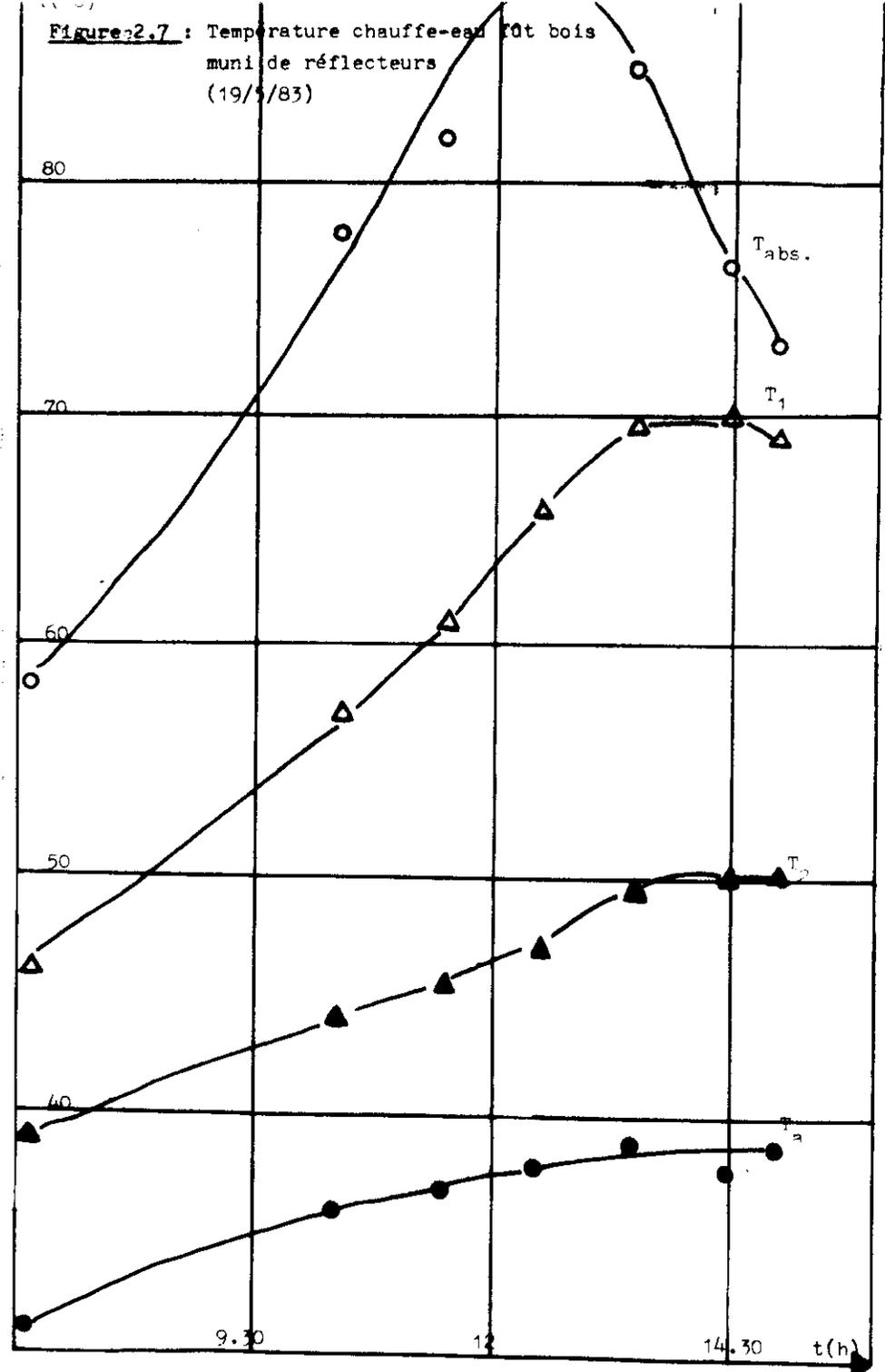
Les valeurs extrêmes obtenues pour ces températures sont consignées ci-dessous.

	$T_{abs}(7H15)$	$T_{abs}(15H)$	$T_{abs\ max.}$	$T_1(7H15)$	$T_1(15H)$	$T_1\ max.$	$T_2(7\ H\ 15)$	$T_2(15\ H)$
°C	58,5	73	88,5	46	69	70	39	50

	$T_{eau}(7\ H\ 15)$	$\bar{T}_{eau}/\text{jour}$	ΔT	$\bar{T}_{eau}(15\ H)$
(°C)	39,5	51,5	12	59,5

...../.....

Figure 2.7 : Température chauffe-eau fût bois muni de réflecteurs (19/1/83)



Les températures le lendemain matin à 7 H et les écarts par rapport à celles de la veille à 15 H sont données ci-dessous :

T	T _a	T _{abs}	T ₁	T ₂	T _{eau}	ΔT _{abs}	ΔT ₁	ΔT ₂	ΔT _{eau}
(°C)	31	52	52,	43	47,5	21	16,7	7,5	12

Ces mesures montrent que l'on obtient des niveaux de température relativement élevés dans le cas du chauffe-eau muni de réflecteurs que dans le cas où ceux-ci ne sont pas montés. Les différences de températures ne sont pas très énormes, mais l'absorbeur dans le premier cas étant à une température plus élevée que dans le second, les résultats obtenus seraient encore meilleurs si on effectuait des tirages d'eau chaude dans la journée.

3.2. Mesures effectuées de Juillet à Septembre 1983

Ces mesures ont été faites en parallèle sur les deux chauffe-eau fût. Les travaux réalisés en Juillet-Août ont été faits pour différentes orientations des chauffe-eau, et pour différentes ouvertures de portes, avec ou sans réflecteur ; elles nous ont permis de dégager un consensus quant à la disposition de ces chauffe-eau en cette période de l'année : l'orientation la plus favorable est Nord-Sud quand on utilise les réflecteurs, ce qui améliore les résultats par rapport au cas où on ne les utilise pas. Nous présentons ci-dessous les résultats ainsi obtenus, sans ou avec tirages d'eau chaude dans la journée.

3.2.1. Mesures effectuées avec réflecteurs et sans tirage d'eau (journée du 2/9/1983)

L'orientation des chauffe-eau est Nord-Sud avec l'arrivée d'eau froide du côté nord pour le chauffe-eau fût métallique et du côté Sud pour le chauffe-eau fût bois.

- Mesures de rayonnement solaire (figure 2.8)

Sont représentés sur cette figure les graphes d'évolution

.../...

a)

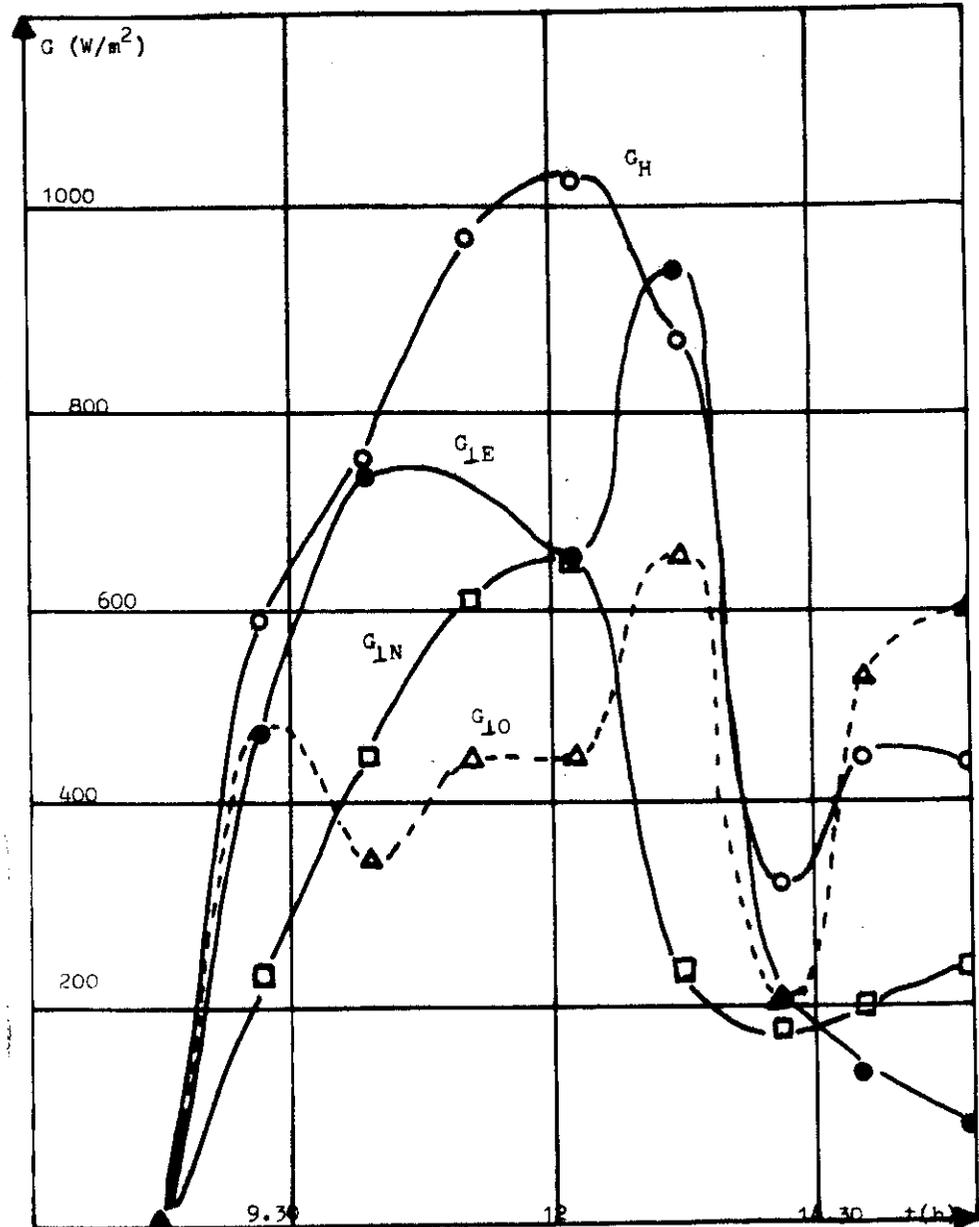
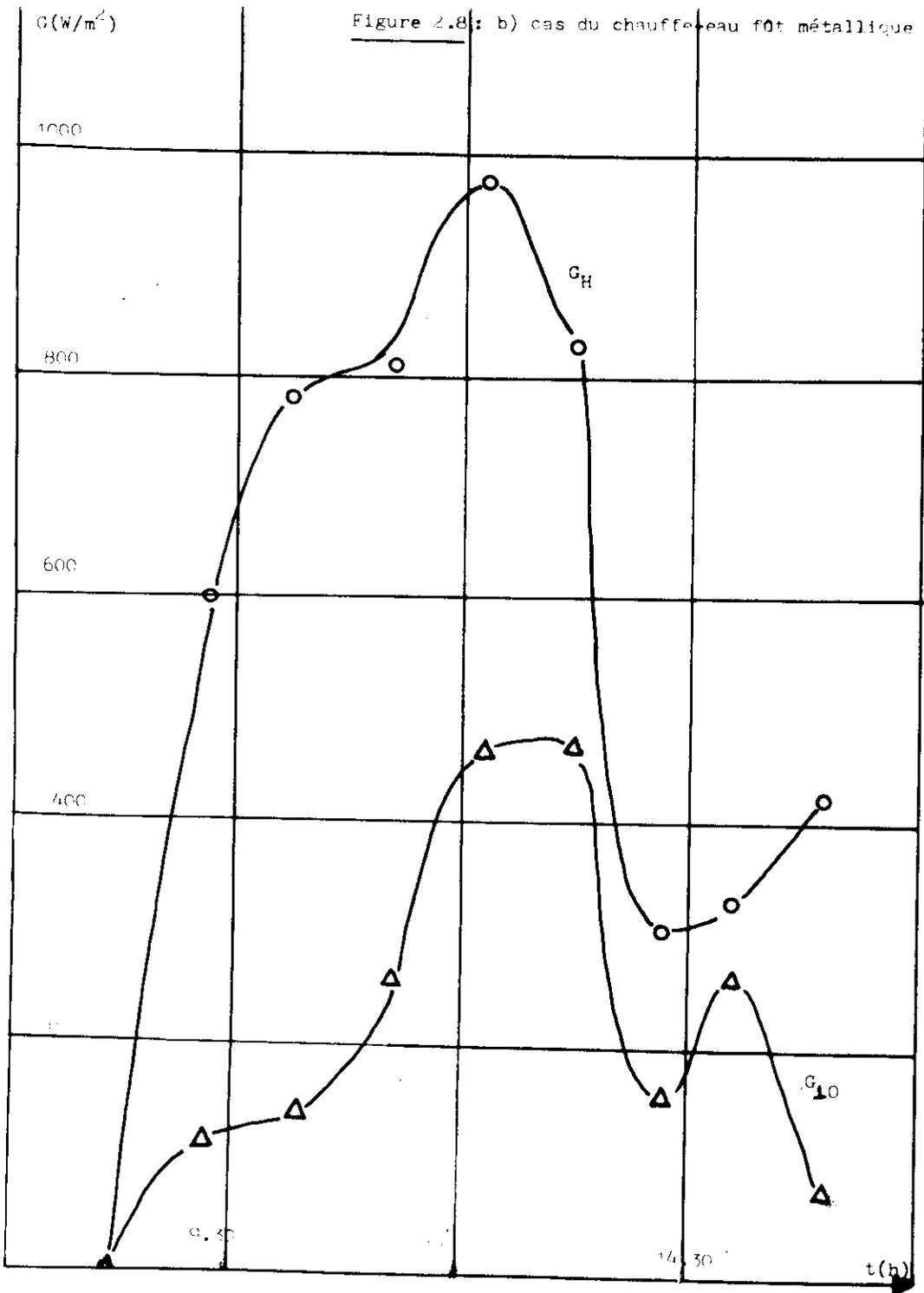


Figure 2.8: Rayonnement solaire incident sur différentes faces des chauffe-eau fûts munis de réflecteurs (journée du 2/9/83)
a) cas du chauffe-eau fût bois



temporelle du rayonnement solaire global horizontal et vert sur les faces des chauffe-eau munies de réflecteurs. Dans deux cas, les faces Sud des chauffe-eau ne sont pas insolarées d'où l'absence de mesure de G_{1S} .

Le rayonnement global passe par un maximum égal à 1022 W/m^2 à 12H15. Le minimum observé à 14H15 est dû à un passage nuageux important.

Dans l'ensemble la répartition du rayonnement incident sur les différentes faces des chauffe-eau semble équilibrée.

- Mesures de températures (Figure 2.9)

La température ambiante au cours de cette journée de mesures a une valeur moyenne de 32°C . Les températures extérieures d'absorbeurs et d'eau sont consignées dans le tableau ci-dessous.

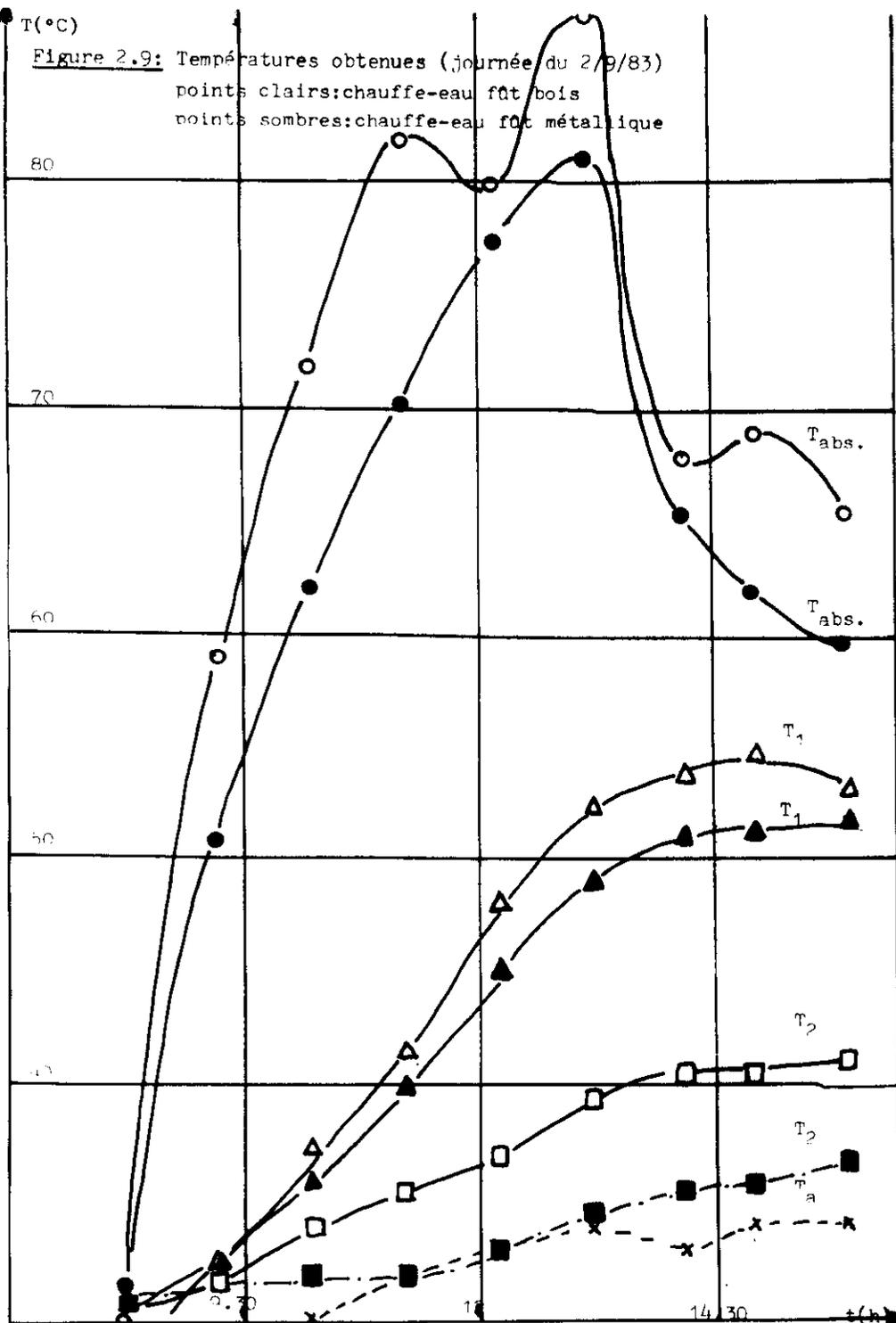
	T _{abs.} (8H15)	T _{abs.} (16H)	T _{abs.} max.	T ₁ (8H15)	T ₁ (16H)	T ₁ max.	T ₂ (8H15)	T ₂ (16H)	T ₂ max.	T _{eau} à l'entrée	T _{eau}
ch. eau fût bois	30°	65°5	87°	28°5	53°	54°5	30°5	41°	41°	29°4	30°
ch. eau fût méta.	31°5	59°7	81°	30°5	51°5	51°5	31°	36°7	36°7	30°75	30°

Les températures obtenues sont plus élevées dans le cas du chauffe-eau fût bois que dans le second.

3.2.2. Mesures effectuées avec réflecteurs et tirages d'eau (journée du 7/9/1983)

Nous simulons l'utilisation réelle des chauffe-eau en effectuant les tirages d'eau suivants :

- 1er tirage 100 l à 7H30
- 2è " 65 l à 10 H
- 3è " 100 l à 12 H
- 4è " 100 l à 14 H
- 5è " 120 l le lendemain matin à 7H30.



- Mesures de rayonnement solaire (figure 2.10)
- Mesures de température (figure 2.11)

* La température ambiante moyenne est de 32°C environ au cours de cette journée de mesures.

* Les quantités et températures d'eau tirée et à l'entrée sont consignées ci-dessous :

T (°C) tirage	1er tirage (100 l)	2è tirage (65 l)	3è tirage (100 l)	4è tirage (100 l)	Total (365 l)
$T_{\text{eau entrée}} (°C)$					
ch. eau fût bois	34	42,5 33,5	45 34,5	43 34,5	41,5
ch. eau fût métallique	35,2	39 33,5	37,6 34,5	40,5 34	38

Le lendemain matin on tire 120 l d'eau à 35,3 sur le chauffe-eau fût bois et à 35°C sur le chauffe-eau fût métallique.

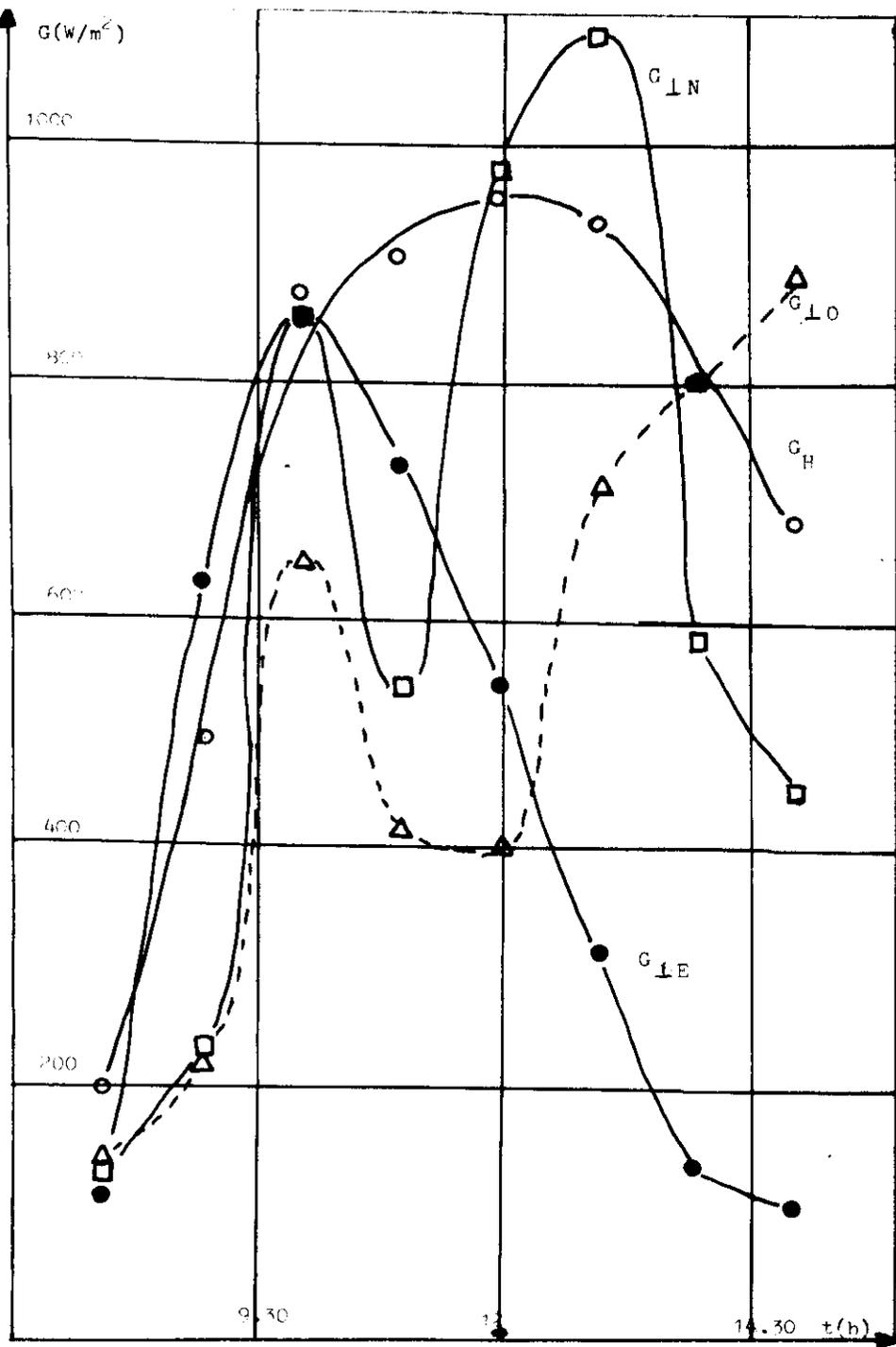


Figure 2.10: Rayonnement solaire incident sur différentes faces des chauffe-eau f0ts munis de réflecteurs (7/9/1985)

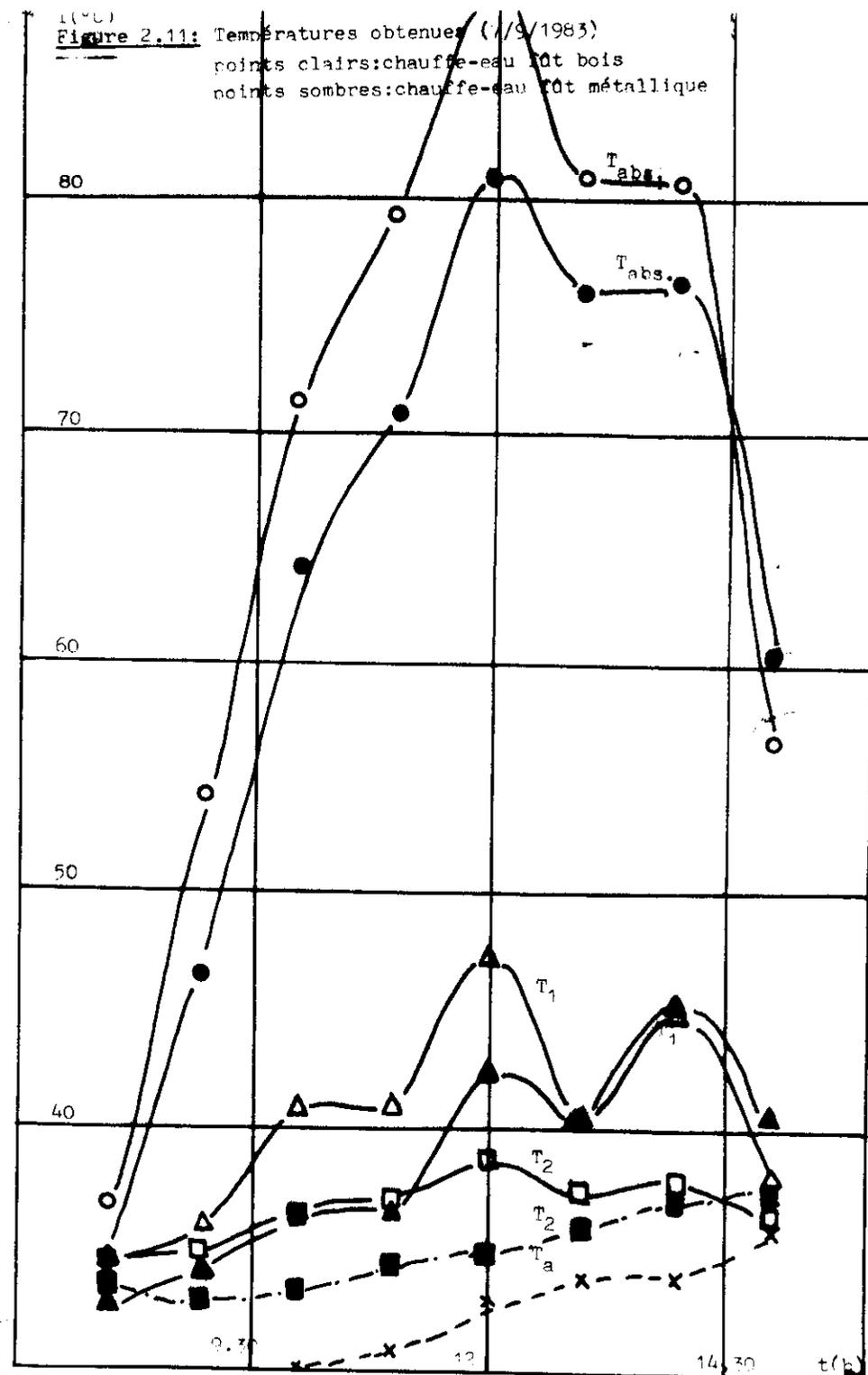


Figure 2.11: Températures obtenues (7/9/1985)
 points clairs: chauffe-eau f0t bois
 points sombres: chauffe-eau f0t métallique

CONCLUSIONS

Au terme de cette étude, nous pouvons dire que l'on obtient de meilleurs résultats avec le chauffe-eau fût bois qu'avec le chauffe-eau fût métallique.

Les températures d'eau obtenues sont cependant faibles ($\sim 50^{\circ}\text{C}$) par rapport à celle de l'absorbeur ($\sim 80^{\circ}\text{C}$). Ceci traduit le fait que les pertes thermiques par réémission sont assez grandes. On pourrait les limiter en utilisant une double couverture ; les niveaux de températures nous semblent déjà suffisants pour les utilisations domestiques de l'eau chaude, et il ne serait alors pas justifié d'écarter les frais occasionnés par une seconde couverture transparente même si elle est en polyéthylène. Dans cette étude n'apparaît pas de calcul de rendement thermique comme on a l'habitude de le faire dans le cas des capteurs plans. Il est en effet très difficile d'évaluer ce rendement dans notre cas, car la structure des chauffe-eau ne permet pas de déterminer sans trop d'approximations l'énergie solaire incidente : en effet, on ne sait pas quelles sont exactement les aires de réception du flux et par suite des réflexions multiples les flux solaires incidents se combinent entre eux. Quelle signification aurait alors une valeur de rendement calculée avec tant d'incertitude

Ces chauffe-eau ont été testés dans l'ensemble de Mai à Septembre. Il serait intéressant de les tester pendant la saison fraîche (Décembre-Janvier) où les besoins en eau chaude sont plus importants. On ne peut en effet pas transposer les résultats obtenus à d'autres périodes, les conditions atmosphériques étant toujours différentes, même d'une journée à la suivante.

BIBLIOGRAPHIE

WARD - G. MENGUY - M. SCHWARTZ

Énergie solaire
Transmission thermique et applications
Masson & Documentation-Paris 1980

NEE ABAMS H.W

Transmission de la chaleur
(Masson Dunod 1964)

FRANZ J. JAEGER

Conduction of Heat in solids
(Penguin Oxford)

ROBERT F.

Transmission de la chaleur et thermodynamique
(Masson 1978)

SACADURA S.F.

Introduction aux transferts thermiques
(Ed. Eyrolles 1978)

ROBERT & DRANE

Heat and mass transfert
(Ed. Masson & Documentation)

