



DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE
section Aérothermique

ETUDE THERMIQUE EXPERIMENTALE D'UN CAPTEUR
SOLAIRE DU TYPE MUR TROMBE

Par

B. Detuncq

E. Bilgen

Octobre 1980

No. EP-80-R-34

Ecole Polytechnique de Montréal

CA2PQ
UP 5
R80-34

Campus de l'Université
de Montréal
Case postale 6079
Succursale 'A'
Montréal, Québec
H3C 3A7

22 OCT 1980

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE
SECTION AEROTHERMIQUE

ETUDE THERMIQUE EXPERIMENTALE D'UN CAPTEUR
SOLAIRE DU TYPE MUR TROMBE

Don

Par

B. Detuncq
E. Bilgen

**À CONSULTER
SUR PLACE**

Octobre 1980

No. EP-80-R-34

SOMMAIRE

La première partie de ce travail consiste en une brève description du système "Mur Trombe", de son mode de fonctionnement ainsi qu'un court rappel des équations régissant les types de transfert thermique impliqués. Ensuite on décrit l'organisation matérielle du travail expérimental comprenant: la liste des appareils, l'utilisation qui en a été faite et la liste de la prise de mesure. Les résultats expérimentaux viennent ensuite accompagnés d'une discussion et d'une conclusion.

REMERCIEMENT

Ce travail a été supporté financièrement par le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie Canada, subvention A-8659 et G-0257.

TABLE DES MATIERES

	Page
Sommaire	iii
Remerciements	ic
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Nomenclature	x
I - INTRODUCTION	1
1.1 Généralités	1
1.2 But	2
II - CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LES ECHANGES THERMIQUES	
2.1 Caractéristiques physiques de l'air et des différents matériaux	3
2.2 Echanges par thermosyphon	3
2.3 Echanges par convection libre	4
2.4 Echanges par conduction	6
III - TRAVAIL EXPERIMENTAL	
3.1 Organisation matérielle	7
3.2 Instrumentation	9
a) Mesure du rayonnement solaire global..	9
b) Mesure de température	10
c) Mesure d'écoulement de l'air.....	11
3.3 Procédure expérimentale	11
3.4 Résultats et discussion	12
a) Généralités	12
b) Capacité de stockage du mur Trombe ...	14
c) Chaleur transmise par thermosyphon ...	15
d) Chaleur transmise par convection	17
e) Influence d'un rideau thermique	17
IV - CONCLUSION	18
Bibliographie	21
Annexe 1 : figures	22
Annexe 2 : tableaux	70

LISTE DES FIGURES

No. de figure		Page
1	Photographies de l'extérieur et intérieur de SOLAB	23
2	Vue en plan de SOLAB	24
3	Vue en coupe de SOLAB au niveau du mur Trombe..	25
4	Vue en coupe d'un mur Trombe avec circulation d'air l'hiver et l'été	26
5	Vue en coupe d'un mur Trombe utilisé avec système de coordonnées	27
6	Vue en coupe du mur Trombe utilisé avec position des thermocouples	28
7	Position des pyranomètres	29
8	Position de la sonde d'anémométrie	30
9	Vue en coupe du mur Trombe utilisé avec rideau thermique	31
10	Courbes du rayonnement solaire pour le 13-2-79	32
11	" " " " 1e 14-2-79	33
12	" " " " 1e 15-2-79	34
13	" " " " 1e 20-3-79	35
14	Courbe de la transmissivité du vitrage versus l'angle d'incidence	36
15	Courbes de la température extérieure et de la température de la pièce pour le 13-2-79 et le 14-2-79	37
16	Courbes de la température extérieure et de la température de la pièce pour le 15-2-79 et le 16-2-79	38
17 à 22	Courbes de la température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur	39

No. de figure	Page
23	Courbes de la température du vitrage interne en fonction de la hauteur 45
24	Courbes de la température de la plaque noire en fonction de la hauteur 46
25	Courbes de la température de la surface interne du mur en fonction de la hauteur 47
26 à 29	Distribution de la température dans le mur Trombe à 3 niveaux différents 48
30 à 36	Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B) 52
37	Energie thermique stockée dans le mur Trombe à chaque heure 59
38 à 41	Profil de température et de la vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm 60
42	Variation de la température moyenne et du débit de l'air dans la serre au niveau 124 cm 64
43	Nombre de Nusselt versus nombre de Grashof ... 65
44	Courbes des températures extérieure, de la pièce, de la plaque noire au niveau 170 cm et de l'air dans la serre au niveau 124 cm pour le 20-3-79 66
45	Courbes du flux de chaleur en fonction de la hauteur pour le 20-3-79 67
46	Convection libre entre la surface interne du mur et l'air de la pièce 68
47	Température des surfaces interne et externe du mur capteur au niveau 170 cm 69

LISTE DES TABLEAUX

No. de tableau		Page
I	Mesure du rayonnement global	71
II	Angle d'incidence du rayonnement solaire direct	72
III	Température de la pièce et température extérieure	73
IV	Température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur	74
V	Température du vitrage intérieure et extérieure	75
VI	Température de la surface externe (noire) du mur	76
VII	Température de la surface interne du mur ..	77
VIII	Distribution de la température dans le mur au niveau 170 cm (bloc B) pour les 13 et 14 février	78
IX	Distribution de la température dans le mur au niveau 170 cm (bloc B) pour les 15 et 16 février	79
X	Distribution de la température dans le mur au niveau 50 cm (bloc A-3) pour les 13, 14, 15 et 16 février	80
XI	Energie stockée dans le mur Trombe	81
XII	Profil de vitesse de l'air dans la serre le 13 février	82
XIII	Profil de vitesse de l'air dans la serre le 14 février	83
XIV	Profil de vitesse de l'air dans la serre le 15 février	84
XV	Profil de vitesse de l'air dans la serre le 16 février	85

No. de tableau		Page
XVI	Profil de température de l'air dans la serre le 13 février	86
XVII	Profil de température de l'air dans la serre le 14 février	87
XVIII	Profil de température de l'air dans la serre le 15 février	88
XIX	Profil de température de l'air dans la serre le 16 février	89
XX	Caractéristiques de l'air circulant dans la serre les 13 et 14 février	90
XXI	Nombre de Grashof et de Nusselt calculés à chaque heure les 13 et 14 février	91
XXII	Caractéristiques de l'air circulant dans la serre à différents niveaux pour le 20 mars ...	92
XXIII	Flux de chaleur de la surface noire à différents niveaux pour le 20 mars	93
XXIV	Transfert thermique entre la surface interne du mur et l'air de la pièce pour les 13 et 14 février	94
XXV	Transfert thermique entre la surface interne du mur et l'air de la pièce pour les 15 et 16 février	95

NOMENCLATURE

A_c	Surface du mur capteur (m^2)
A_s	Section droite de la serre (m^2)
A_v	Surface vitrée (m^2)
C_{pa}	Capacité thermique de l'air ($C_{pa} = 1012 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$)
C_{pb}	Capacité thermique du béton ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$)
D	Épaisseur du mur capteur (m)
d	Distance entre les vitrages (m)
Gr_H	Nombre de Grashof se rapportant à la hauteur du mur capteur (sans dimension)
Gr_L	Nombre de Grashof se rapportant à l'écartement entre le vitrage et le mur (sans dimension)
G	Rayonnement solaire global incident sur le vitrage extérieur (Watts h/m^2)
G_t	Rayonnement solaire global total incident sur le vitrage extérieur (Watts h)
g	Accélération de la pesanteur ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)
H	Hauteur du mur capteur (m)
h_c	Coefficient de convection dans la serre ($\text{Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
h_i	Coefficient de convection moyen sur la paroi interne du mur capteur ($\text{Watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
k_a	Conductivité thermique de l'air ($\text{Watts/m } ^\circ\text{C}$)
k_b	Conductivité thermique du béton ($\text{Watts/m } ^\circ\text{C}$)
L	Ecartement entre le mur capteur et le vitrage intérieur (m)
\dot{m}_a	Débit massique de l'air (kg/s)
m_b	Masse du béton (kg)

N	Nième journée de l'année
Nu	Nombre de Nusselt (sans dimension)
Pr	Nombre de Prandtl (sans dimension)
Q_b	Chaleur stockée dans le mur de béton (kJ)
Q_c	Transfert de chaleur entre le mur capteur et l'air de la pièce (Watts/m ²)
Q_{ct}	Transfert de chaleur total entre le mur capteur et l'air de la pièce (Watts)
Q_t	Chaleur absorbée par l'air dans la serre (Watts)
q_t	Chaleur absorbée par l'air dans la serre (Watts/m ²)
Ra_H	Nombre de Rayleigh se rapportant à la hauteur du mur capteur (sans dimension)
S	Rayonnement solaire global incident sur la surface noire du mur capteur (Watts h/m ²)
S_t	Rayonnement solaire global total incident sur la surface noire du mur capteur (Watts h)
ΔT	Différence de température (°C)
\bar{T}	Température moyenne de l'air dans la serre à un niveau donné (°C)
T_E	Température extérieure de la maison (°C)
T_p	Température moyenne de la pièce (°C)
TV-2	Température du vitrage intérieur (°C)
TV-4	Température du vitrage extérieur (°C)
T_{ob}	Température de référence du béton (°C)
T_{fi}	Température de l'air à l'entrée du capteur (°C)
T_{fo}	Température de l'air à la sortie du capteur (°C)
$T(X,t)$	Température dans le mur au point X et temps t (°C)
$T(0,t)$	Température de la surface noire du mur capteur (°C)

$T(D,t)$	Température de la surface interne du mur capteur ($^{\circ}\text{C}$)
TSV	Temps Solaire Vrai
V	Volume d'air circulant dans la serre (cm^3/s)
\bar{V}	Vitesse moyenne d'écoulement de l'air dans la serre (cm/s)
\dot{V}	Vitesse de l'air à chaque point de la serre (cm/s)

Symboles grecs

β	Expansion thermique de l'air ($1/^{\circ}\text{K}$)
δ	Déclinaison du soleil
ϵ	Emissivité
ν	Viscosité cinématique de l'air (cm^2/s)
ϕ	Latitude du lieu
ρ	Masse spécifique de l'air (kg/m^3)
θ	Angle d'incidence du rayonnement solaire direct.

I - INTRODUCTION

1.1 Généralités

Il existe deux grandes catégories de systèmes utilisant l'énergie solaire à basse température: les systèmes actifs et les systèmes passifs. Parmi ce dernier groupe les concepts différents sont très nombreux, mais certainement l'un des plus simples et des plus intéressants est celui développé en France par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et nommé "Mur Trombe", du nom de son inventeur.

Le système préconisé est constitué d'un mur de maçonnerie lourde, placé dans la pièce devant être chauffée, derrière un double vitrage et dont la surface exposée aux rayonnements solaires est peinte en noir. Des ouvertures sont aménagées à la base et au sommet du mur pour permettre la circulation de l'air entre la pièce et l'espace libre compris entre le vitrage et le mur (espace que l'on nomme la serre). La circulation naturelle de l'air par thermosyphon qui s'établit autour du mur lorsque celui-ci est chauffé par le soleil se combine au transfert thermique par rayonnement entre le mur et les autres parois ainsi qu'au transfert par convection libre entre la surface interne du mur capteur et l'air de la pièce pour participer au chauffage de celle-ci. Les figures (1 à 5) montrent en coupe le mur, la circulation de l'air et le système de coordonnées employé.

Possédant une masse importante, ce système sert en même temps de capteur et de stockage de l'énergie thermique pour une courte période de temps (pour une nuit par exemple). Un système de chauffage d'appoint est donc requis pour une habitation utilisant ce type de capteur.

La position verticale du mur lui confère le triple avantage d'être en même temps mur porteur de l'édifice, donc peu de modifications à apporter au design classique d'une maison, également de profiter au maximum de la faible déviation du soleil en hiver sous nos latitudes; et enfin d'accroître parfois de beaucoup l'insolation globale du mur grâce à l'albédo d'un sol enneigé.

1.2 But

Le but de cette étude est d'évaluer expérimentalement les caractéristiques de transfert thermique du capteur solaire "Mur Trombe". Ce travail fait partie d'un programme de recherche entrepris à l'Ecole Polytechnique de Montréal sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage des habitations, et fait suite au rapport technique intitulé: "Etude thermique d'un capteur solaire du type Mur Trombe" par R. Jeldres et E. Bilgen ¹. Dans ce rapport les auteurs exposent les principes théoriques d'une simulation sur ordinateur de capteur. Il est donc tout à fait normal qu'un travail expérimental soit entrepris pour tenter d'évaluer la justesse des hypothèses proposées dans ce modèle. Il faut ici mentionner que le transfert par rayonnement entre la face interne du mur capteur et les autres parois de la pièce fera l'objet d'un autre travail car la disposition actuelle des lieux entraînait trop de difficultés.

II - CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LES ECHANGES THERMIQUES

2.1 Caractéristiques physiques de l'air et des différents matériaux

Pour une plus grande précision, les caractéristiques physiques ont été déterminées à partir des valeurs compilées dans les tables de thermodynamique aux températures ponctuelles réelles et non pas aux températures moyennes d'opération du système.

2.2 Echanges par thermosyphon

L'écoulement de l'air dans l'espace compris entre le vitrage et le mur correspond à une convection naturelle entre deux plaques parallèles verticales dont une seule paroi est chauffée. Ce type d'écoulement n'a été jusqu'à présent que très peu étudié mais dans un travail récent (1977) au laboratoire du CNRS à Odeillo (France), Jagadish et al² ont proposé une relation expérimentale pour le transfert thermique entre deux plaques avec chauffage asymétrique valable pour:

$$6 \times 10^4 < Gr < 5 \times 10^7$$

$$Nu = 0.018 Gr_L^{0.56} \quad (1)$$

Dans cette relation la longueur caractéristique est prise comme étant l'écartement entre les plaques et le nombre de Grashof (Gr_L) est donc défini comme étant:

$$Gr_L = \frac{g\beta L^3 [T(0,t) - T_1]}{\nu^3} \quad (2)$$

Il faut noter que la corrélation (1) a été obtenue en supposant le flux de chaleur transféré de la surface noire du mur vers l'air circulant dans la serre comme étant constant en fonction de la hauteur.

Le coefficient de transfert thermique par convection (h_c) peut être déterminé à l'aide de l'équation suivante:

$$Nu = \frac{h_c L}{k} \quad (3)$$

Connaissant h_c il est alors possible d'évaluer la quantité de chaleur absorbée par l'air lors de son passage entre les plaques par la relation suivante:

$$Q_t = A_c h_c [T(0,t) - T_{1l}] \quad (4)$$

Cette procédure pour déterminer Q_t n'utilise que trois variables, ce sont les températures des deux plaques et la température moyenne de l'air au milieu de la serre. La méthode classique d'y arriver utilise pour sa part la valeur mesurée du débit d'air moyen dans la conduite ainsi que les températures aux entrées et aux sorties.

$$Q_t = \dot{m}_a C_{pa} [T_{fo} - T_{fi}] \quad (5)$$

En utilisant les équations (3), (4), (5) on peut déterminer expérimentalement la valeur de Nu et la comparer à celle obtenue par l'équation (1) pour une valeur de Gr donnée par l'équation (2).

2.2 Echanges par convection libre

Pour ce qui est des échanges convectifs entre la surface interne du mur et l'air de la pièce, ils peuvent être exprimés par la

relation suivante:

$$Q_c = h_i A_c [T(D,t) - T_p] \quad (6)$$

Le coefficient d'échange thermique par convection (h_i) dépend de la nature de l'écoulement, laminaire ou turbulent. Connaissant la valeur des nombres de Prandtl et de Grashof (exprimés en fonction de la hauteur du mur), il est possible de déterminer le nombre de Rayleigh.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (7)$$

$$Gr_h = \frac{g\beta H^3 [T(D,t) - T_p]}{\nu} \quad (8)$$

$$Ra_H = Gr_H Pr \quad (9)$$

Pour l'air on utilise:

$$Pr = 0.72$$

Les coefficients de convection ont été obtenus par les corrélations développées par R. Simonson ³ et V. Karlekar ⁴ :

$$\begin{aligned} \text{pour } 10^4 < Ra_H < 10^9 &\rightarrow \text{régime laminaire} \\ Nu &= 0.59 Ra_H^{1/4} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{pour } 10^9 < Ra_H < 10^{12} &\rightarrow \text{régime turbulent} \\ Nu &= 0.10 Ra_H^{1/3} \end{aligned} \quad (11)$$

Il ne reste plus alors qu'à déterminer la valeur de h_i par l'équation (3) et à l'utiliser dans l'équation (6).

2.3 Echanges par conduction

Etant donné la masse importante du mur et le type de matériau utilisé, la migration de la chaleur au travers lui se fera lentement, ce qui permet un certain stockage. Pour déterminer quelle quantité d'énergie calorifique est emmagasinée à chaque heure dans le capteur, il faut connaître la chaleur spécifique du béton ainsi que la température interne du mur que l'on comparera à une température de référence (T_{ob}), température à laquelle on considère que le mur est vide d'énergie thermique. Ces paramètres sont introduits dans l'équation (12):

$$Q_b = C_{pb} m_b [T(X,t) - T_{ob}] \quad (12)$$

III - TRAVAIL EXPERIMENTAL

3.1 Organisation matérielle

L'étude expérimentale du mur Trombe fut faite au laboratoire "SOLAB", maison prototype érigée sur le campus de l'Université de Montréal. A la figure 1 des photographies montrent l'édifice, son environnement lors du déroulement de l'expérience, l'emplacement du mur Trombe vu de l'extérieur et de l'intérieur, ainsi que la position de la sonde d'anémométrie servant à déterminer le débit massique de l'air. Sur la photographie de l'intérieur de la maison on voit au sommet du mur Trombe la couverture thermique enroulée dans la position de jour, également certains appareils de mesure qui ont été utilisés.

Les figures 6, 7 et 8 montrent le mur de face et en coupe en indiquant la position de certains appareils. Il a été érigé à l'aide de blocs de ciment pleins (81 blocs + 10 demi-blocs) avec une mince couche de mortier entre les blocs.

Caractéristiques physiques du mur

Largeur:	110 cm
Hauteur:	236 cm
Epaisseur:	40 cm
Distance du mur au vitrage:	11.5 cm
Aire des ouvertures à la base et au sommet:	
5 x 5cm x 19.3 cm =	480 cm ²
Aire totale d'un côté du mur:	2.5 m ²
Volume total du mur:	1.0 m ³
Capacité thermique du béton:	837.3 J/kg. °C
Densité du béton	2029.2 kg /m ³
Masse totale du mur:	2029.2 kg

Caractéristiques physiques du vitrage

Type de vitrage:	doubles verres trempés scellés
Epaisseur de chaque verre:	6.0 mm
Distance entre les deux verres:	1.25 cm
Hauteur du vitrage:	225.5 cm
Largeur du vitrage:	114.6 cm
Surface totale du vitrage:	2.58 m ²
Facteur U total:	2.78 W/m ² °C

A la base et au sommet du mur se trouvent des ouvertures pour permettre la circulation de l'air par thermosyphon. Au centre du mur un bloc de ciment est manquant; il a été remplacé par une lucarne

d'acrylic percée d'un trou (2.5 cm). Cet orifice servait pour l'introduction de la sonde d'anémométrie. La surface extérieure du mur est recouverte de peinture noire mat et celle intérieure de peinture bleue foncée mat. Le dessus du capteur ainsi que les deux côtés latéraux sont isolés à l'aide de "styrofoam" de 2 cm d'épaisseur.

Désirant connaître le comportement du capteur durant la nuit, il a été décidé d'installer un rideau thermique amovible tel que montré à la figure 9. Ce rideau est constitué d'un feutre épais (1 cm) dont la surface externe est recouverte d'un tissu de coton et sur la surface interne (face au mur Trombe) est collé un film de polyéthylène aluminisé servant de réflecteur pour le rayonnement infra-rouge provenant de la surface chaude du mur. Etant de fabrication artisanale, la valeur d'isolation thermique (R) du rideau ne peut être évaluée avec précision à l'aide des moyens disponibles.

3.2 Instrumentation

Etant donné la nature du système à évaluer il a été nécessaire d'utiliser plusieurs appareils différents. Ils sont décrits ci-après en faisant référence à leur fonctionnement et à leur positionnement.

a) Mesure du rayonnement solaire global

Appareil: pyranomètre EPPLEY PSP

+

Intégrateur 2 canaux LINTRONIC LIMITED

• Utilisation: rayonnement global incident sur le vitrage extérieur (G).

Le pyranomètre est monté verticalement à l'extérieur de la maison sur le

bord du toit.

- Rayonnement global incident sur la surface noire du collecteur (S).
Le pyranomètre est monté verticalement à l'intérieur de la maison au centre d'un vitrage similaire à celui du mur Trombe (voir figure 7).

b) Mesure de température

Appareil: thermocouples du type T (Cuivre - Constantan)

+

systeme d'accumulation de données (Scanner) de la
compagnie SCHLUMBERGER-SOLARTRON

- Utilisation: température aux entrées et sorties d'air du capteur.
Installés au milieu des deux conduites centrales.
- Température de l'air dans la serre: six thermocouples installés au milieu de la serre à des hauteurs différentes. Un thermocouple est fixé au bout de la sonde d'anémométrie (voir figure 6).
- Température du vitrage extérieur: un thermocouple est collé au milieu du vitrage.
- Température du vitrage intérieur: trois thermocouples sont collés sur le vitrage à des hauteurs différentes.
- Température intérieure de la pièce (T_p): un thermocouple suspendu au milieu de la pièce à 140 cm du sol.
- Température extérieure ambiante (T_E): un thermocouple suspendu à l'extérieur de la maison à l'abri du soleil et du vent.
- Température de surface et intérieure du mur: le bloc B est muni de 9 thermocouples noyés dans le ciment et de 2 de surface. Le bloc A-2

possède 3 thermocouples noyés dans le ciment et 2 de surface.

Le bloc A-3 possède 5 thermocouples noyés dans le ciment et 2 de surface (voir figure 6).

c) Mesure de la vitesse de l'écoulement de l'air

Appareil: anémomètre à fil chaud pour faibles vitesses

sonde Tungsten 0.00015 po. modèle 1210-T1.5

Dual Channel Linearized System modèle 1050-2C de

THERMO-SYSTEM INC.

- Utilisation: détermination du profil de vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm. Il y a 15 points de mesure sur la section (voir figure 8).

3.3 Procédure expérimentale

Désirant connaître le comportement du capteur de jour et de nuit ainsi que l'influence de la présence d'un rideau thermique pour isoler le mur Trombe la nuit, des mesures ont été faites sur plusieurs jours et nuits consécutifs: de 8:00 A.M. le 13 février 1979 à 10:00 A.M. le 14 février; de 8:00 A.M. le 15 à 12:00 A.M. le 16 février. Une autre série de mesures a été faite le 20 mars 1979 de 8:00 A.M. à 17:00 heure.

La liste de prise de mesures se déroulait comme suit. A chaque heure il y avait lecture de l'enregistrement du rayonnement solaire global à l'intérieur et à l'extérieur du double vitrage pour les 60 minutes écoulées; enregistrement du signal de tous les thermocouples utilisés pour les mesures de température; et enfin lecture de la vitesse de l'écoulement de l'air dans la serre à chacun des 15 points de

mesure pour en déterminer le profil dans la section.

La fréquence de mesure heure par heure n'est certainement pas la plus recommandée, surtout pour les périodes de changements rapides comme au lever et au coucher du soleil. Dû au fait qu'il n'était pas possible d'obtenir un enregistrement automatique des données, sauf pour les valeurs de rayonnement, on a du se contenter de ce rythme d'accumulation de données.

3.4 Résultats et discussion

a) Généralités

L'irradiation globale sur le plan vertical (face au sud) pour les journées du 13, 14, 15 février et du 20 mars 1979 est complétée heure par heure dans le tableau I et montrée aux figures 10 à 13. Le symbole τ est employé pour désigner la transmissivité totale du double vitrage et est calculé de la façon suivante:

$$\tau = \frac{S}{G} \quad (13)$$

Le tableau II donne l'angle d'incidence du rayonnement solaire direct (θ), l'angle horaire du soleil (ω) et la déclinaison du soleil (δ) pour la demie de chaque heure de mesure. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des équations:

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284+N}{365} \right) \right] \quad (14)$$

$$\omega = 15(12-TSV) \quad (15)$$

$$\theta = \cos^{-1} (-\cos\phi \sin\delta + \sin\phi \cos\delta \cos \omega) \quad (16)$$

Pour Montréal: $\phi = 45.5^{\circ}$

La figure 14 représente la variation de τ (calculé à partir du rayonnement global) en fonction de θ (angle d'incidence du rayonnement direct sur le capteur).

La température de la pièce (T_p) et la température extérieure (T_E), mesurées à chaque heure, sont compilées au tableau III et représentées par les figures 15 et 16. Le tableau IV et les figures 17 à 22 se rapportent à la mesure de température moyenne de l'air dans la serre en fonction de la hauteur (niveau). On constate que les courbes obtenues le 20 mars sont beaucoup plus linéaires pour les heures ensoleillées que pour les autres jours. Ceci peut s'expliquer, fort probablement, par le fait que pour cette journée les mesures ont été faites à l'aide de 6 thermocouples placés au centre de la serre aux points C-1 à C-6, tandis que pour les 13, 14 et 15 février les températures sont enregistrées aux points T_{fi} , T_{fo} et C-4. On doit donc supposer qu'il existe une différence de température appréciable entre l'entrée et la sortie des conduites d'air à la base et le sommet du mur. La nuit cet effet semble beaucoup moins apparent.

Le tableau V donne les températures des vitrages intérieure et extérieure tels que mesurés aux points TV-1, TV-2, TV-3 et TV-4. Quelques courbes représentatives de ces températures sont tracées à la figure 23. On constate que plus le soleil est haut, plus les lignes sont incurvées dans la partie supérieure, phénomène certainement dû à l'ombrage que le bord du toit fait sur le haut du capteur.

Les tableaux VI et VII contiennent les données des températures des deux surfaces (interne et externe) du mur Trombe en fonction de la hauteur. Aux figures 24 et 25 sont montrées quelques courbes-types. L'effet d'ombrage du toit est apparent sur la surface externe du capteur.

La distribution de la température selon l'épaisseur du mur Trombe est compilée dans les tableaux VIII, IX et X pour les 13, 14, 15 et 16 février et aux figures 26 à 29 les courbes représentant le profil de la température dans le mur à trois niveaux différents à 9, 12, 18 et 24 heures le 13 février sont montrées. On constate que pour une heure donnée, ces profils sont identiques sur toute la hauteur du capteur mais avec une température moyenne qui augmente proportionnellement à l'élévation. Viennent ensuite aux figures 30 à 36 les profils de température heure par heure pour le niveau 170 cm (bloc B).

b) Capacité de stockage du mur Trombe

Pour faciliter les calculs, les profils de température obtenus au niveau 170 cm (bloc B) sont considérés comme représentant la moyenne pour toute la hauteur du mur capteur. Cette simplification rend possible l'évaluation de l'énergie calorifique totale stockée à chaque heure. Il est nécessaire tout d'abord de fixer une température de référence (T_{ob}) en-dessous de laquelle la température du béton ne descend pas; 18°C semble être l'idéal. A ce point le mur peut être considéré comme étant vide d'énergie thermique. Ayant divisé les profils de température dans le mur (figures 30 à 36) en tranches de 2 cm d'épaisseur, il est possible d'effectuer une intégration graphique en utilisant l'équation (12) modifiée pour en faire une sommation de l'é-

nergie stockée dans chacune de ces tranches.

$$Q_b = \sum_{i=1}^n C_{pb} m_b [T(X,t)_i - T_{ob}] \quad (17)$$

On a :

$$n = D \div 2 \text{ cm} = 40 \text{ cm} \div 2 \text{ cm} = 20 \text{ tranches}$$

$$C_{pb} = 0.837 \text{ kJoule/kg } ^\circ\text{C}$$

$$m_b = 2029 \text{ kg} \div 20 \text{ tranches} = 101.5 \text{ kg}$$

$$T_{ob} = 18^\circ\text{C}$$

On obtient donc l'équation:

$$Q_b = \sum_{i=1}^{20} (84.96 \text{ kJoule} [T(X,t)_i - 18^\circ\text{C}]) \quad (18)$$

Les résultats sont compilés au tableau XI et à la figure 37. L'énergie solaire incidente sur le capteur atteint son maximum à midi mais l'énergie stockée dans le mur y arrive seulement quatre heures plus tard, c'est-à-dire à 16.00 heures. Le soleil s'est couché à 17.00 heures. Puis tout au long de la nuit le mur se vide de son énergie emmagasinée en partie en la redistribuant vers la pièce adjacente mais également en la perdant vers l'extérieur au travers le vitrage.

c) Chaleur transmise par thermosyphon

Les tableaux XII à XIX fournissent le relevé de la vitesse d'écoulement et de la température de l'air circulant dans la serre à chacun des points de mesure de la section, ainsi que la moyenne pour toute la largeur de cette section. Un signe négatif pour la vélocité de l'air indique un déplacement de haut en bas (circulation inversée).

Des courbes-types de profil de vitesse et de température sont montrées aux figures 38 à 41 et les courbes de la vitesse moyenne et de la température moyenne de l'air dans la serre sont tracées pour 24 heures à la figure 42.

Ces données sont utilisées pour déterminer la quantité d'énergie transmise par thermocirculation en les insérant dans l'équation (5).

Ensuite en utilisant les équations (4) et (3), on peut évaluer le nombre de Nusselt expérimental.

Il est alors possible de comparer les nombres de Nusselt expérimentaux aux nombres de Nusselt trouvés par l'équation (1). Ces deux valeurs du nombre de Nusselt pour chaque heure sont compilées aux tableaux XX, et XXI et mis sous forme graphique à la figure 43.

Lors de la détermination de la relation (1) par Jagadish et al, il a été émis comme hypothèse de base que le flux de chaleur transmis de la plaque noire du mur vers l'air circulant dans la serre est constant sur toute la hauteur du capteur. En appliquant ce principe et en évaluant le flux thermique à l'aide des équations (1), (2), (3) et (4) à différents niveaux, la courbe représentant le flux en fonction de la hauteur devrait théoriquement se rapprocher d'une droite verticale. Aux tableaux XXII, XXIII, les résultats des mesures effectuées le 20 mars 1979 sont compilés et les courbes représentant le flux à chaque heure sont montrées à la figure 45. Pour la **partie** haute du capteur l'effet d'ombrage que la corniche du toit provoque vient per-

turber le flux mais le reste de la courbe semble ne pas être en accord avec l'hypothèse de base du flux constant.

d) Chaleur transmise par convection

Pour simplifier l'évaluation, on fait l'approximation que la température de la surface interne du mur Trombe prise au niveau 124 cm représente la température moyenne pour toute la hauteur. Connaissant la température moyenne de l'air de la pièce adjacente au mur, il est possible de déterminer l'échange thermique à l'aide des équations ((6), (7), (8), (9), (10) et (11)). Les résultats sont compilés dans les tableaux XXIV et XXV et représentés sous forme graphique à la figure 46.

e) Influence du rideau thermique

C'est en se référant aux figures 37 et 47 que l'on peut visualiser le plus clairement l'effet de la présence du rideau thermique sur le pouvoir de stockage d'un capteur passif du type mur Trombe. Etant donné que les mesures faites une nuit sans rideau et une nuit avec rideau proviennent de journées qui ne sont pas totalement identiques au niveau rayonnement solaire, température, vent, il est difficile de faire une évaluation quantitative de l'augmentation de l'énergie stockée. Le seul moyen valable serait de faire le bilan thermique pour les deux journées considérées en contrôlant d'une façon rigoureuse tous les paramètres et de comparer les rendements totaux sur 24 heures.

IV - CONCLUSION

Les conclusions et commentaires sont regroupés en deux grandes catégories, une première concerne le travail expérimental proprement dit (organisation matérielle, procédure, emploi du temps) et une deuxième traitant de l'aspect théorique et des points à tenir en ligne de compte lors d'une simulation sur ordinateur.

a) Tout au long du travail pratique des difficultés se sont présentées du fait que le mur Trombe servant de banc d'essai se trouvait dans une pièce ouverte (Voir figure 1) au lieu d'être isolé dans une cellule fermée où il aurait été plus facile de contrôler tous les paramètres. Toute la journée la température de la pièce variait, ceci étant dû à des gains directs par les fenêtres, à l'introduction d'air froid extérieur lors de l'ouverture de la porte donnant au-dehors de la maison et à la présence d'humains dans la pièce. Cette disposition des lieux empêche également de déterminer la température de surface des différentes parois vers lesquelles le mur capteur transfère de la chaleur par radiation et ainsi rend impossible le calcul du bilan thermique global du système.

La disposition des thermocouples pour déterminer la température de l'air à l'entrée et à la sortie du capteur ainsi que dans la serre s'est avérée adéquate uniquement la journée du 20 mars alors qu'il y avait 6 points de mesure dans la serre même en plus des deux à l'entrée des ouvertures à la base et au sommet du mur. Cette disposition permet d'éviter d'introduire la variation de la température de l'air

lors de son passage dans les ouvertures.

La température de toutes les surfaces verticales (vitrage, surface noire, surface interne du mur) devrait être mesurée à l'aide d'au moins 3 thermocouples placés à des niveaux différents mais en-dessous de la ligne d'ombrage que fait la corniche du toit.

Et pour finir cette première série de commentaires, on peut mentionner que la présence d'une couche de peinture recouvrant la surface interne du capteur n'est pas une chose à conseiller car cela crée une certaine barrière thermique.

b) En analysant les graphiques qui représentent la distribution de la température de l'air en fonction de la hauteur pour la journée du 20 mars, on constate qu'il est possible d'approximer cette distribution par une droite. L'augmentation de la température est à peu près directement proportionnelle à la hauteur. Mais pour ce qui est des températures du vitrage intérieur, de la surface interne et de la surface externe du mur capteur, la distribution n'est plus linéaire et encore moins constante. L'hypothèse d'une température constante ne permet que de faire une évaluation approximative. Au cours d'une simulation sur ordinateur il serait souhaitable d'employer un modèle se rapprochant plus de la réalité et qui tiendrait compte de l'augmentation de la température en fonction de la hauteur. Un phénomène qui contribue à cette augmentation est une certaine stagnation d'air surchauffée dans la partie supérieure de la serre et au niveau du plafond de la pièce.

BIBLIOGRAPHIE

1. Jeldres, R., Bilgen, E., Vasseur, P. "Etude thermique d'un capteur solaire du type mur Trombe". Département de génie mécanique, Ecole Polytechnique de Montréal, Novembre 1977, E.P.-77-R-52.
2. Jagadish, B., Peres, J.R. "Etude de cheminée solaire". Laboratoire d'énergétique solaire CNRS à Odeillo, 1977.
3. Simonson, J.R. "Engineering Heat Transfer". The Mac Millan Press, 1975.
4. Karlekar, B.V., Desmond, R.M. "Engineering Heat Transfer". West Publishing Company, 1977.
5. Bilgen, E., Camous, R., Trombe, F. "Chauffage solaire et climatisation solaire des bâtiments". Ecole Polytechnique de Montréal, 1977.
6. Duffie, J.A., Beckman, W.A. "Solar Energy Thermal Processes". John Wiley & Sons, 1974.

ANNEXE 1

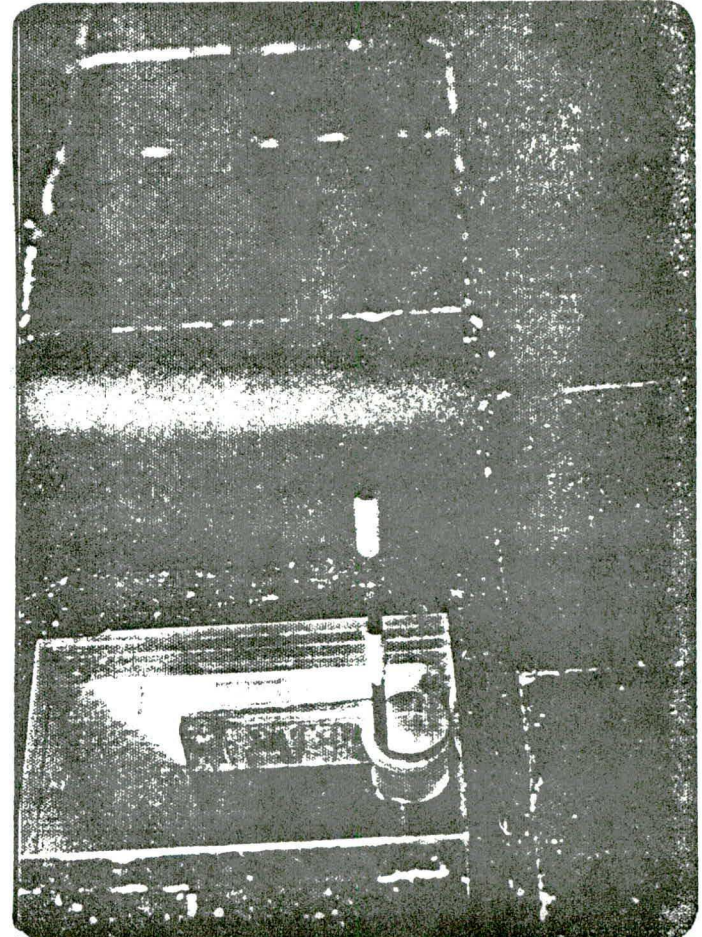
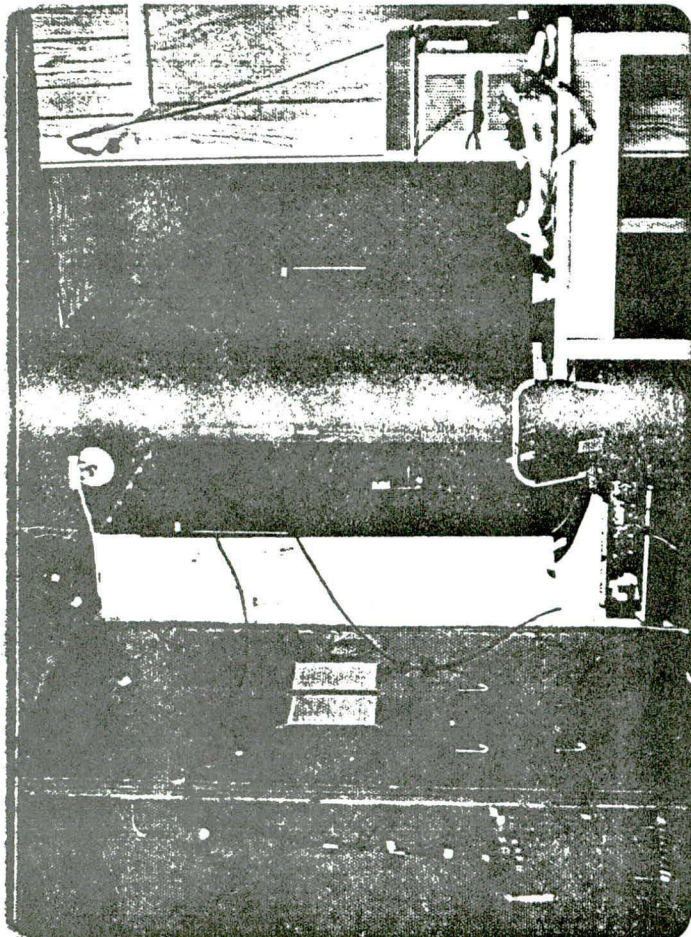
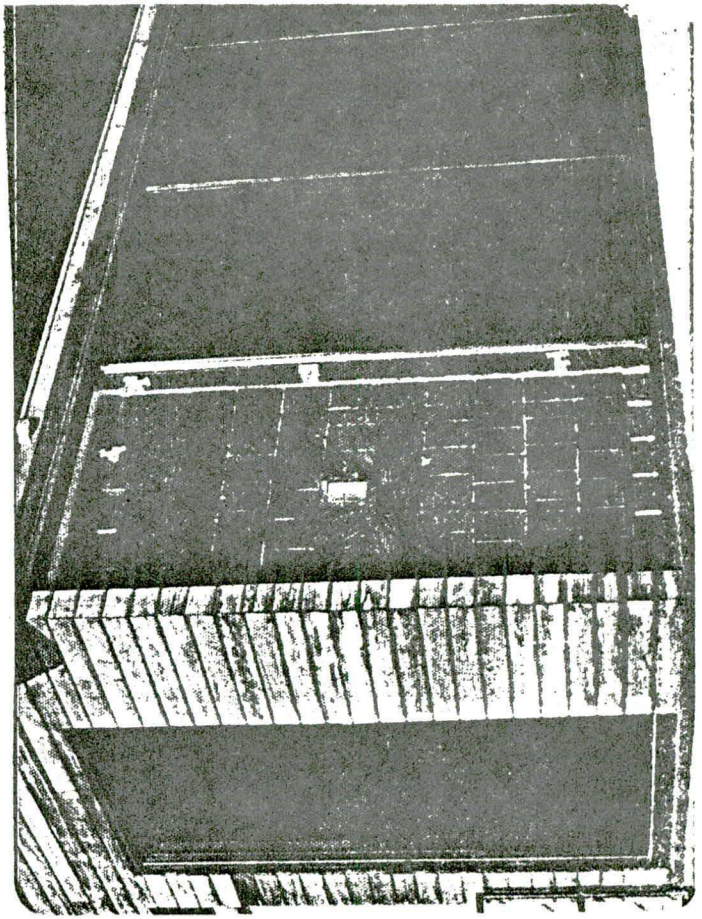
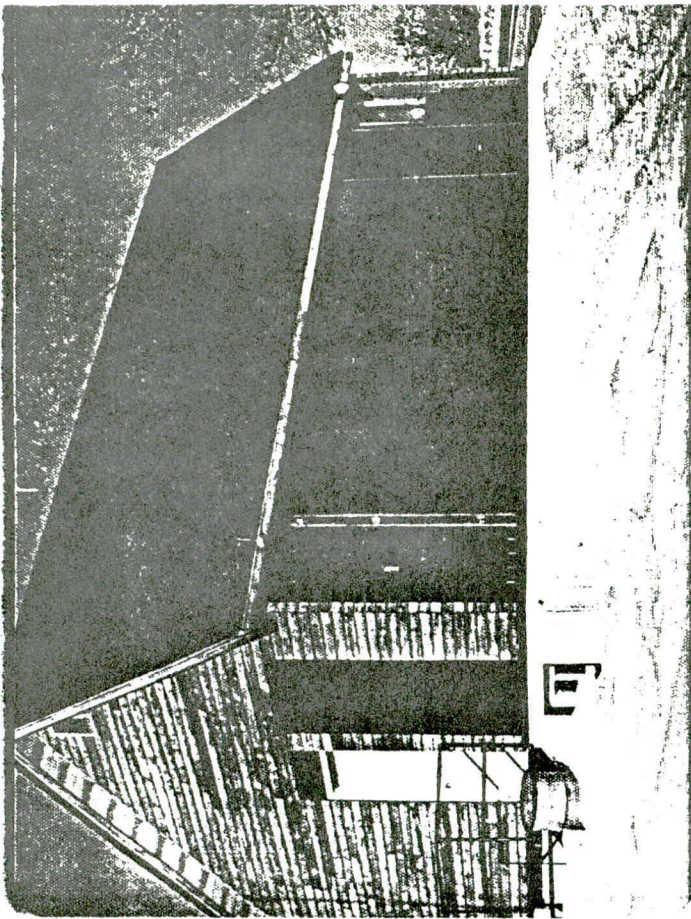
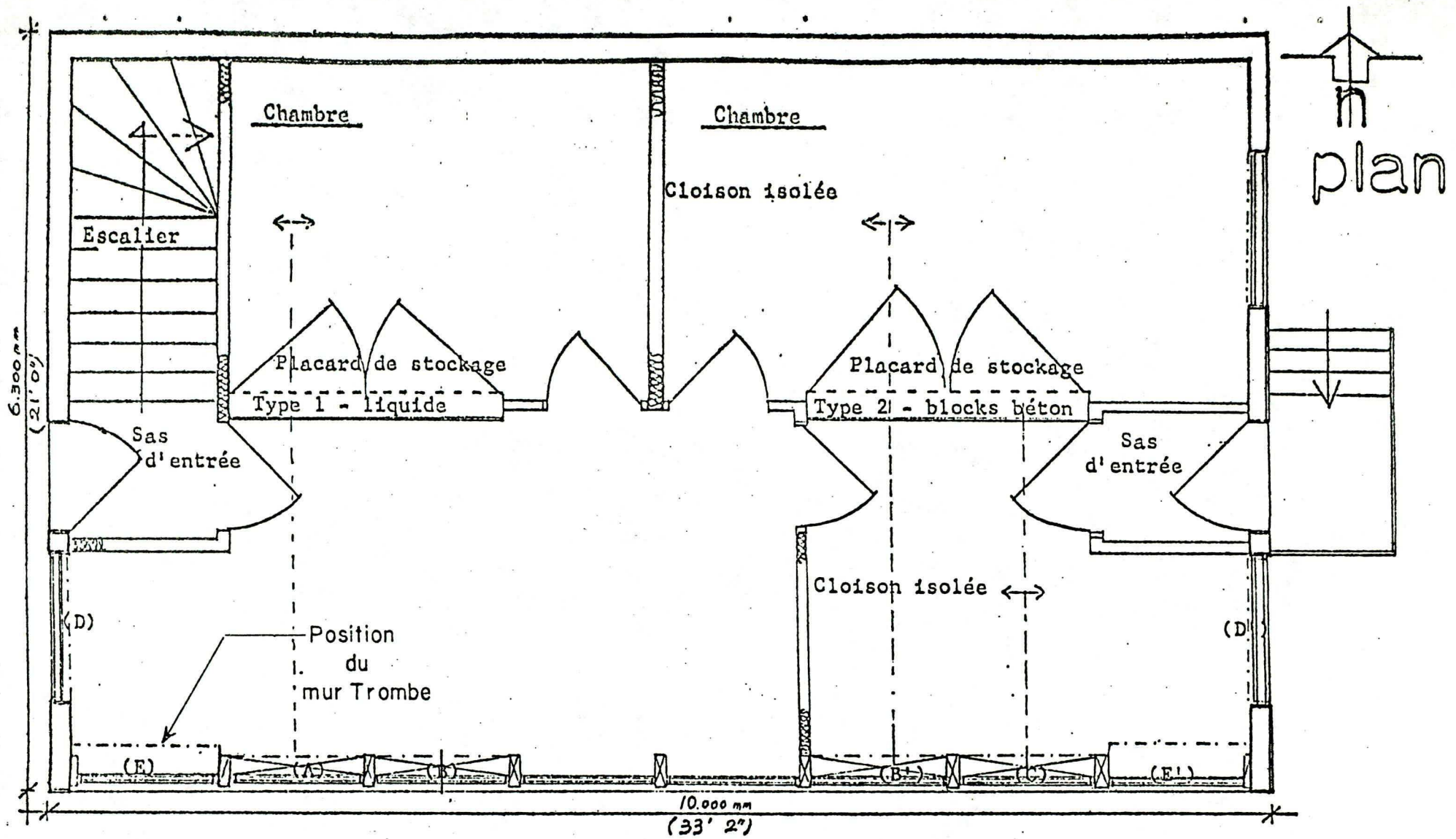


FIG. 1 Photographie de l'exterieur et interieur de SOLAB



- Capteur type A
 B
 B'
 C
 D
 D'
 E
 E'

FIG.2 Vue en plan du laboratoire SOLAB

SOLAB
 Projet Conjoint de la Fac. de l'Air et de l'UDM et de l'École Polytechnique
 1977-1979. GREN (G. & P. 2)
 Ech. 1:50 (ou 1/2" = 1'0")

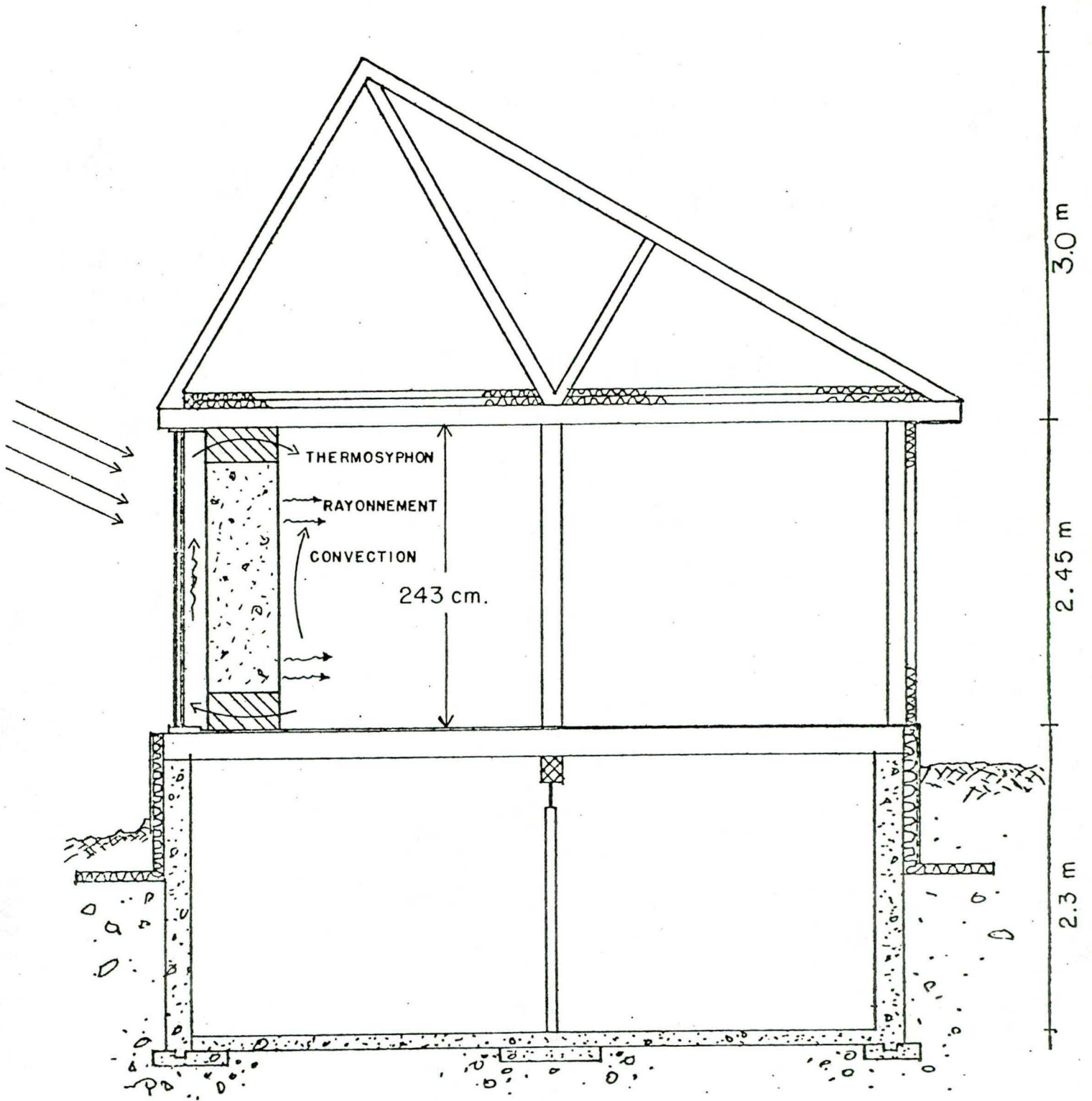
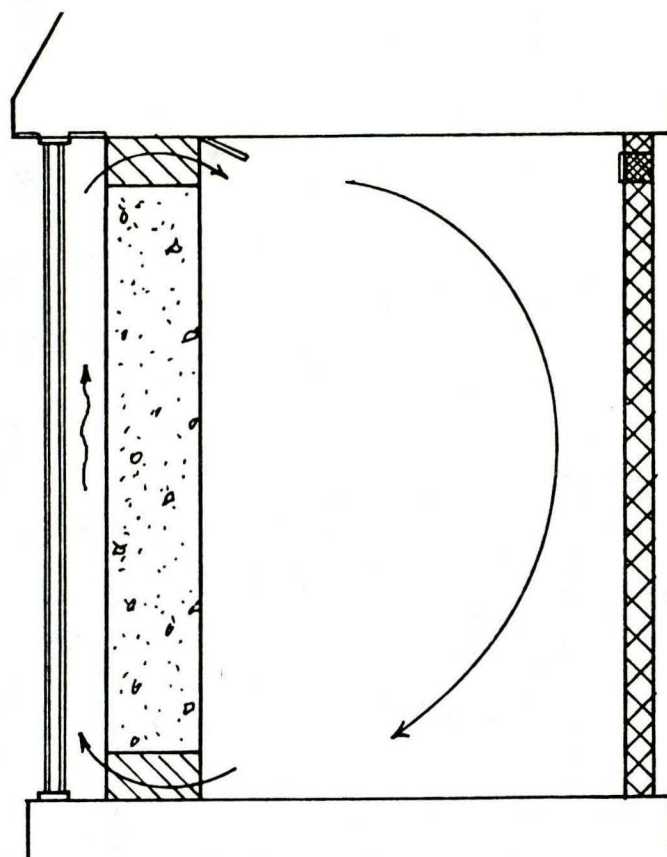


FIG. 3 Cellule du mur Trombe , vue en coupe

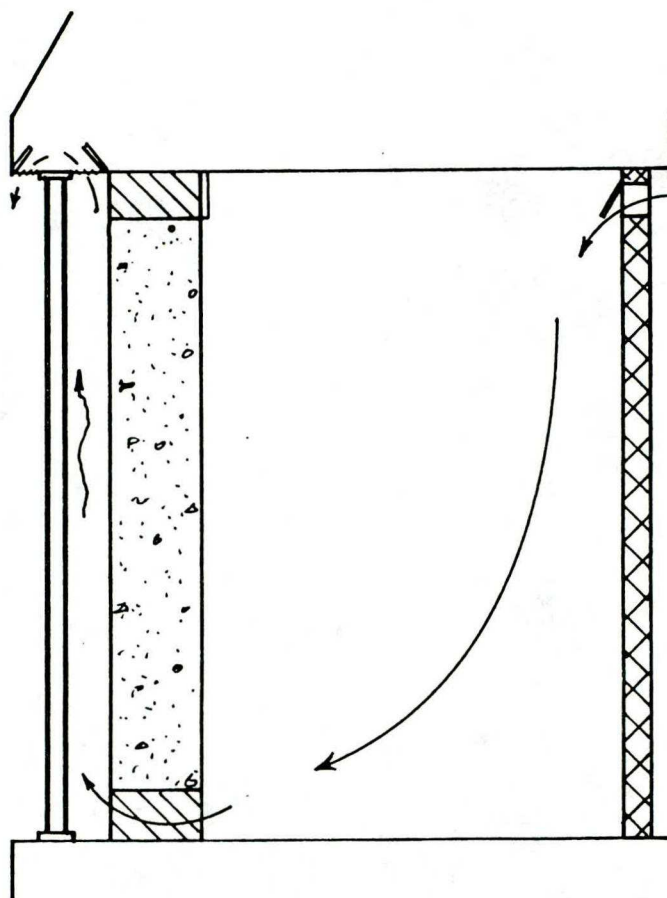
SUD



NORD

HIVER : CHAUFFAGE

SUD



NORD

ETE : VENTILATION

FIG. 4 Vue en coupe du mur Trombe avec circulation d'air l'hiver et l'été

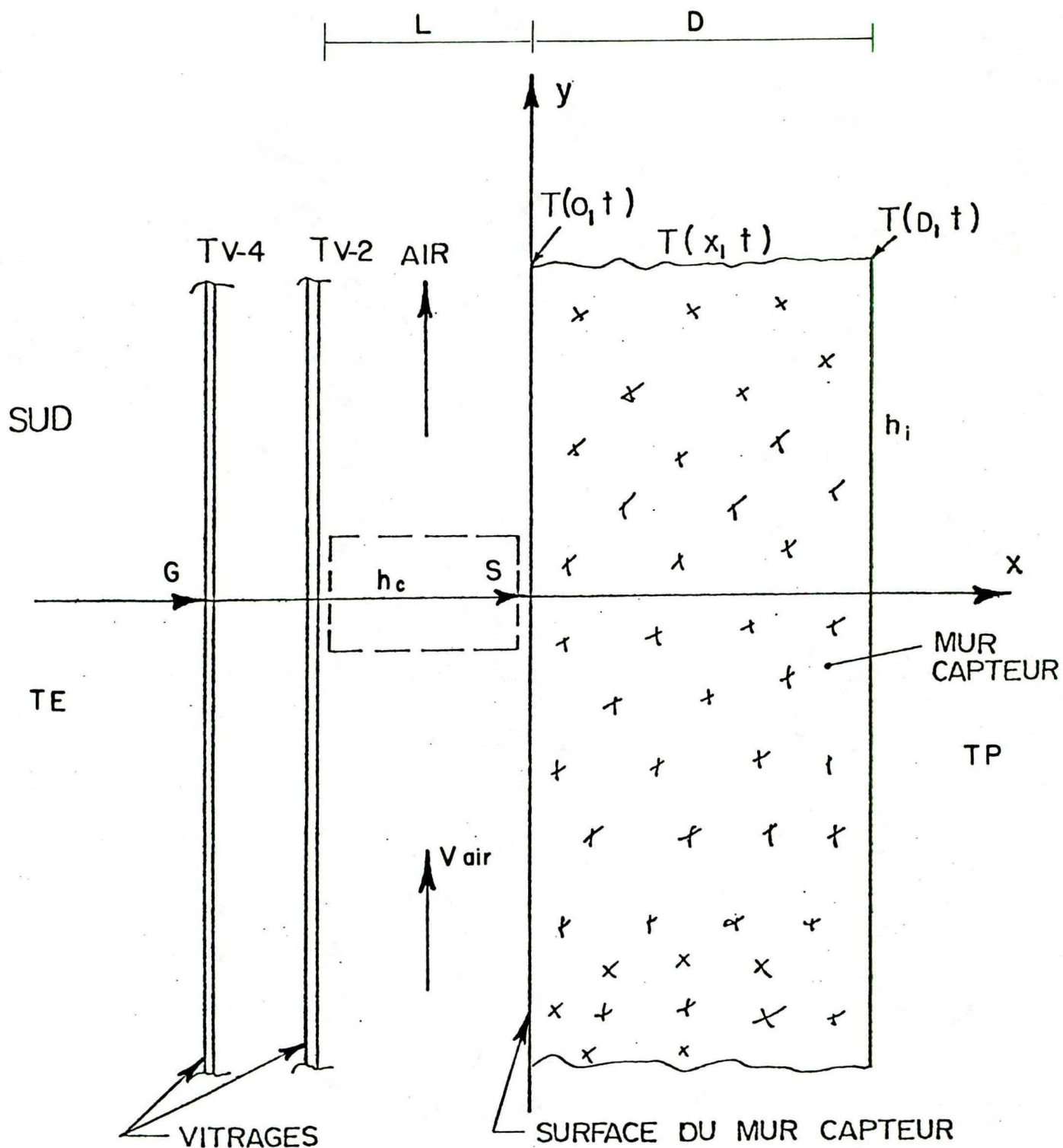
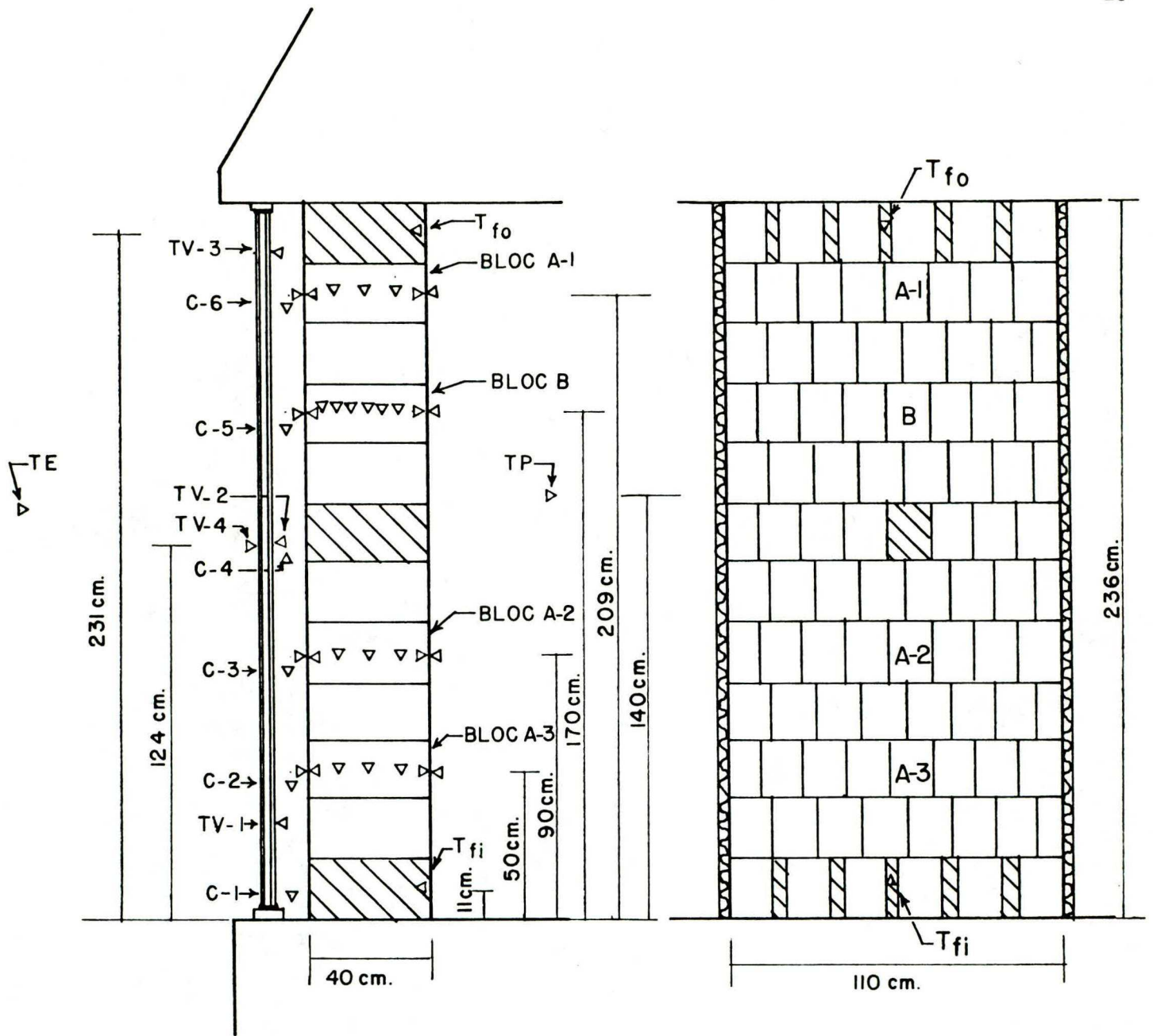
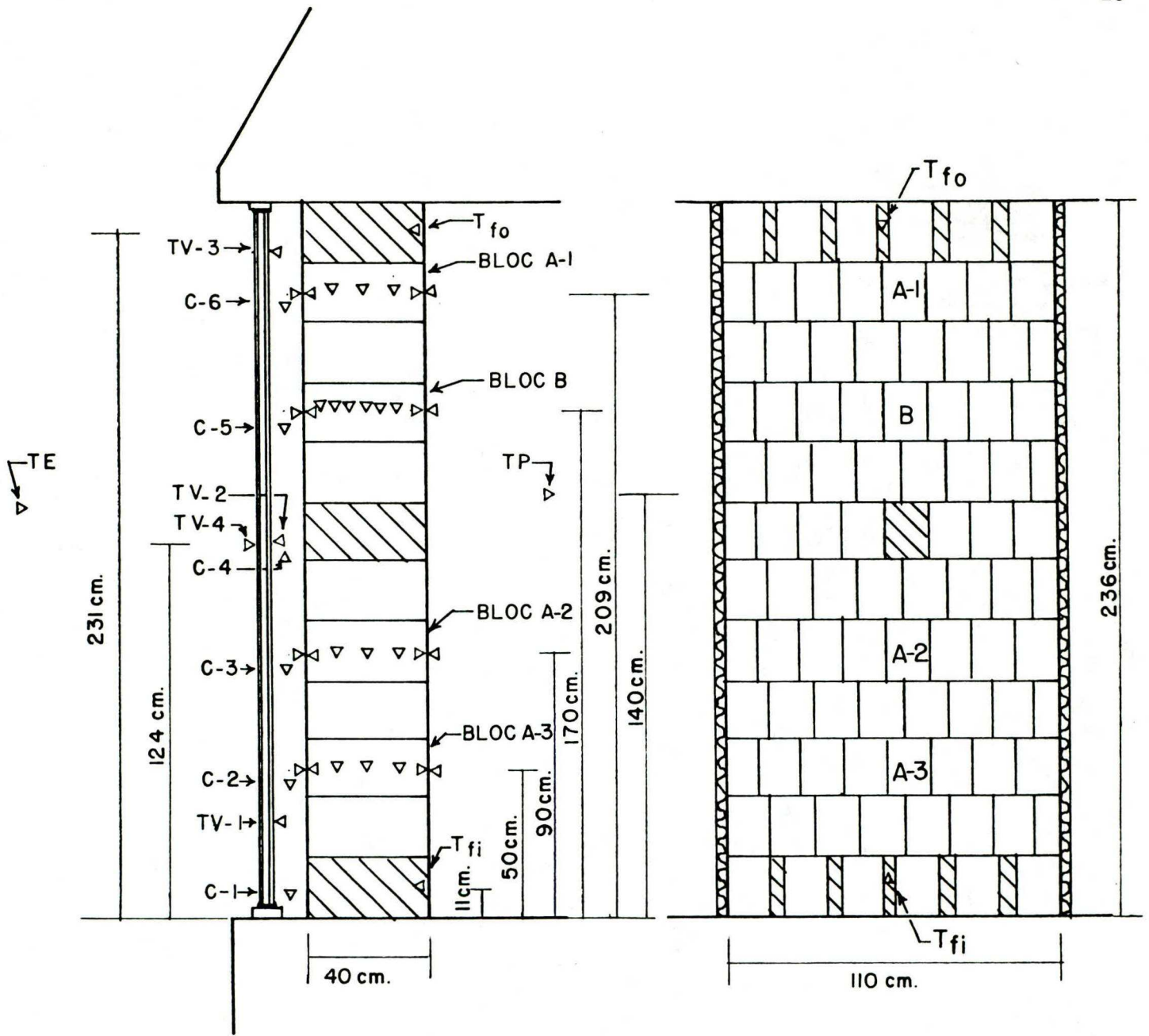


FIG. 5 Vue en coupe du mur Trombe avec système de coordonnées.



▷ : Position des thermocouples

FIG. 6 Vue en coupe et de face du mur Trombe avec position des thermocouples



▷ : Position des thermocouples

FIG. 6 Vue en coupe et de face du mur Trombe avec position des thermocouples

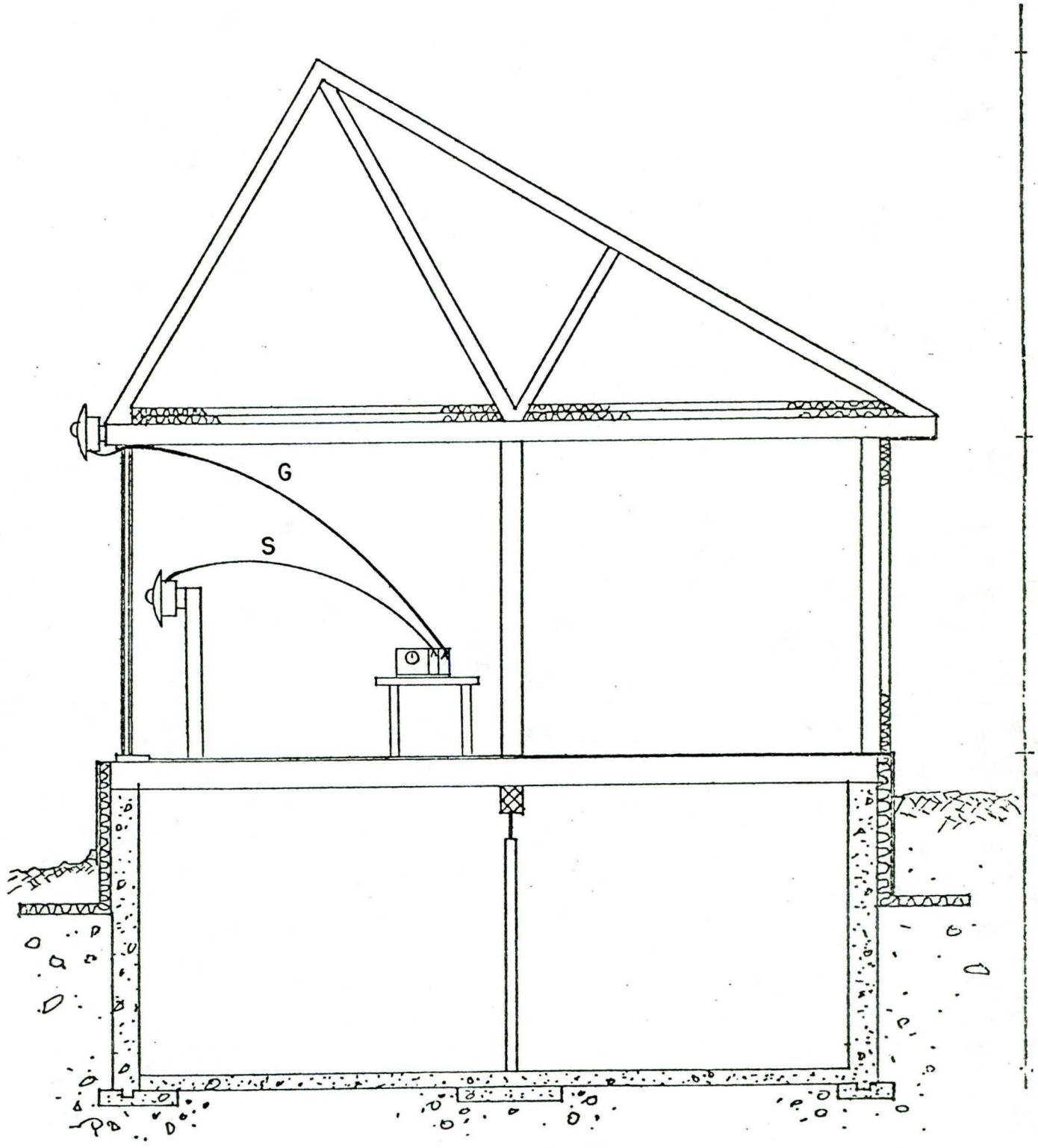
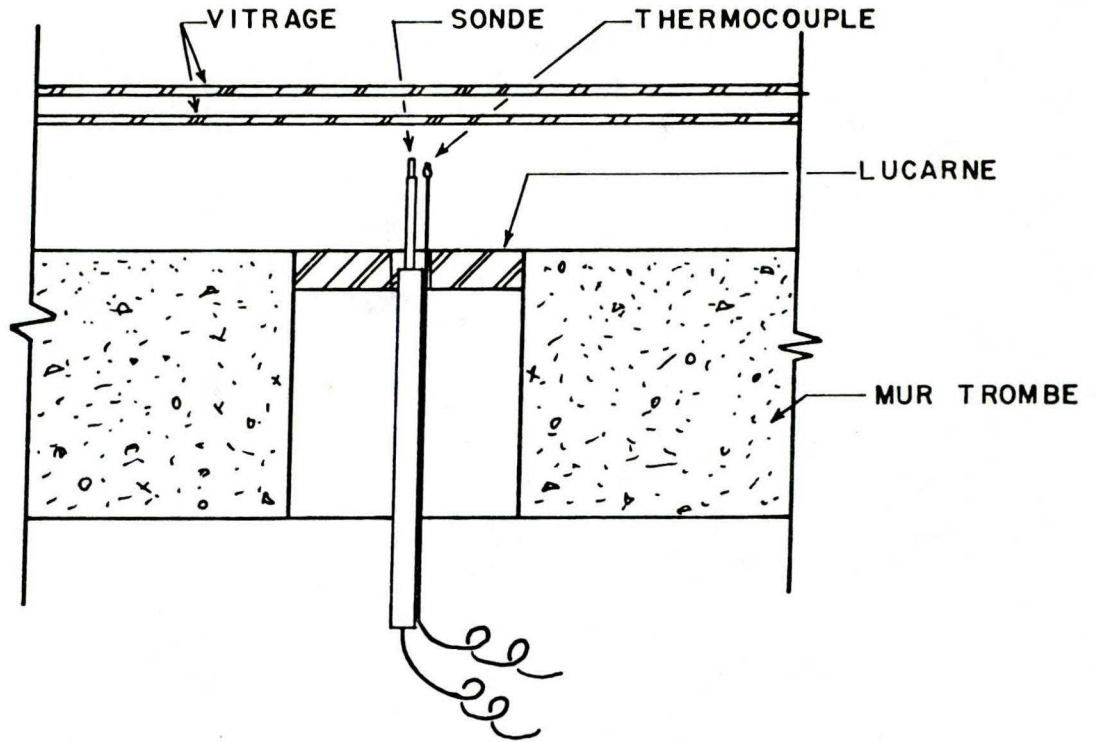


FIG. 7 Position des pyranometres

VUE EN PLAN :



VUE EN COUPE :

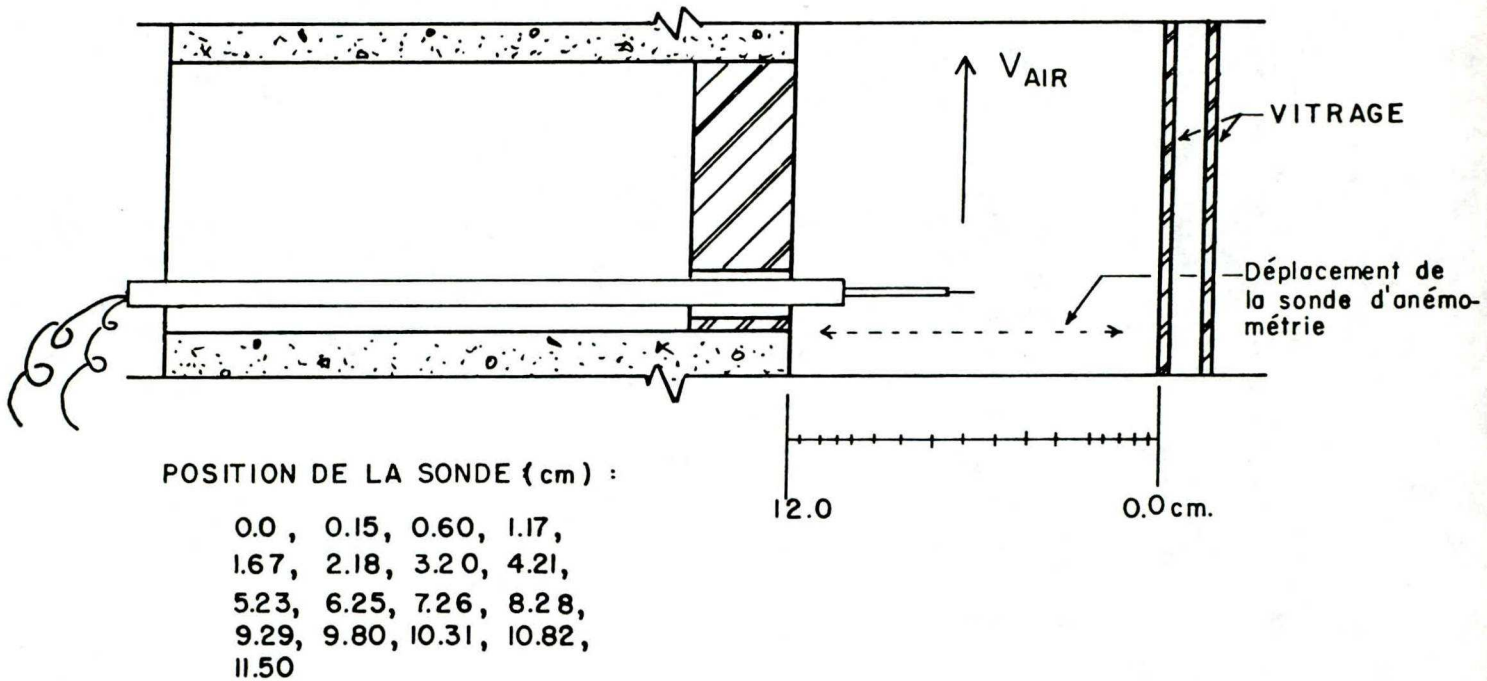
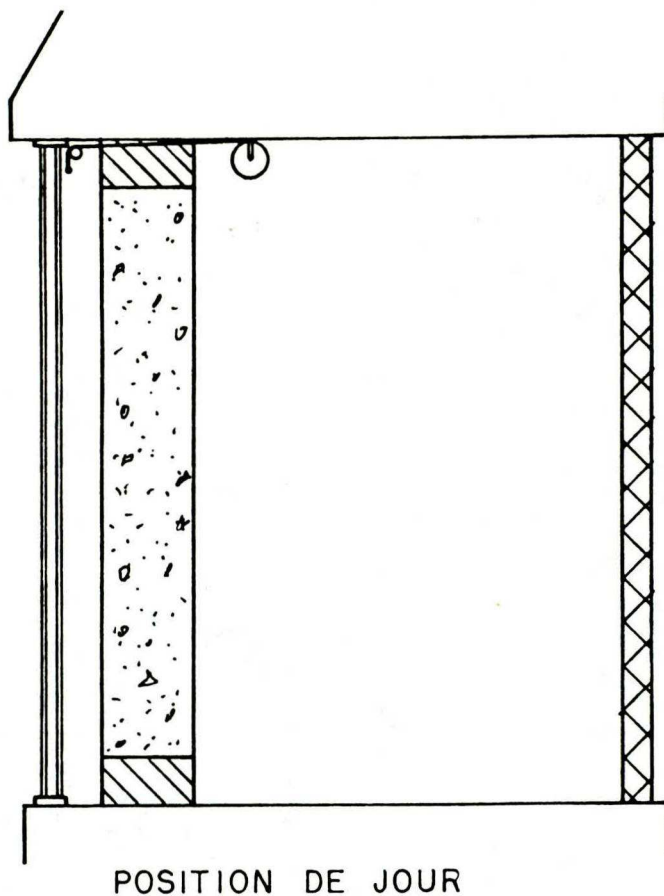


FIG.8 Position de la sonde d'anémométrie

SUD

NORD



SUD

NORD

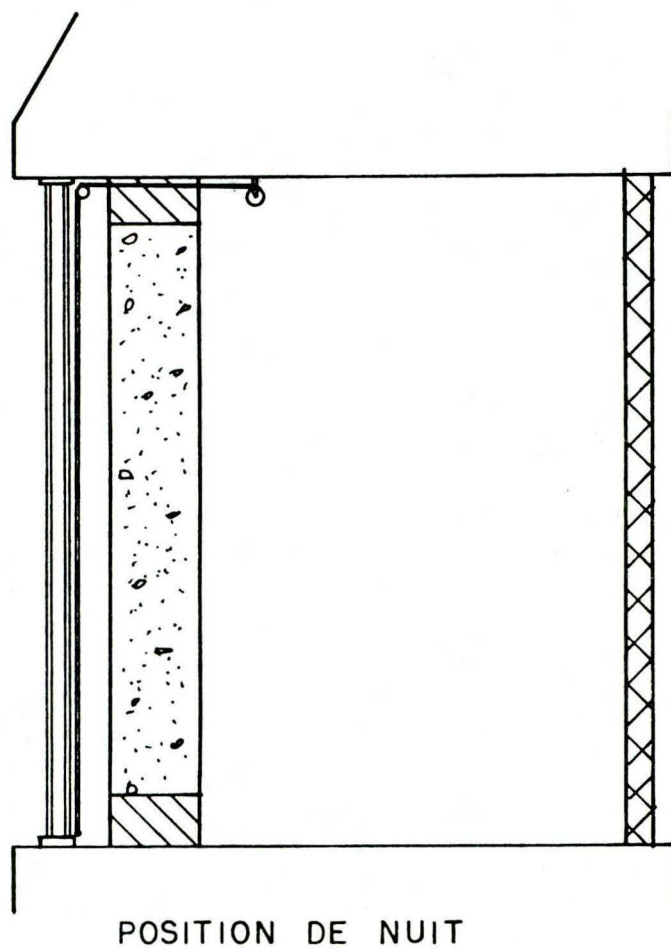


FIG. 9 Vue en coupe du mur Trombe utilisé avec rideau thermique

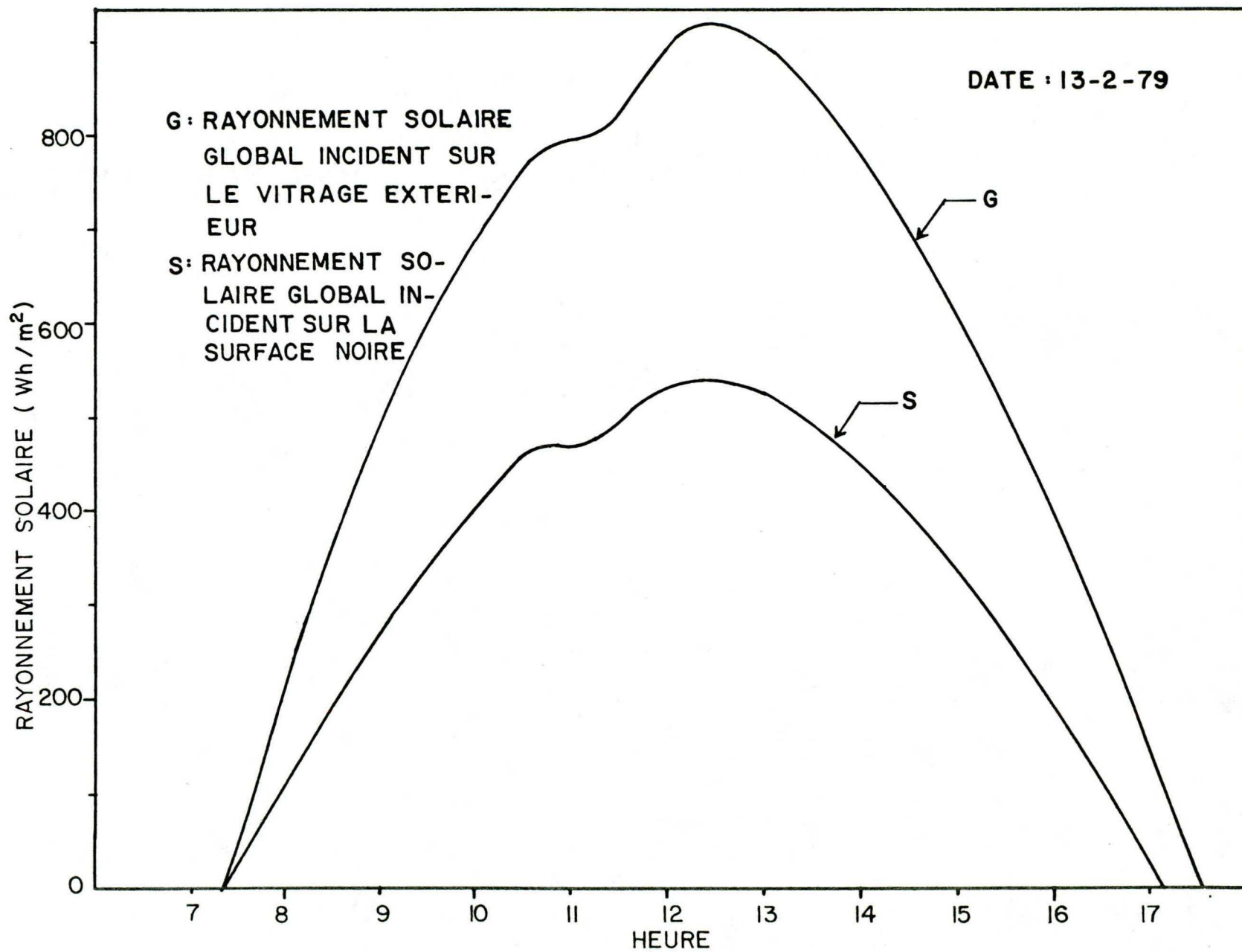


FIG. 10 Courbes du rayonnement solaire pour le 13-2-79

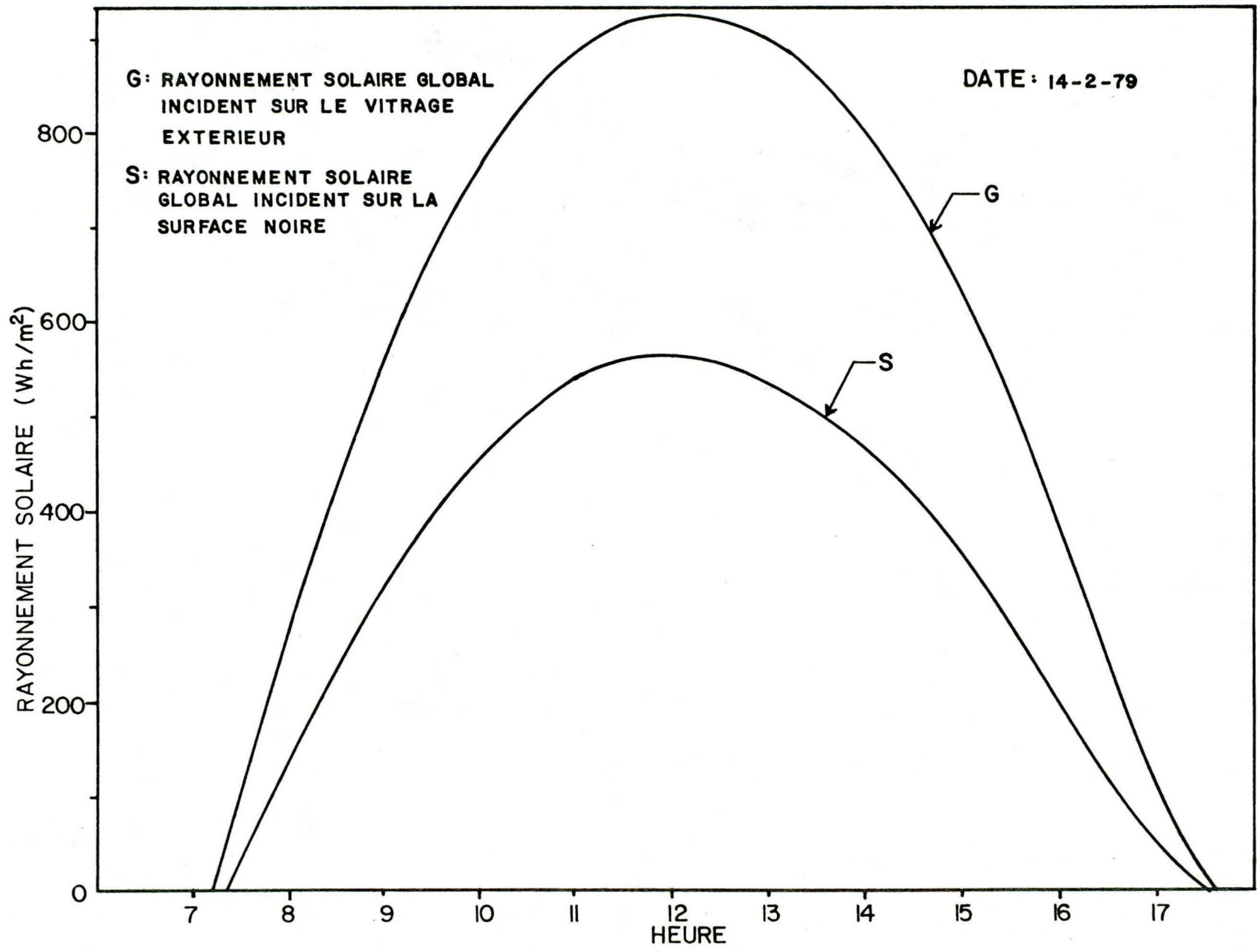


FIG. 11 Courbes du rayonnement solaire pour le 14-2-79

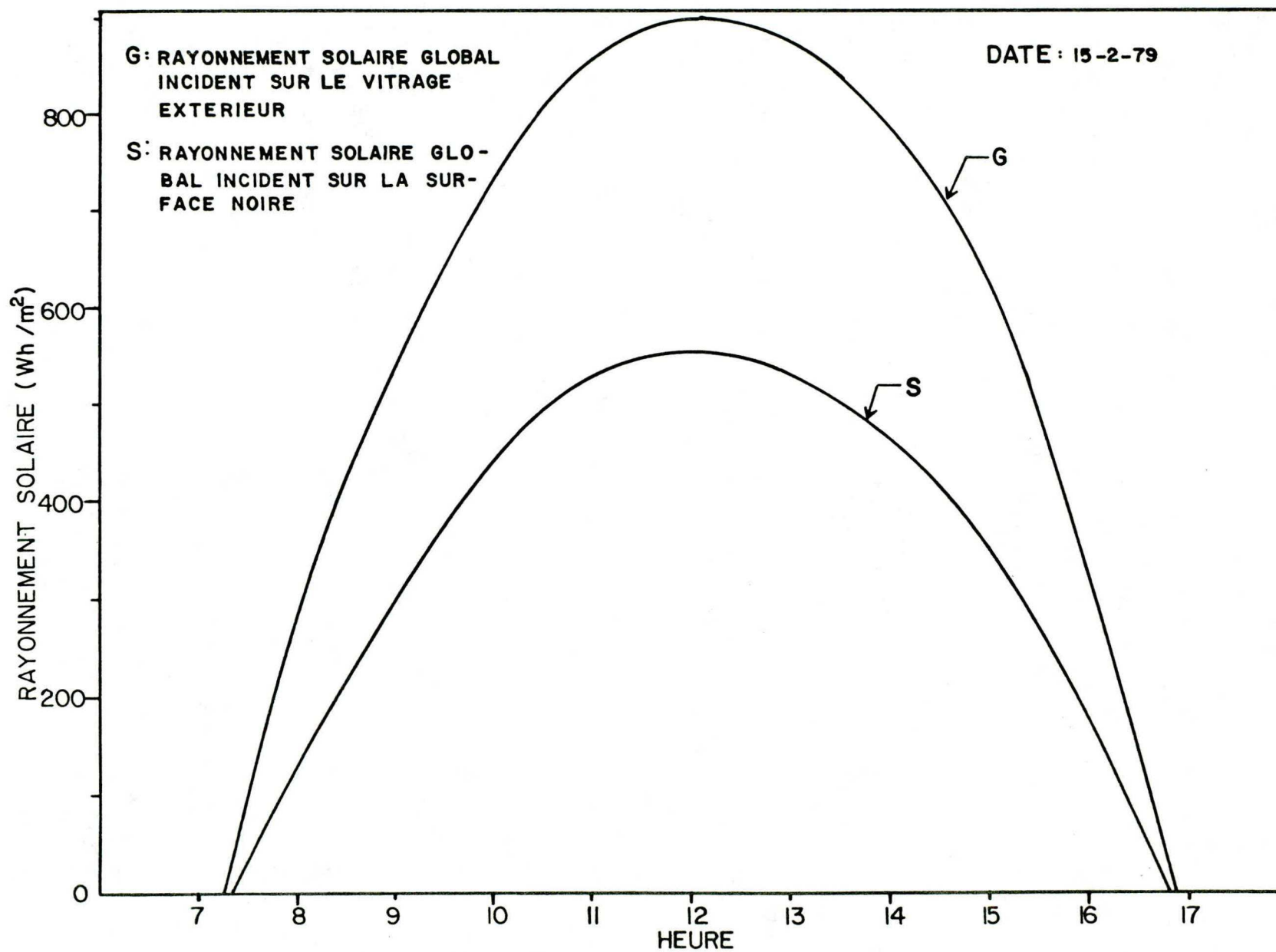


FIG. 12 Courbes du rayonnement solaire pour le 15-2-79

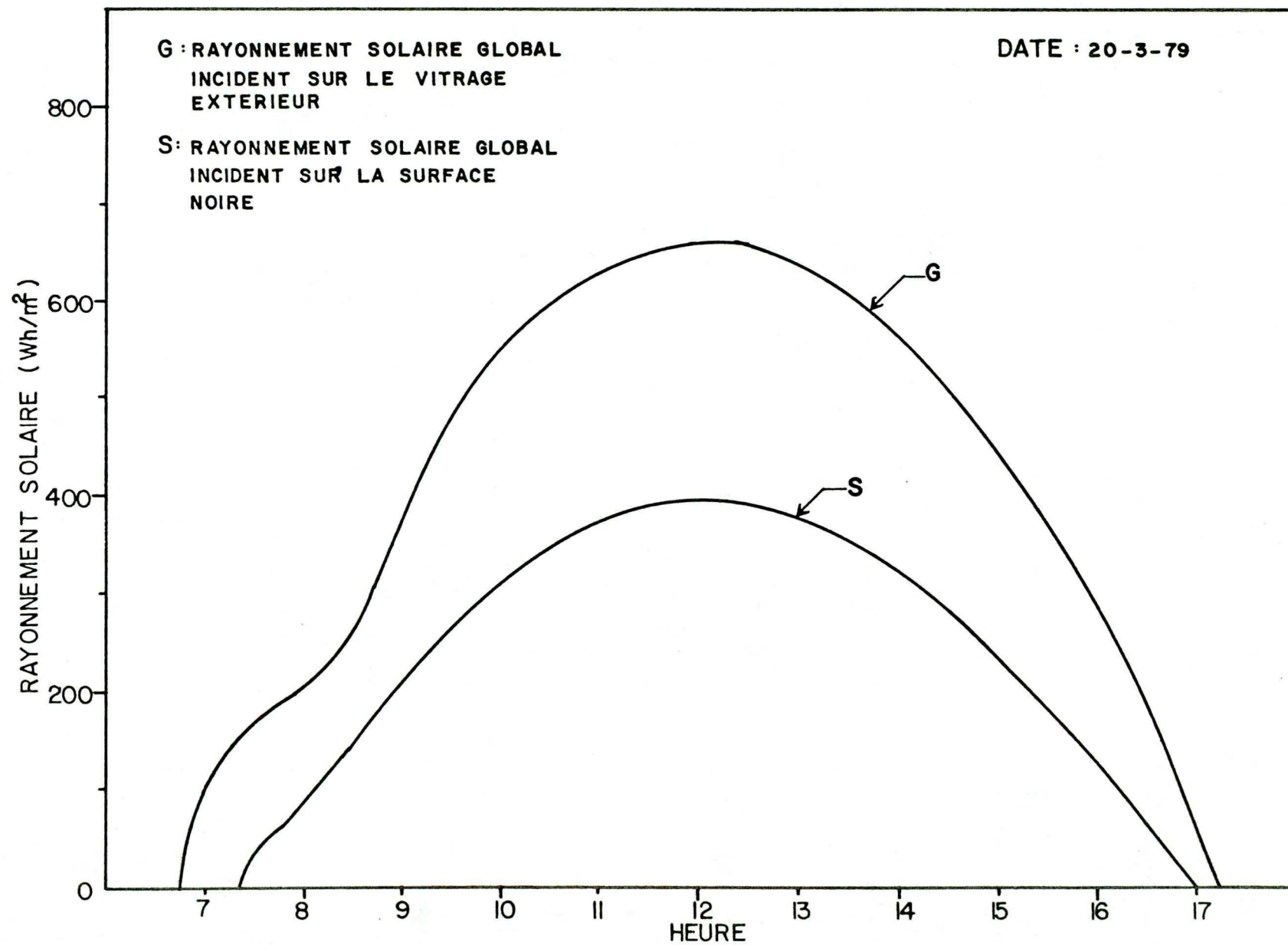


FIG. 13 Courbes du rayonnement solaire pour le 20-3-79

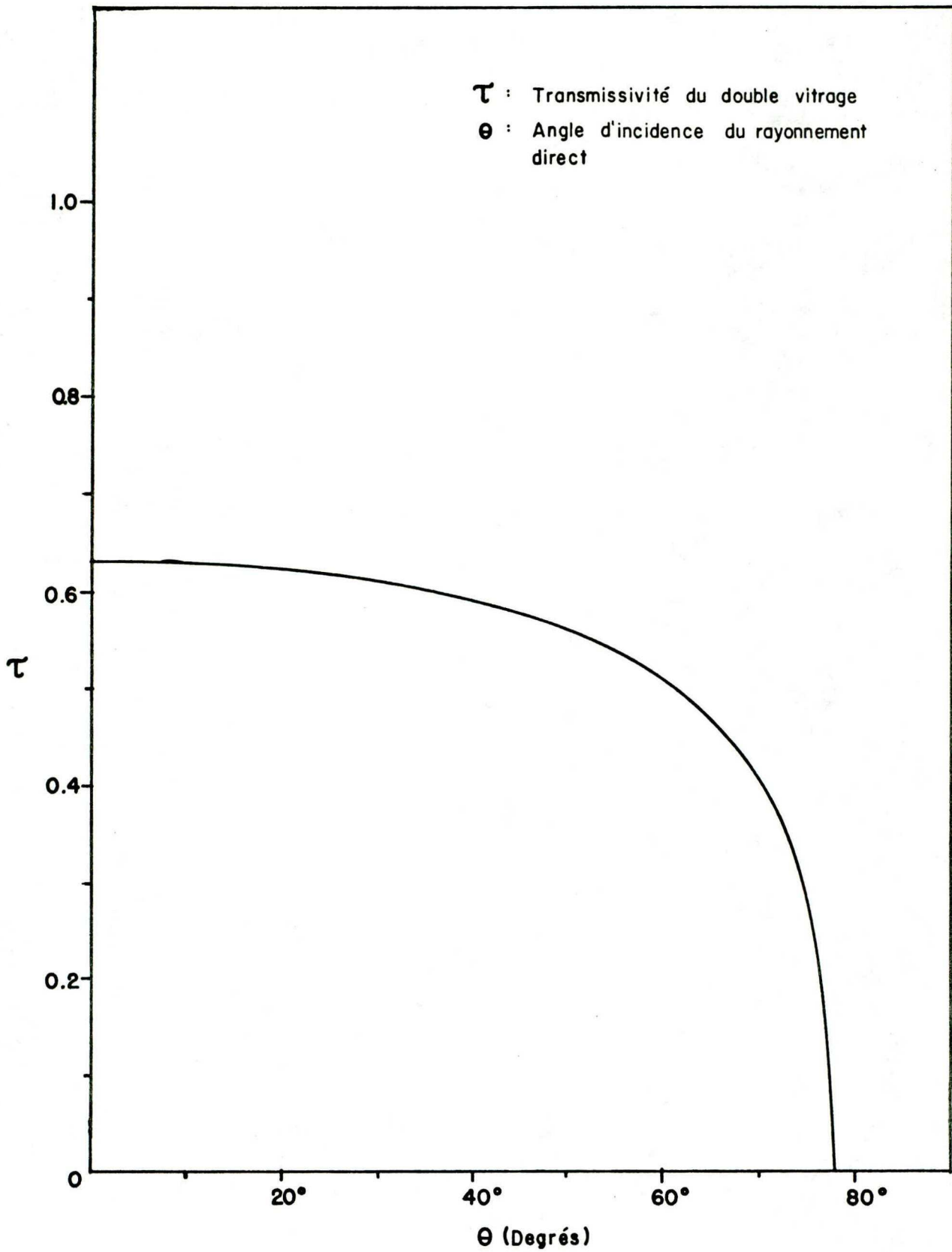


FIG. 14 Courbe de la transmissivité du vitrage versus l'angle d'incidence

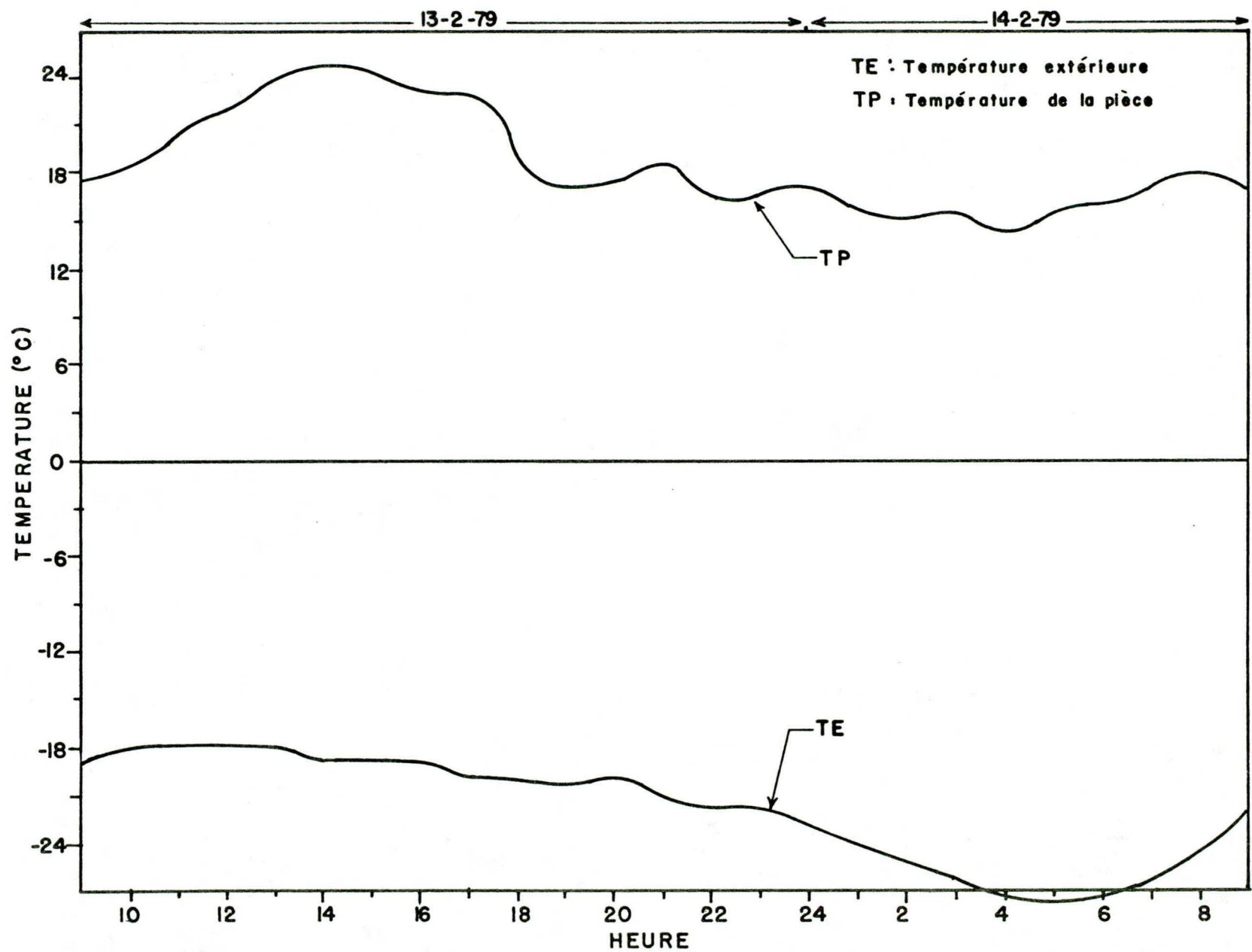


FIG. 15 Courbes de la température extérieure et de la température de la pièce pour le 13-2-79 et le 14-2-79

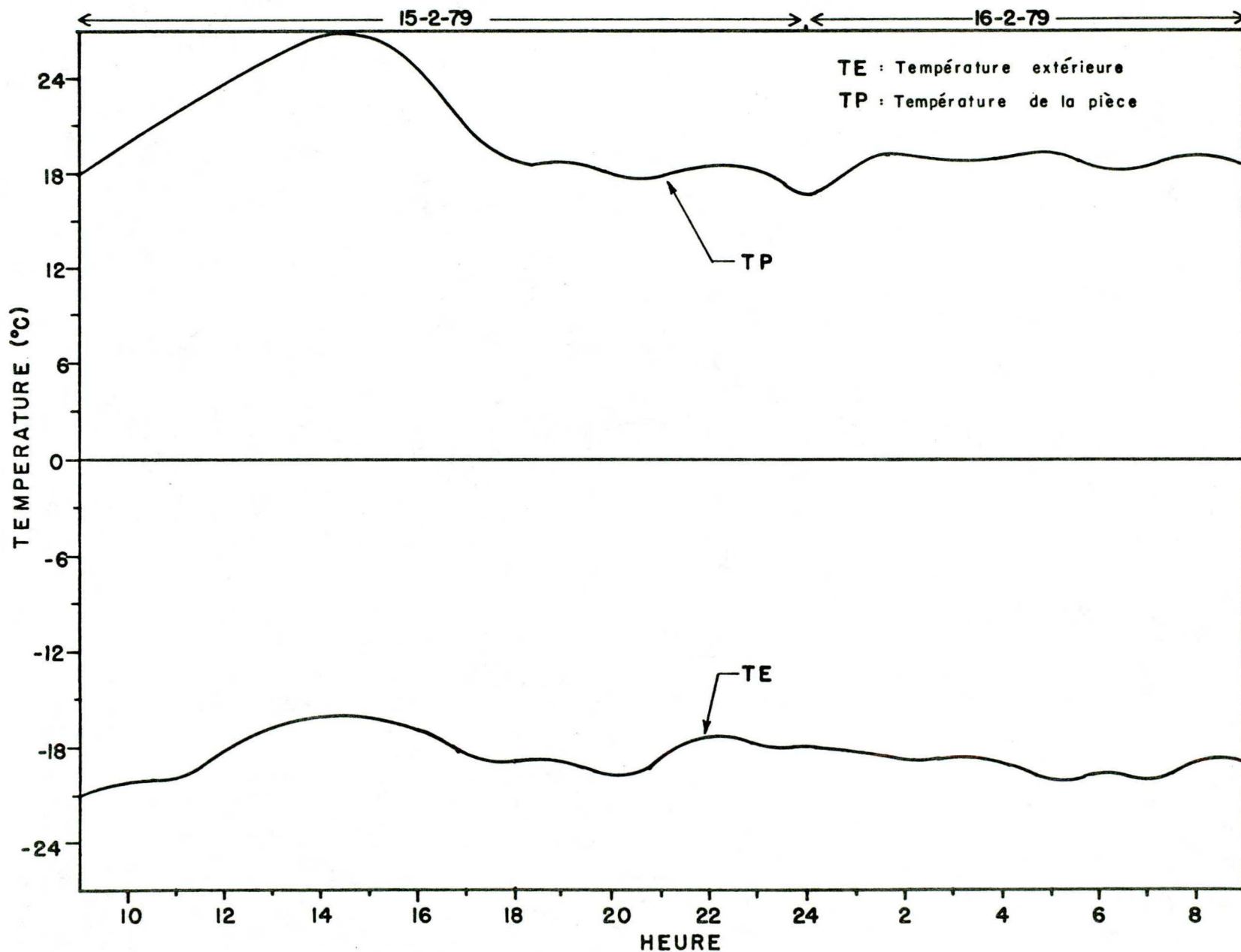


FIG. 16 Courbes de la température extérieure et de la température de la pièce pour le 15-2-79 et le 16-2-79

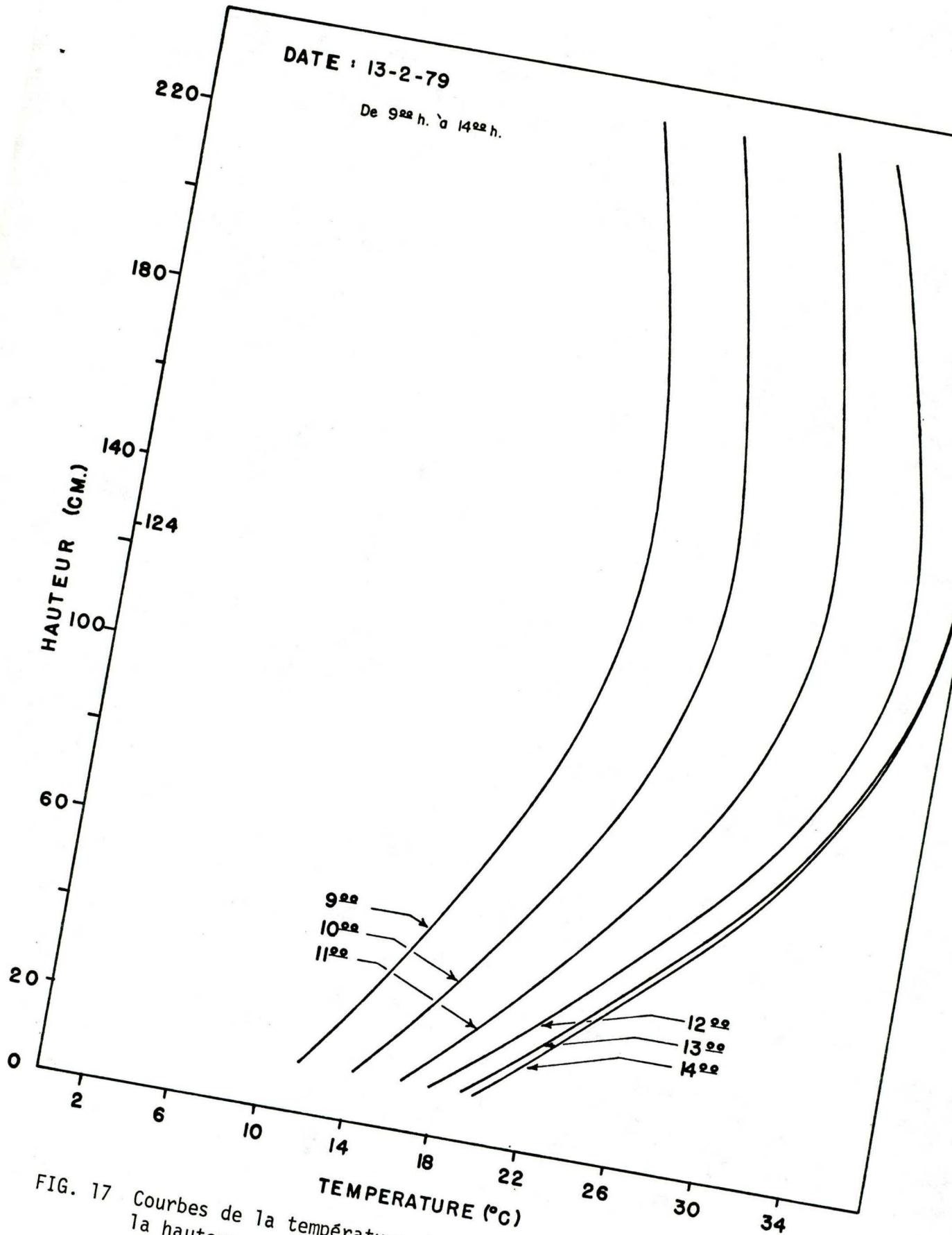
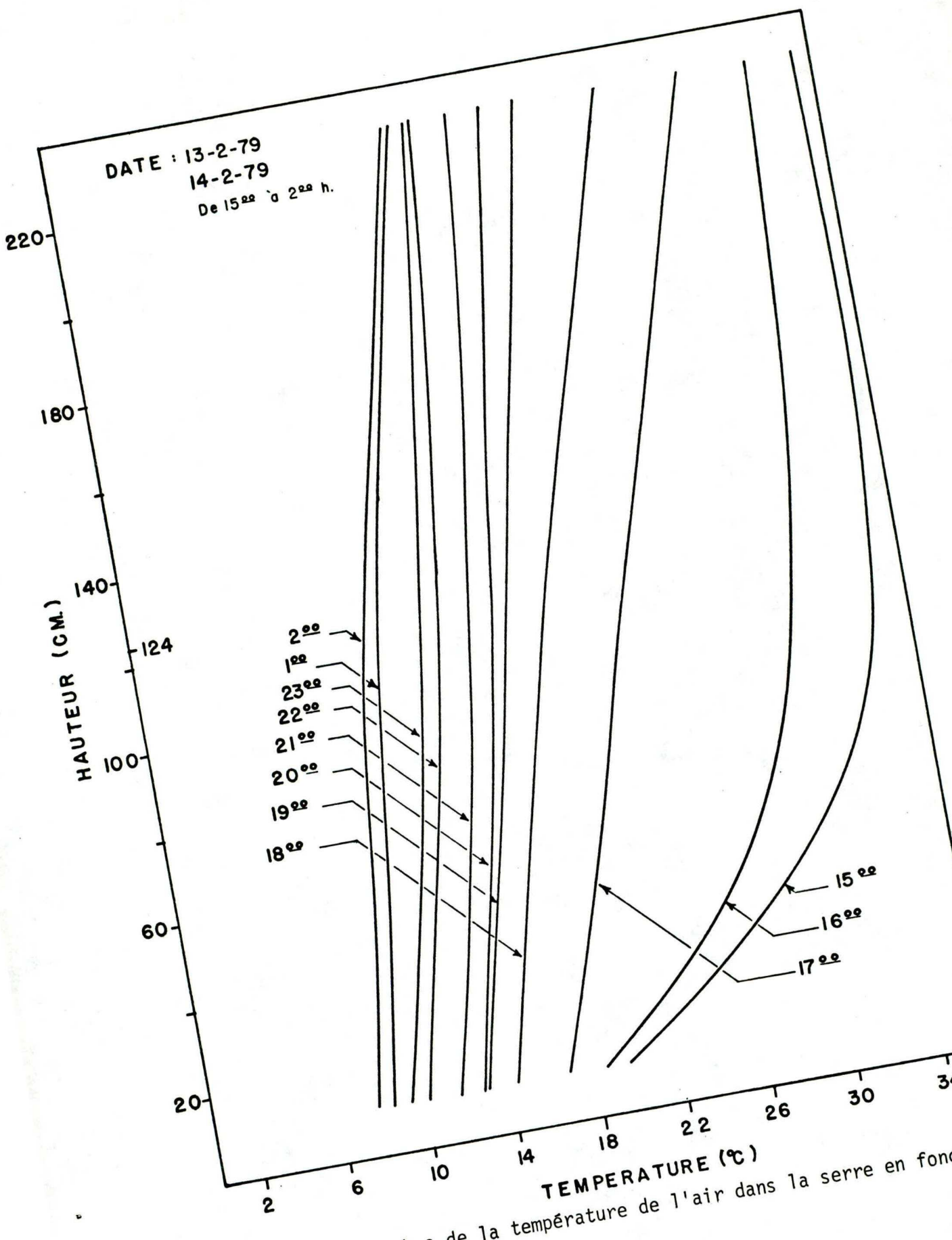


FIG. 17 Courbes de la température de l'air à la hauteur



de la température de l'air dans la serre en fonction

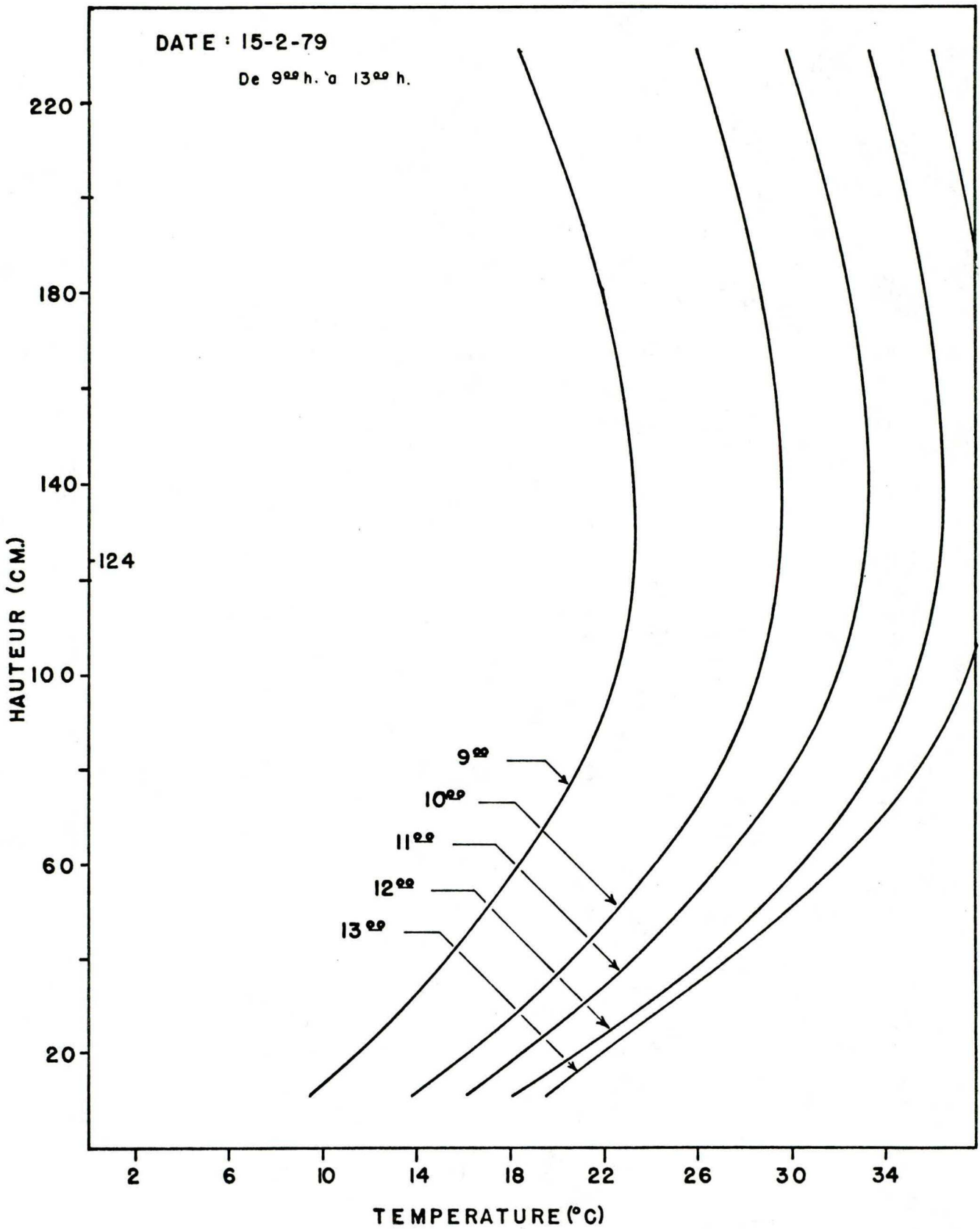


FIG. 19 Courbes de la température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur

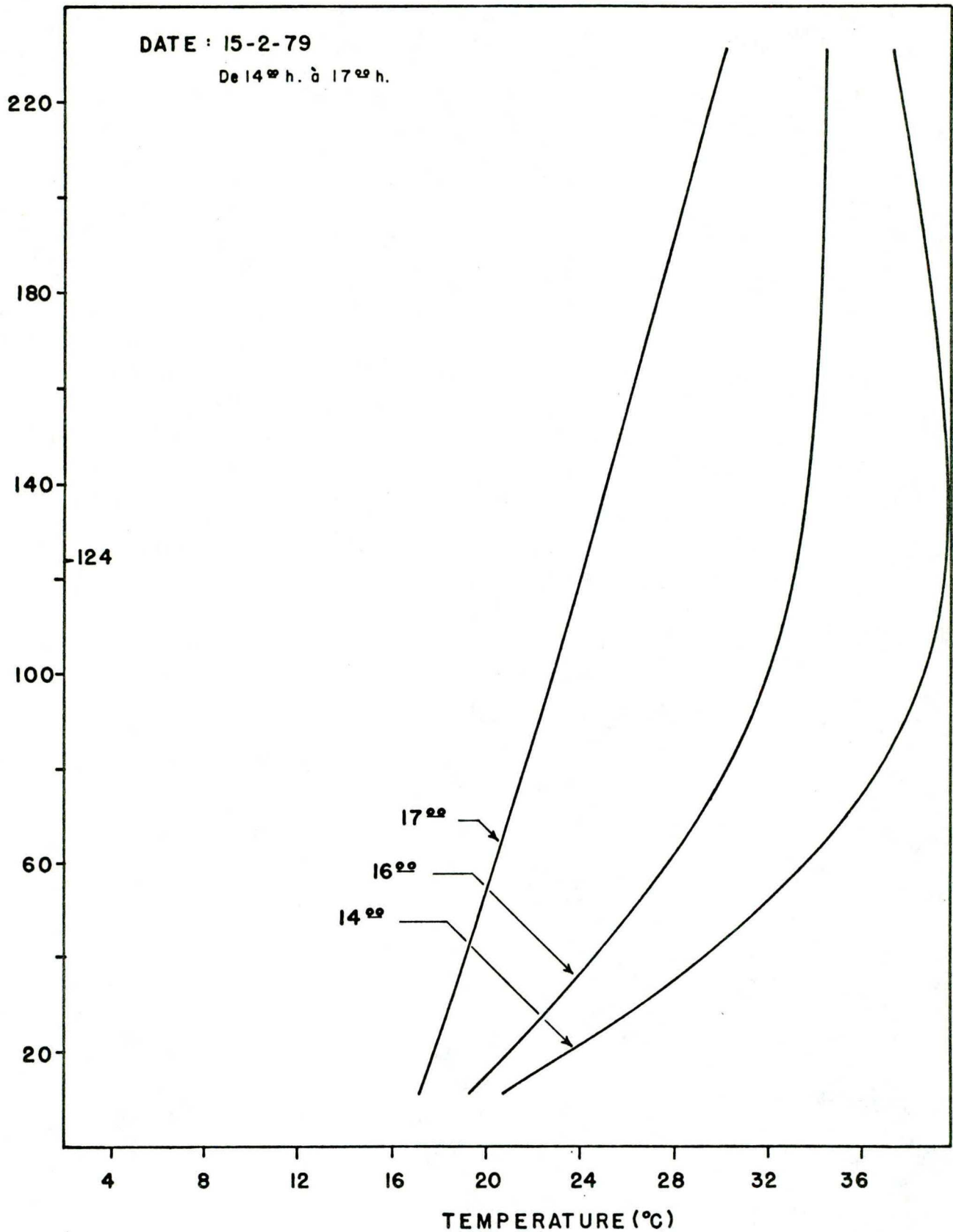


FIG. 20 Courbes de la température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur

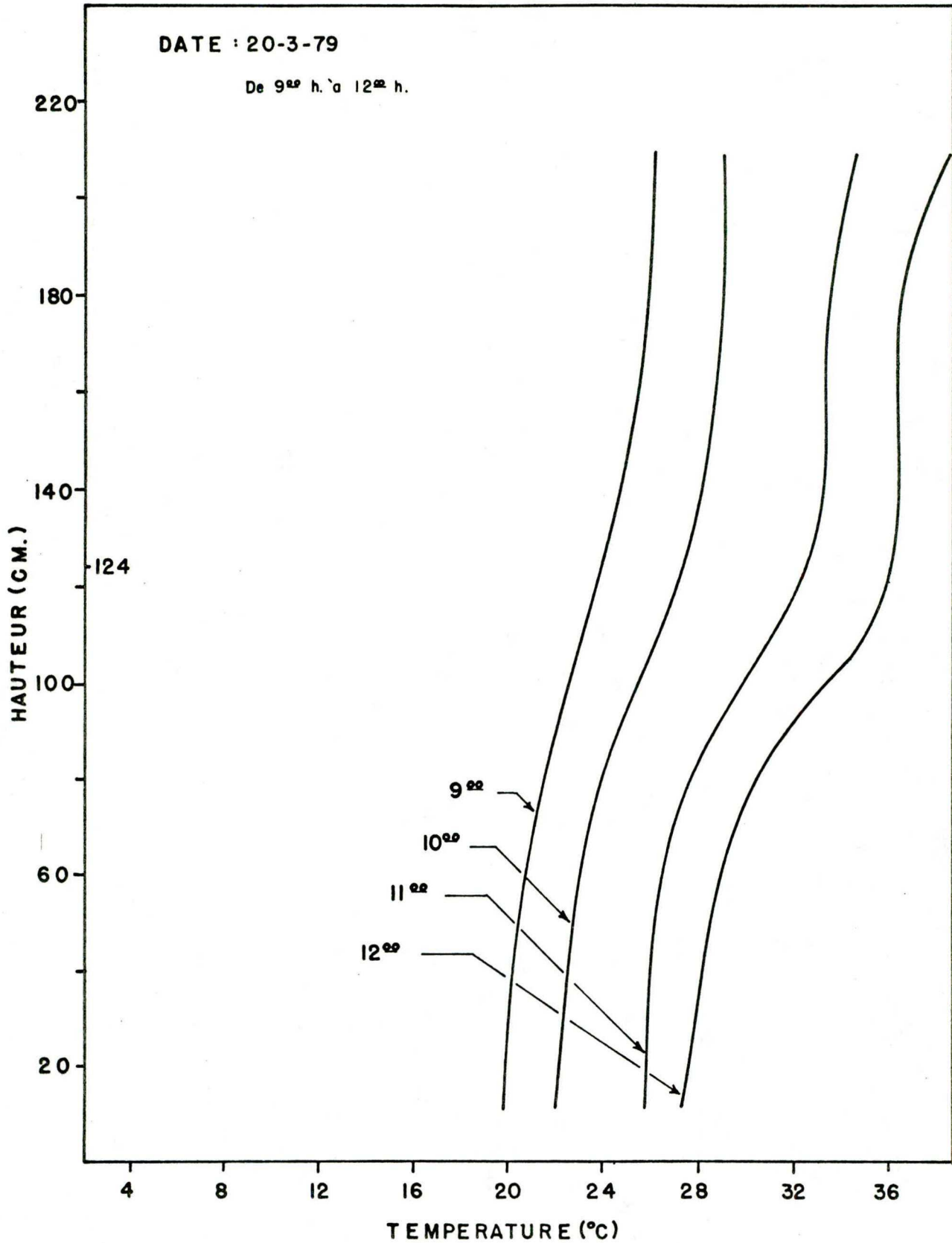


FIG. 21 Courbes de la température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur

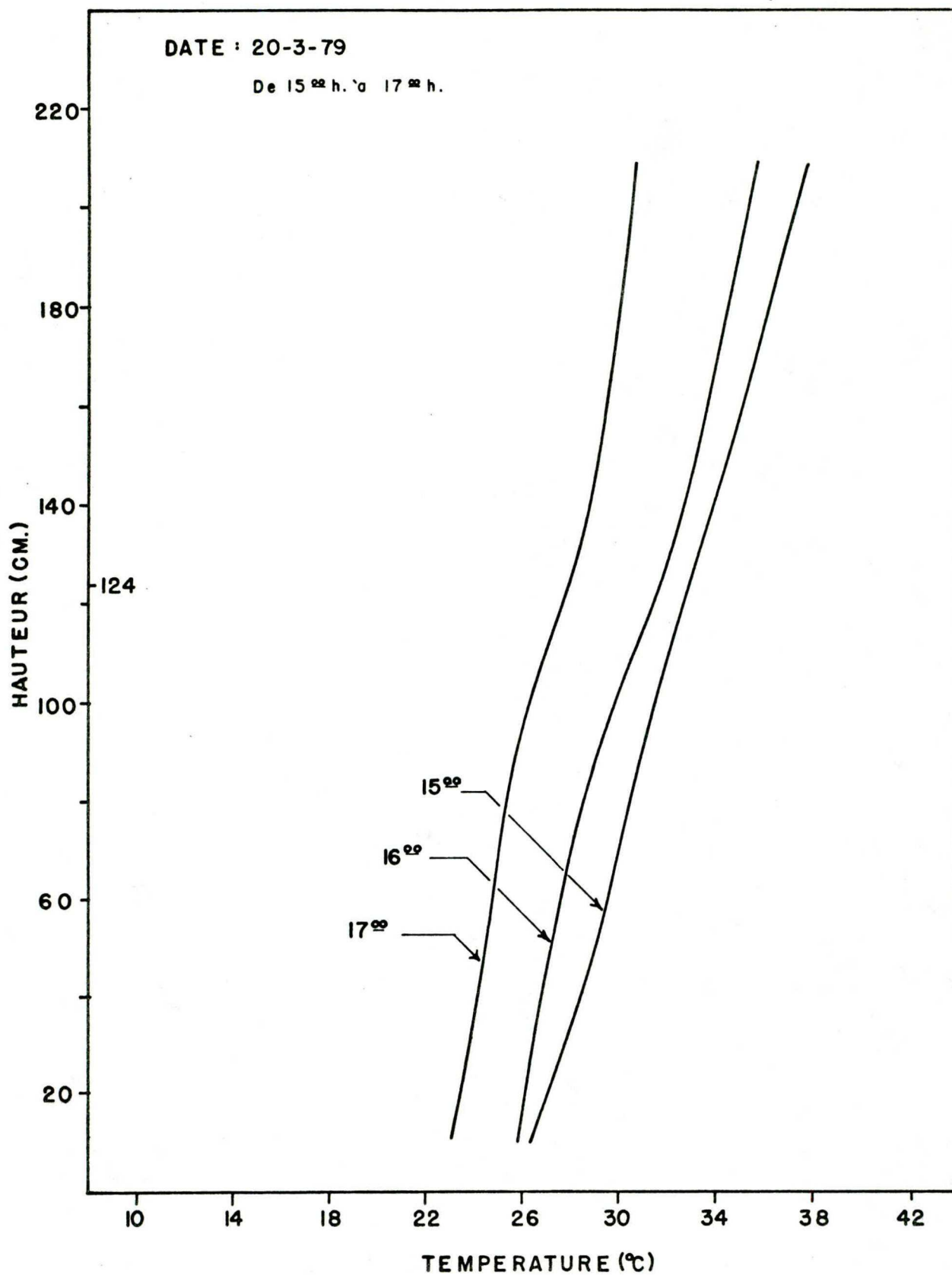


FIG. 22 Courbes de la température de l'air dans la serre en fonction de la hauteur

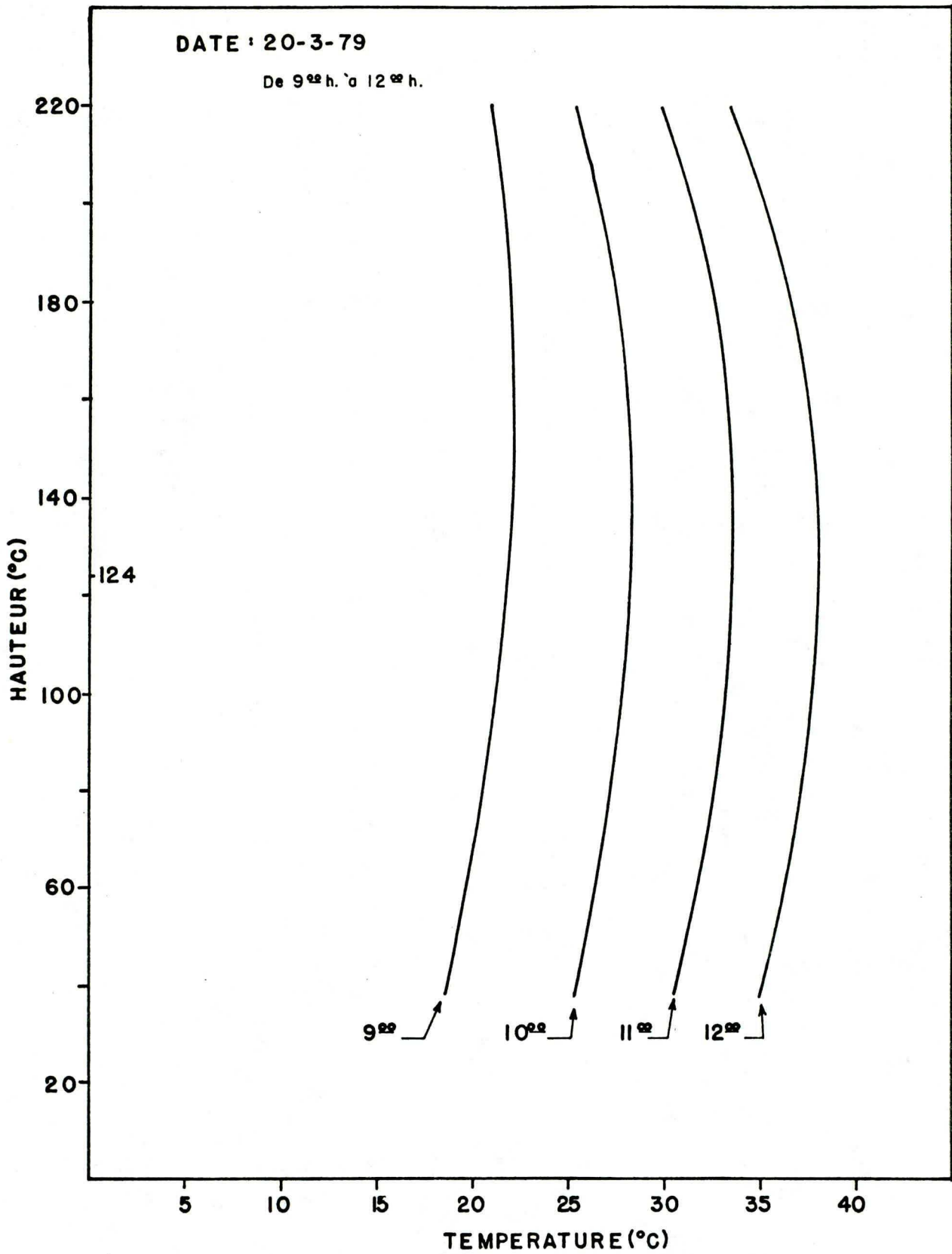


FIG. 23 Courbes de la température du vitrage interne en fonction de la hauteur

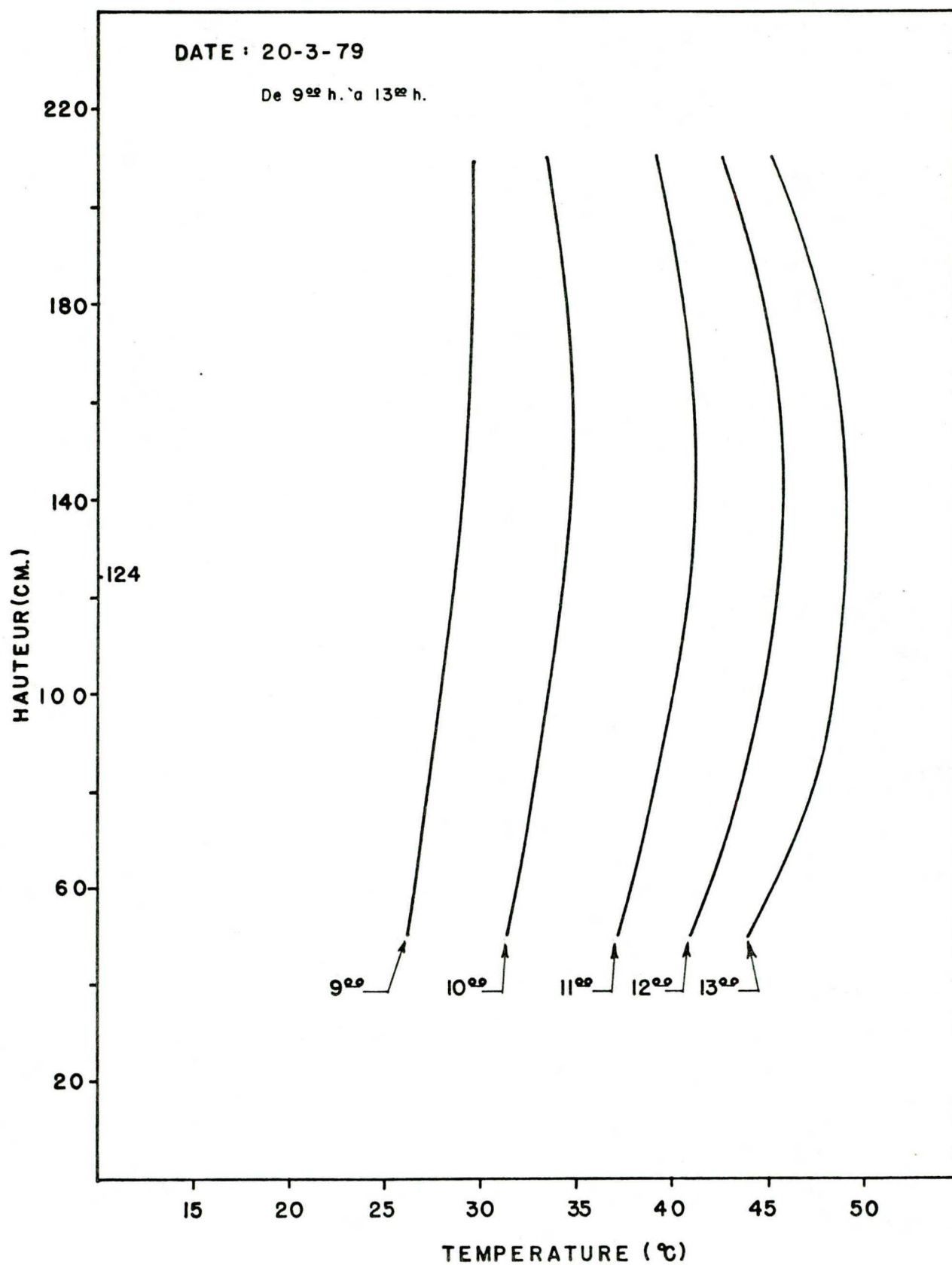


FIG. 24 Courbes de la température de la plaque noire en fonction de la hauteur

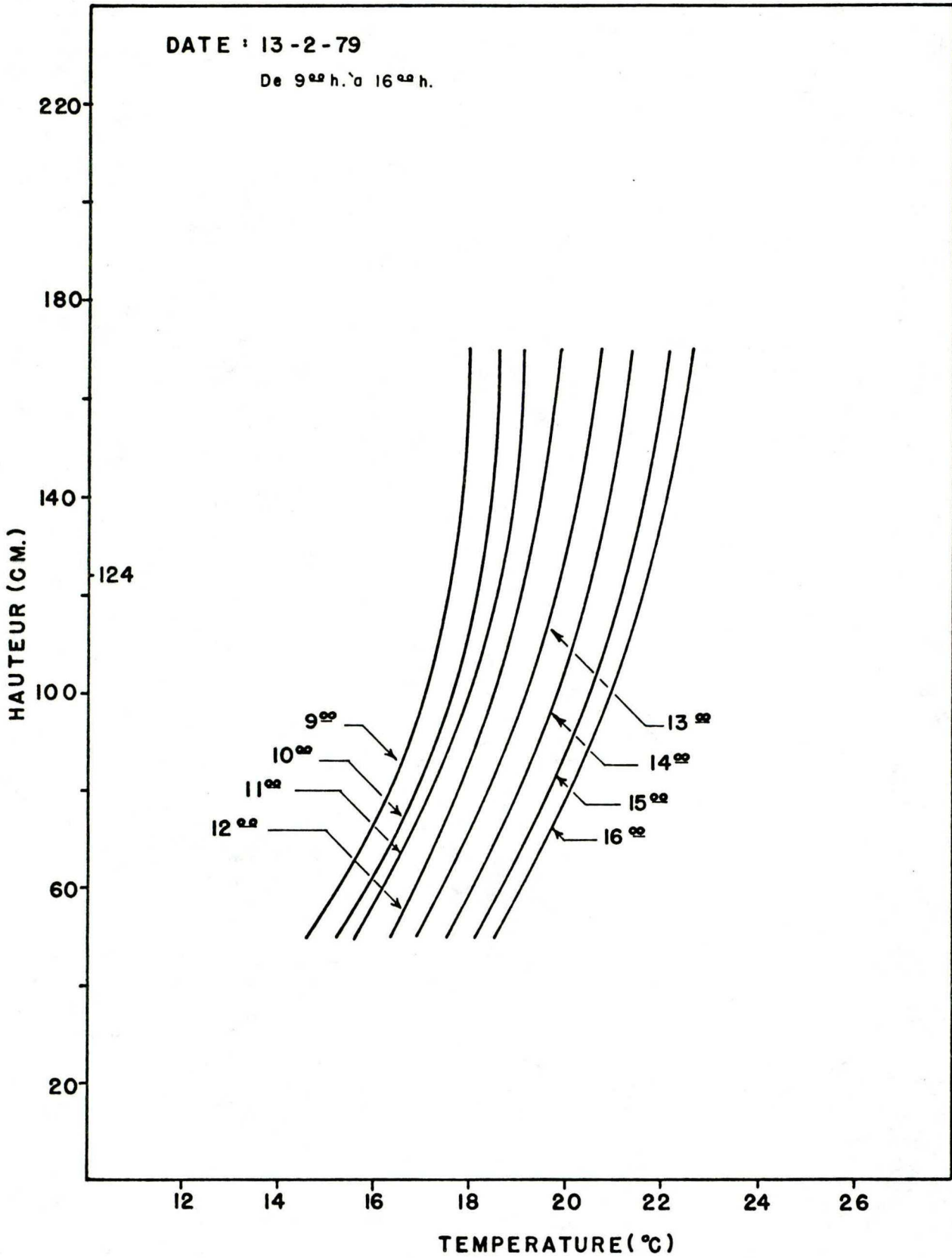


FIG. 25 Courbes de la température de la surface interne du mur en fonction de la hauteur

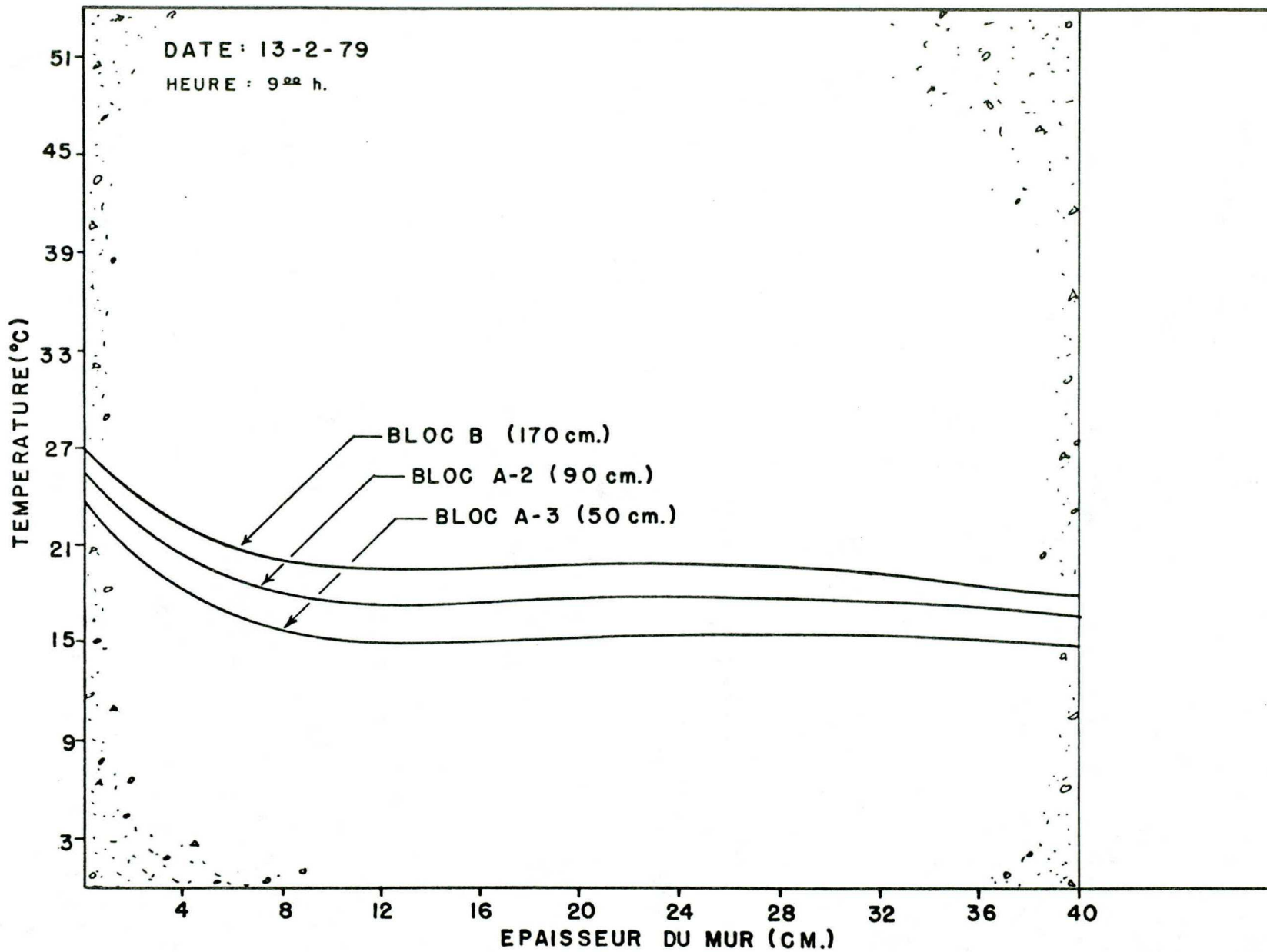


FIG. 26. Distribution de la température dans le mur Trombe à 3 niveaux différents

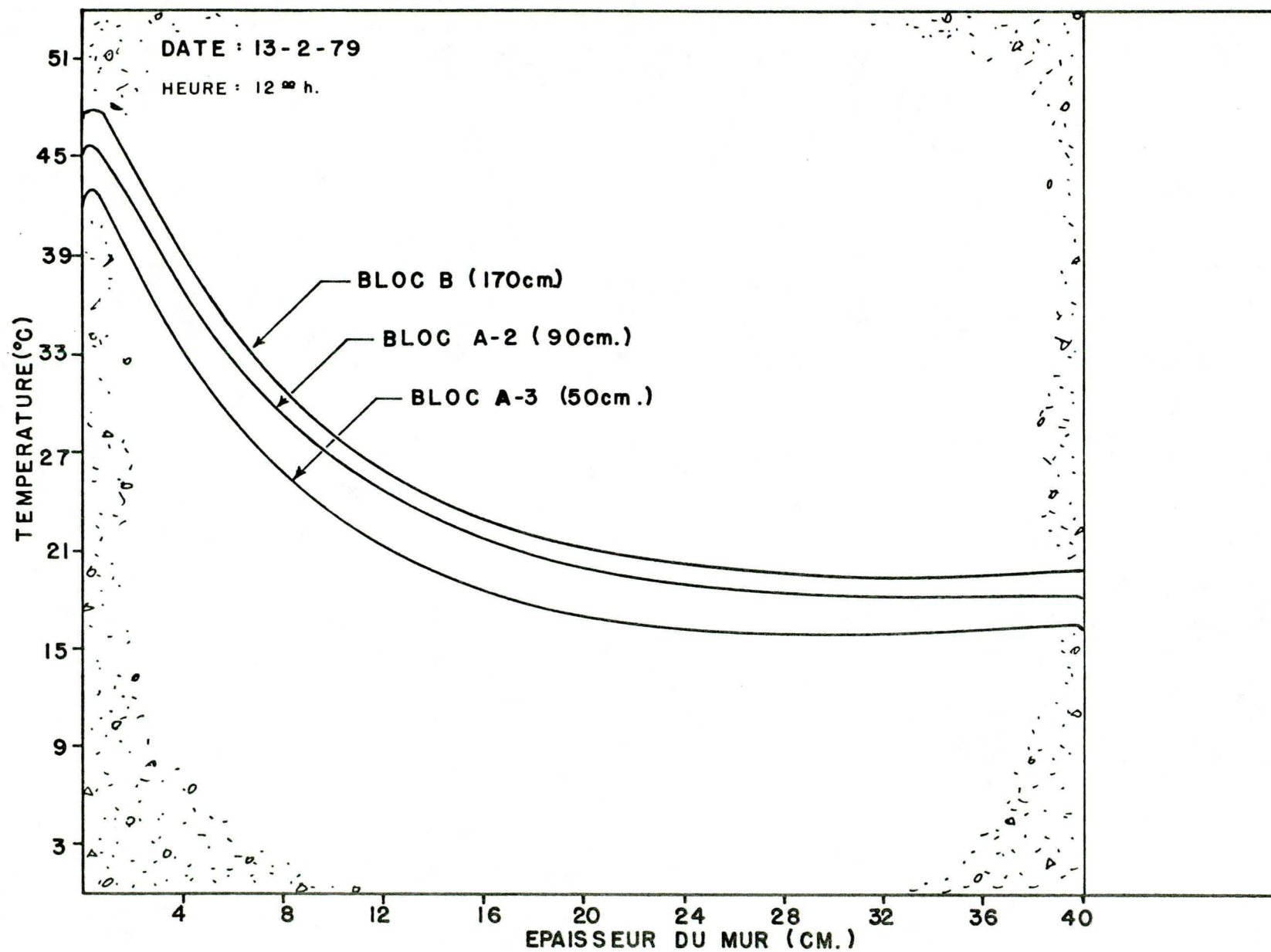


FIG. 27 Distribution de la température dans le mur Trombe à 3 niveaux différents

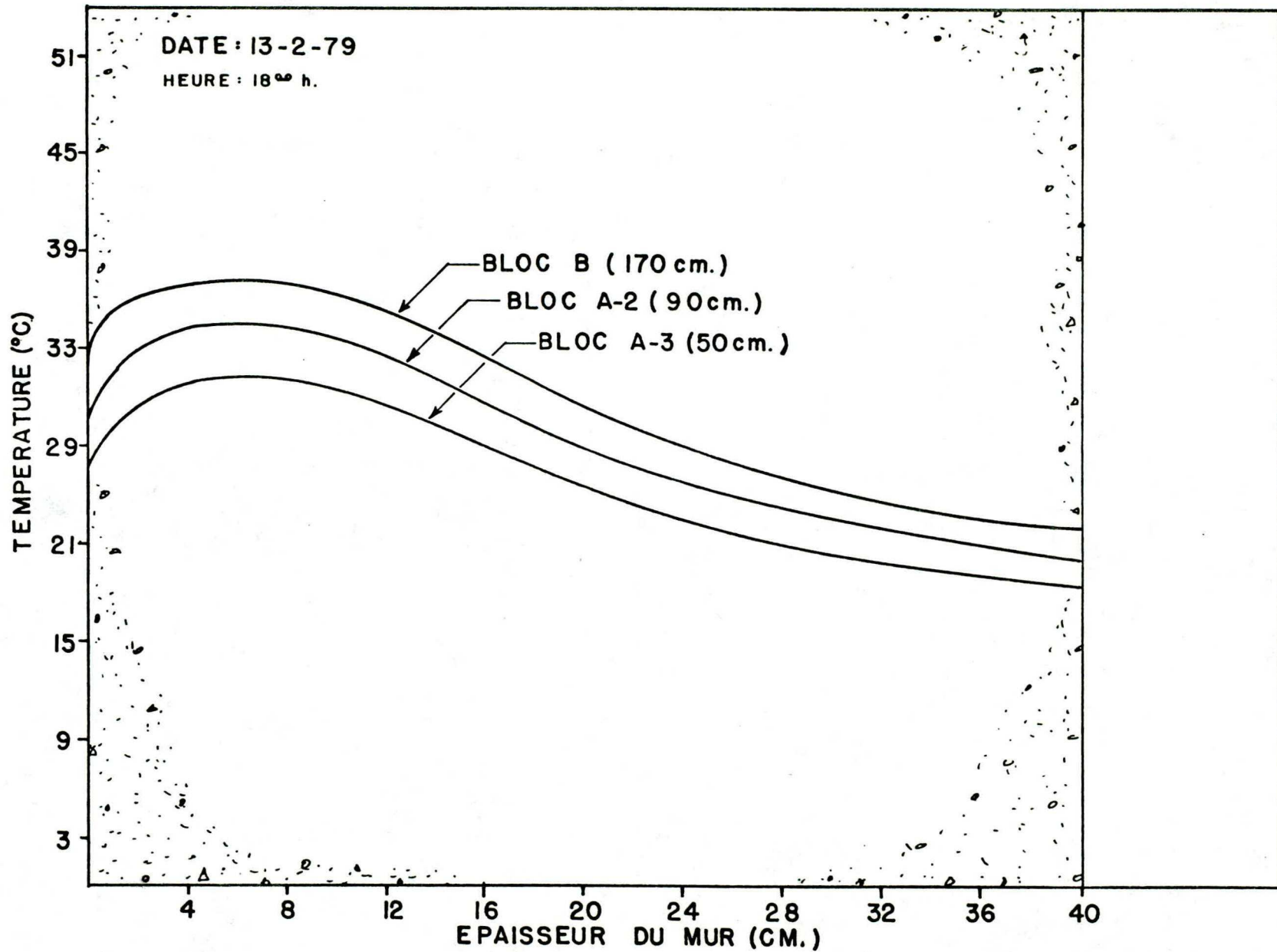


FIG. 28 Distribution de la température dans le mur Trombe à 3 niveaux différents

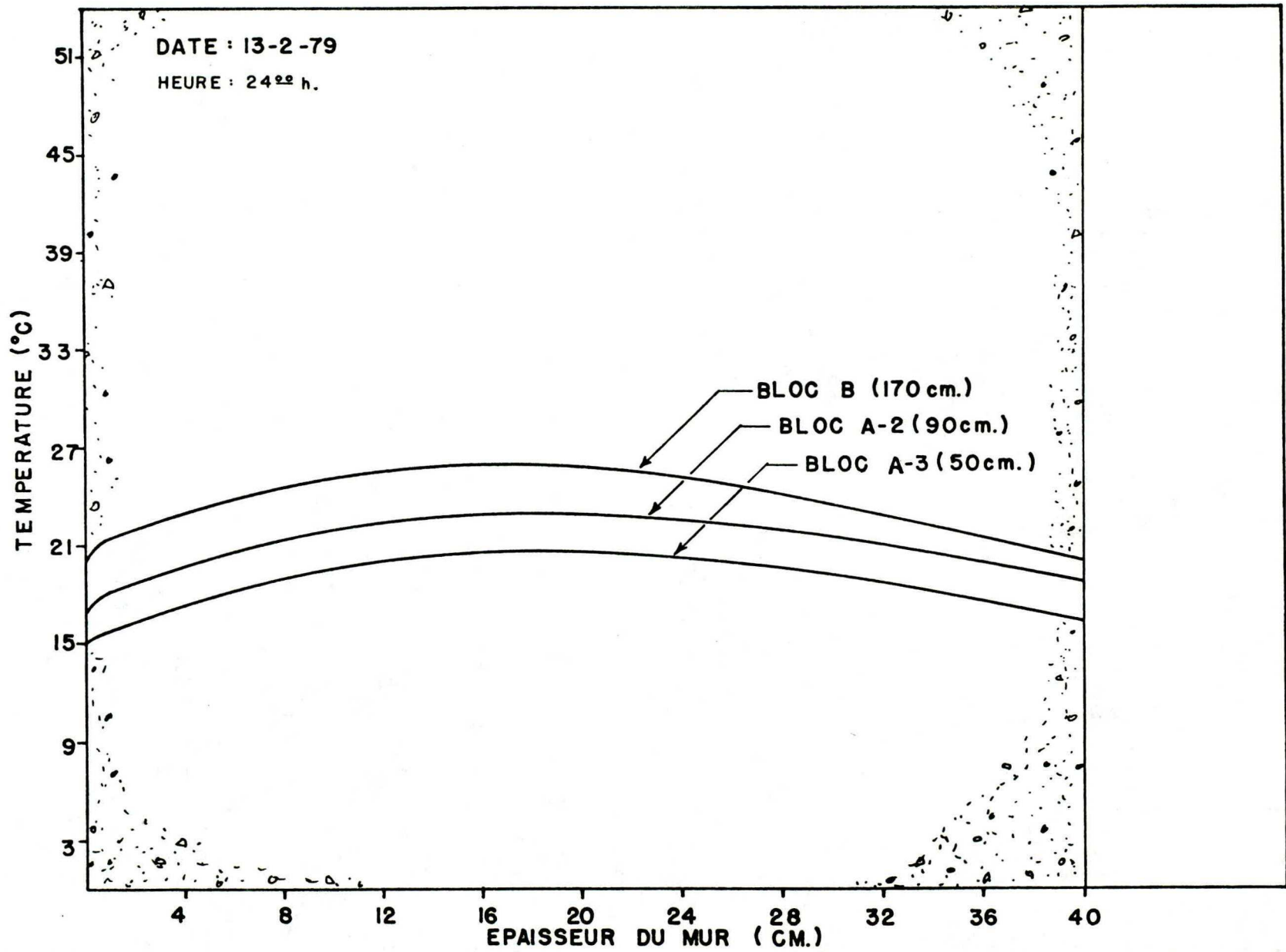


FIG. 29. Distribution de la température dans le mur Trombe à 3 niveaux différents

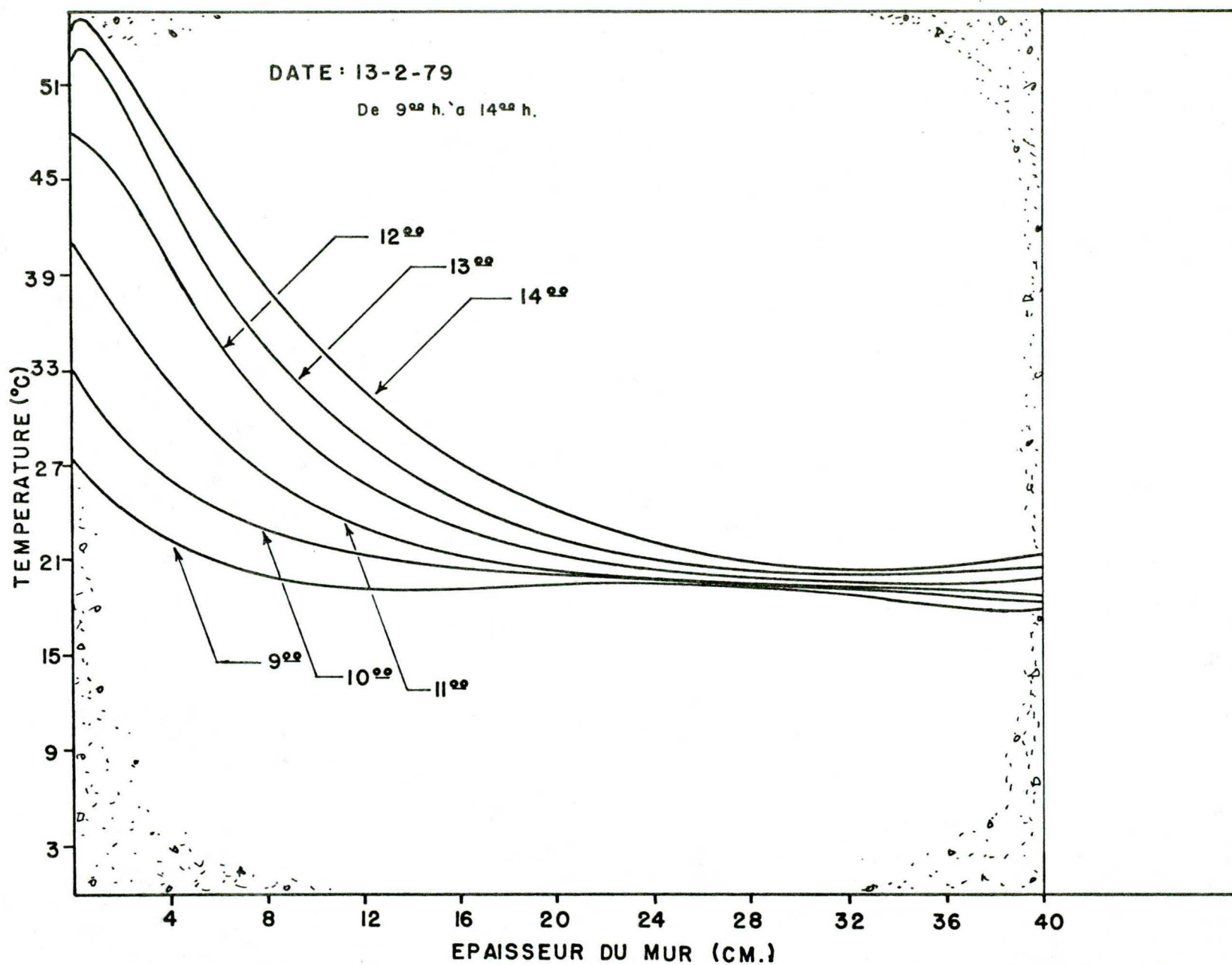


FIG. 30 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

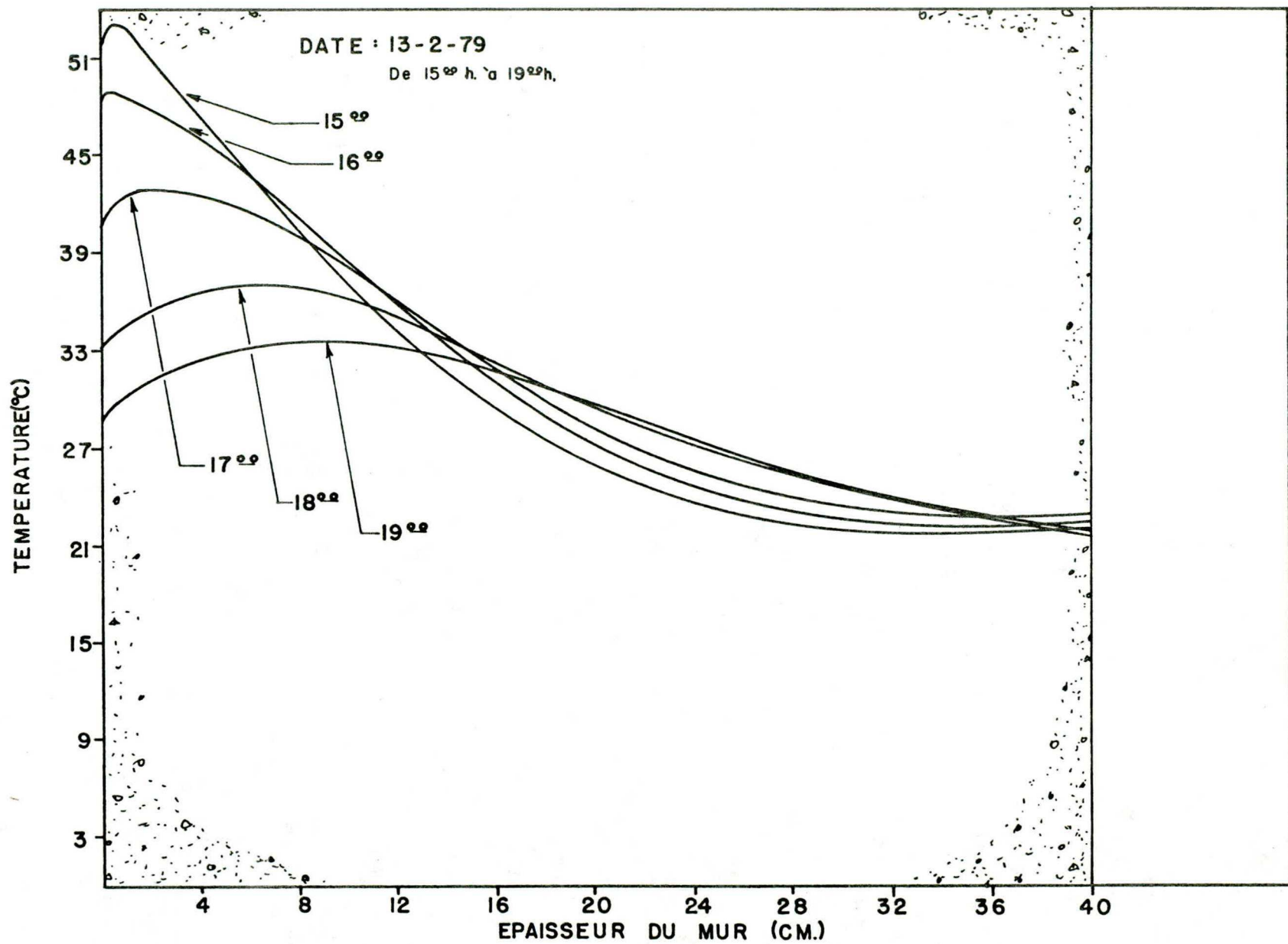
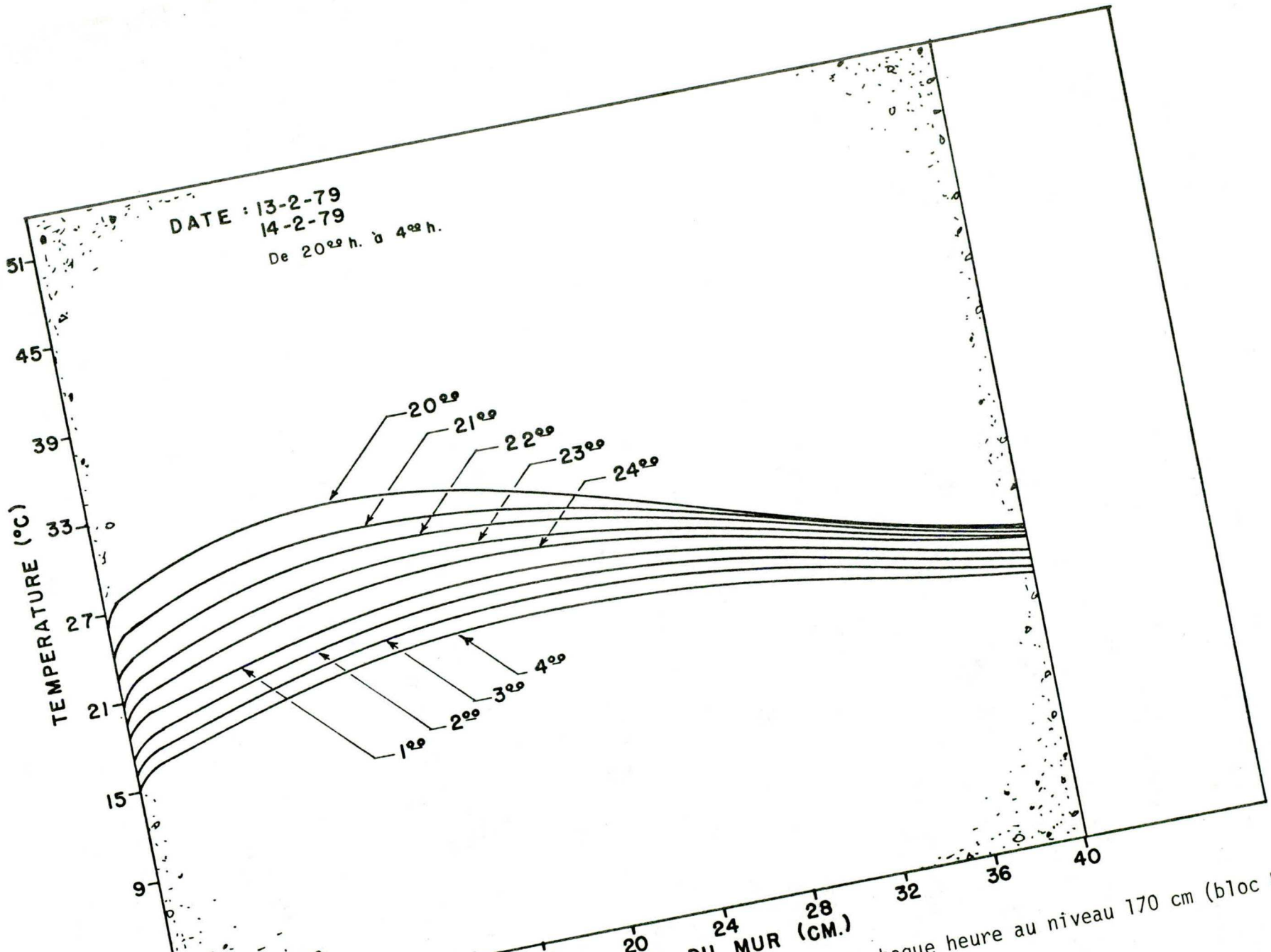


FIG. 31 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

DATE : 13-2-79
14-2-79
De 20^{es} h. à 4^{es} h.



... heure au niveau 170 cm (bloc B)

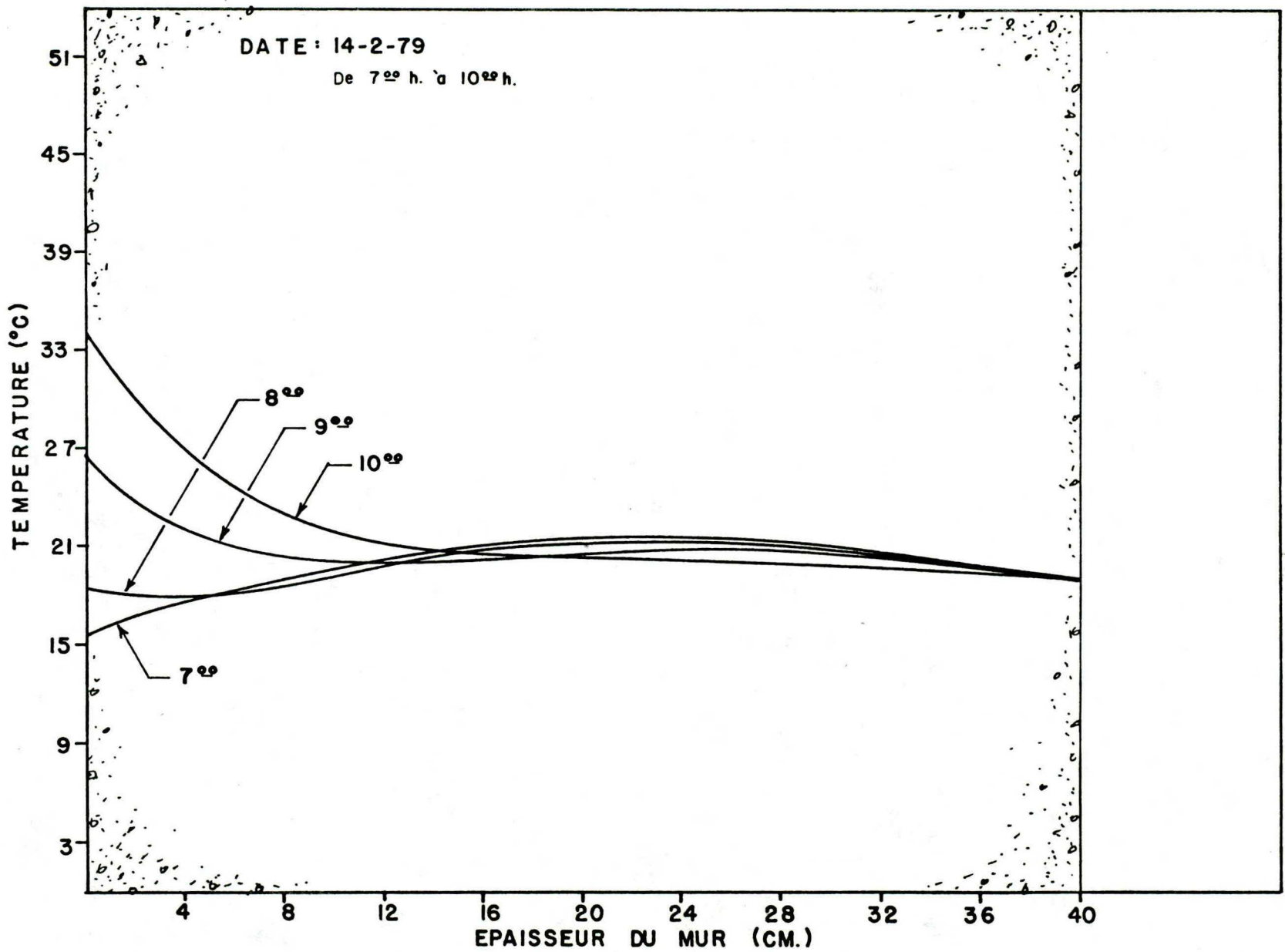


FIG. 33 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

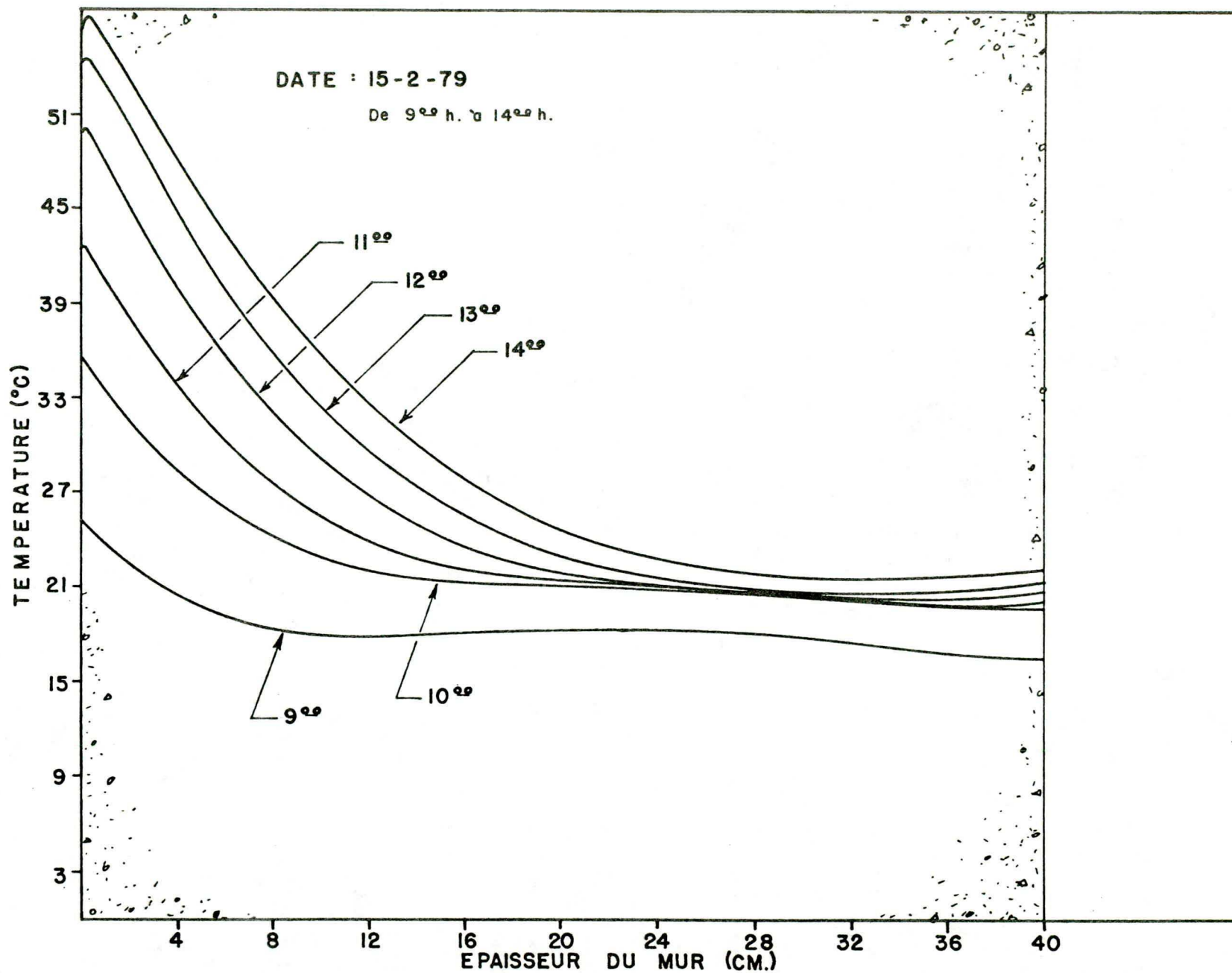


FIG. 34 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

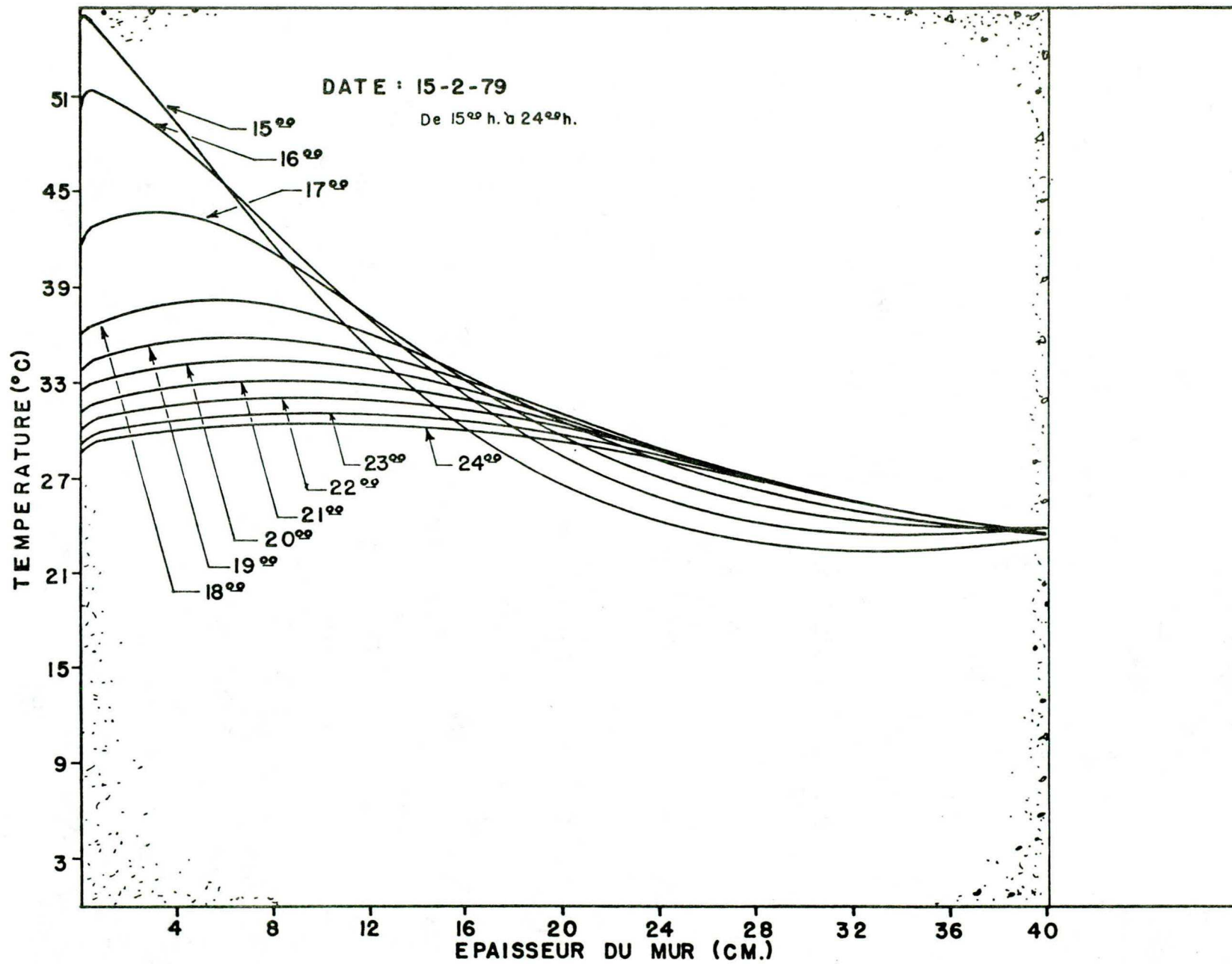


FIG. 35 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

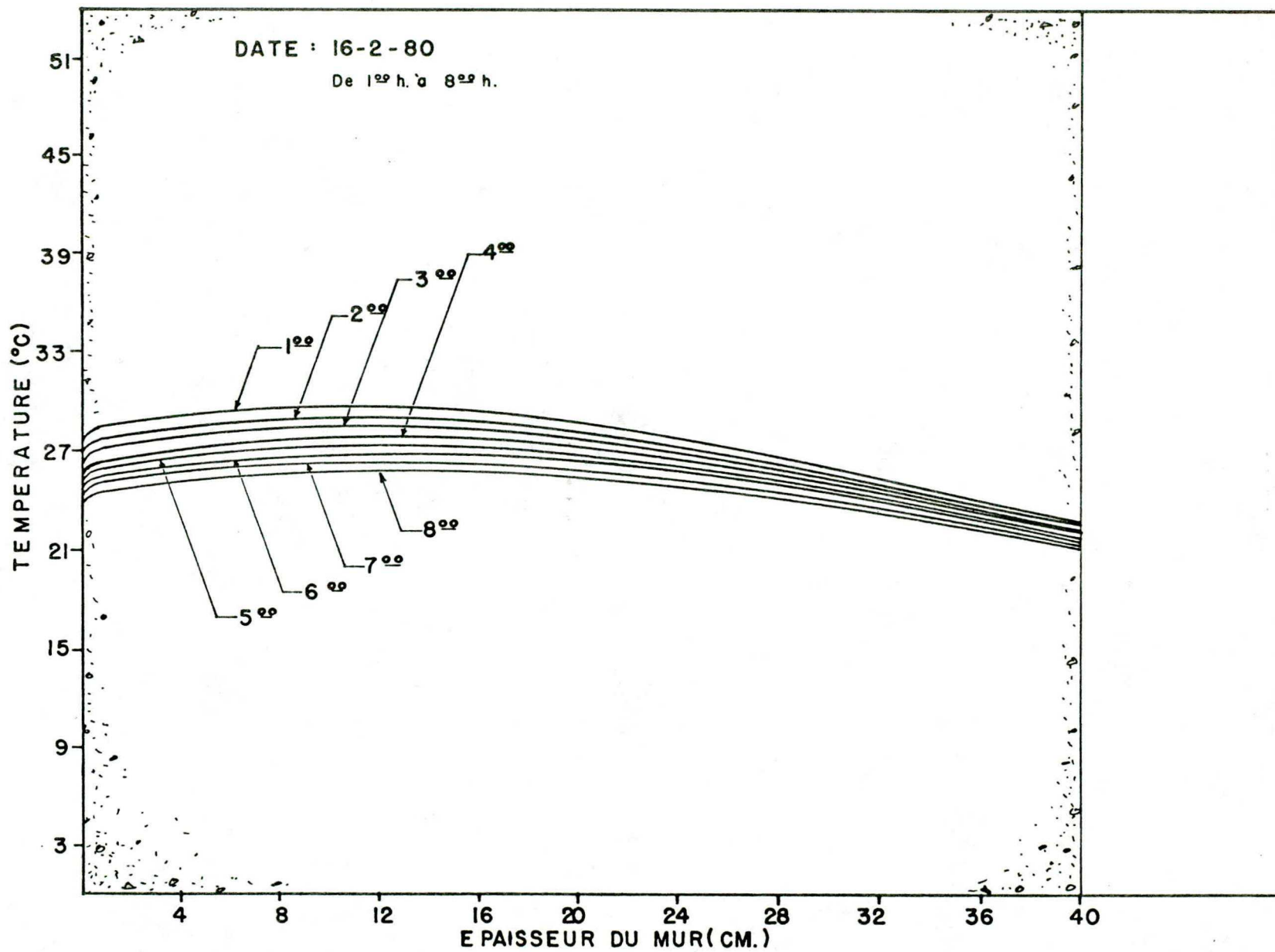


FIG. 36 Distribution de la température dans le mur Trombe à chaque heure au niveau 170 cm (bloc B)

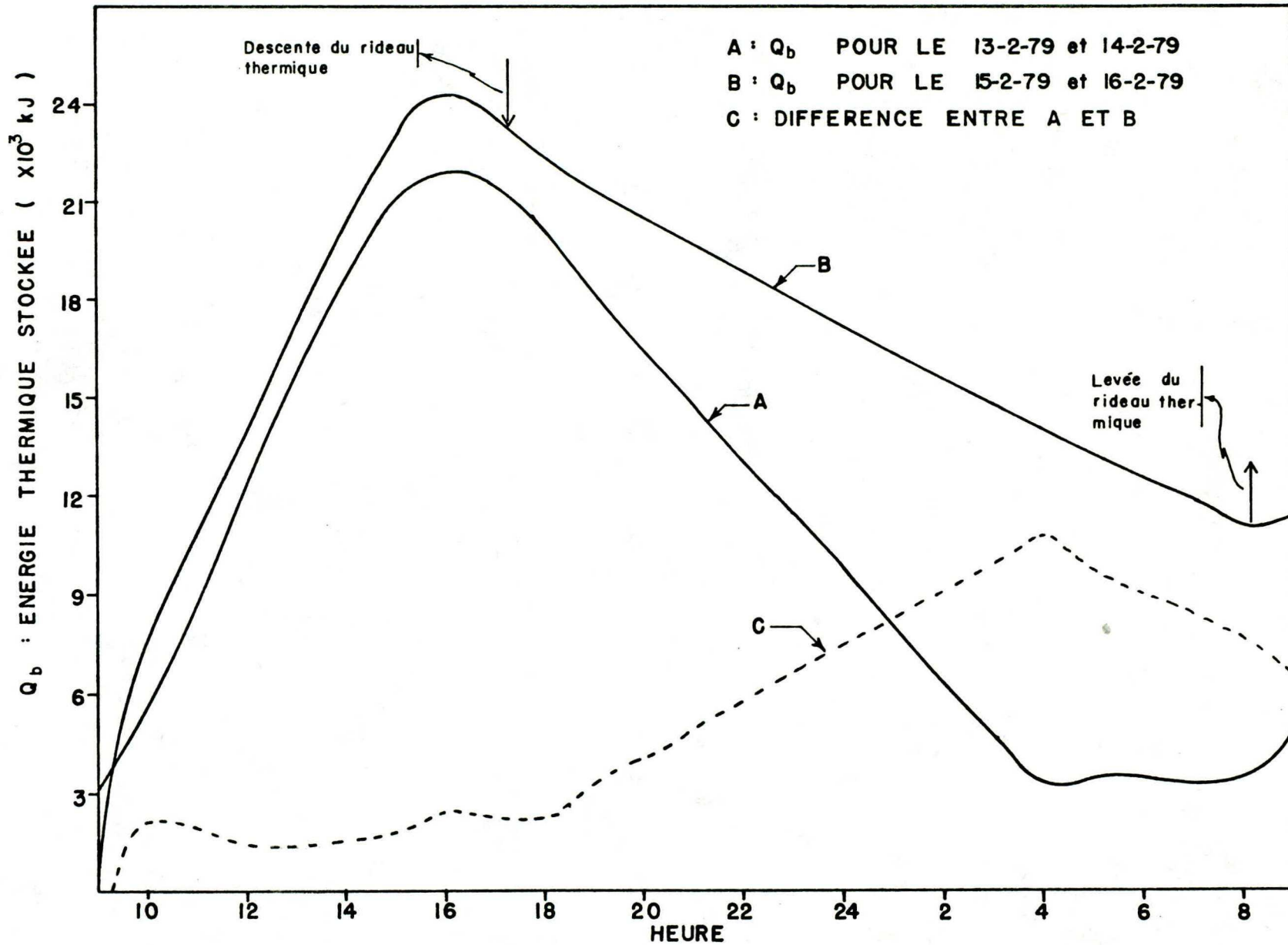


FIG. 37 Energie thermique stockée dans le mur Trombe à chaque heure

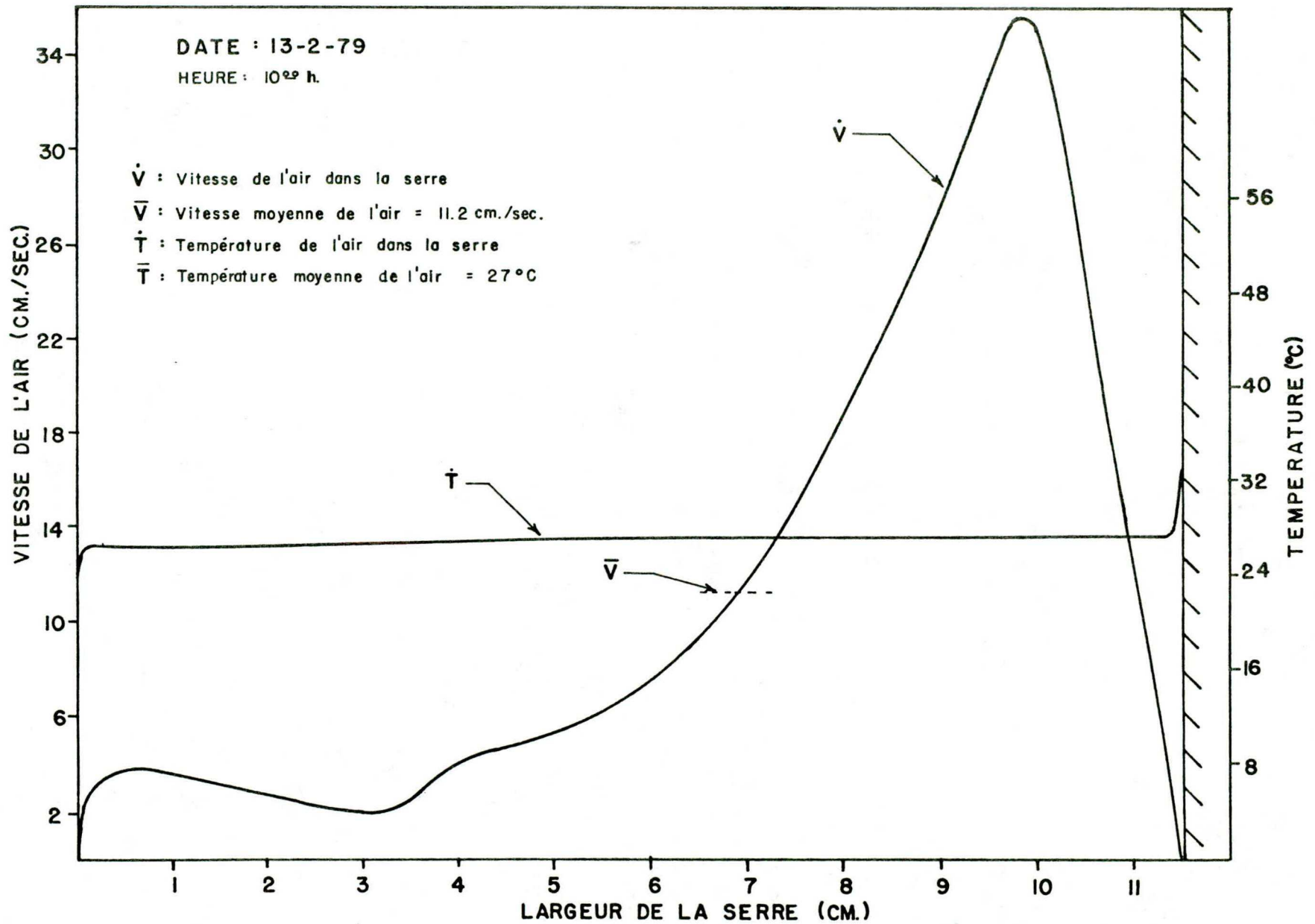


FIG. 38 Profil de température et de la vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm

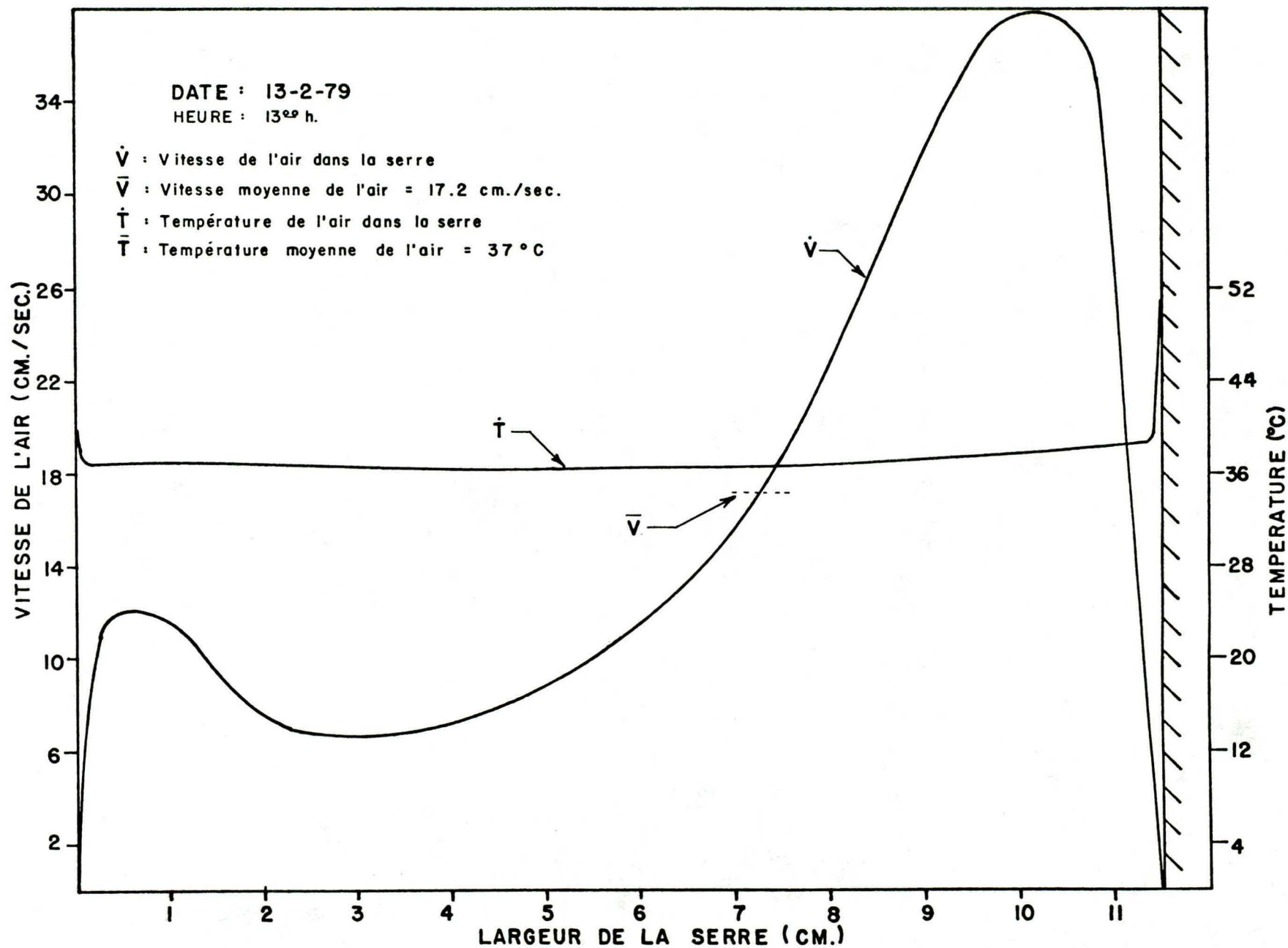


FIG. 39 Profil de température et de la vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm

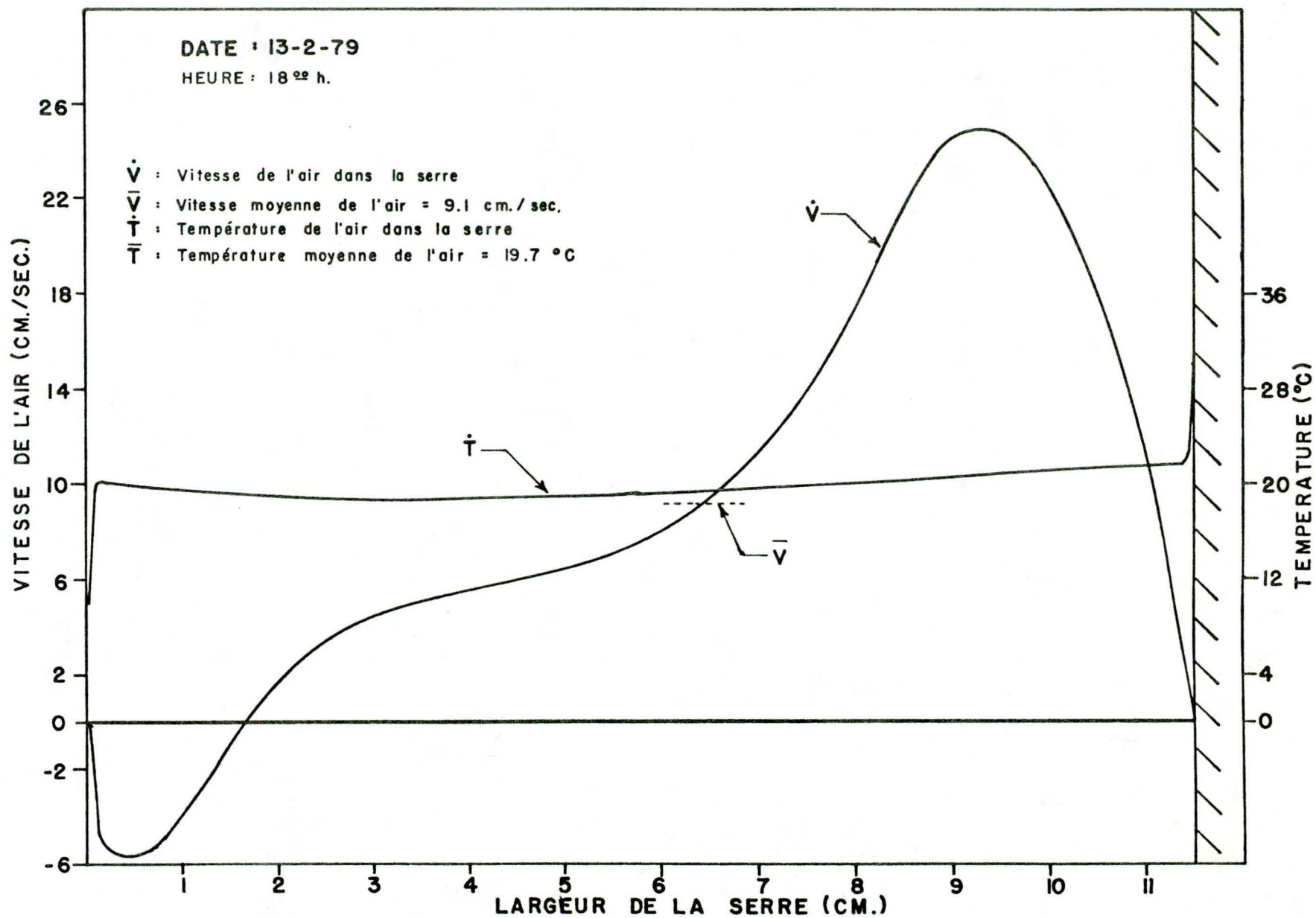


FIG. 40 Profil de température et de la vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm

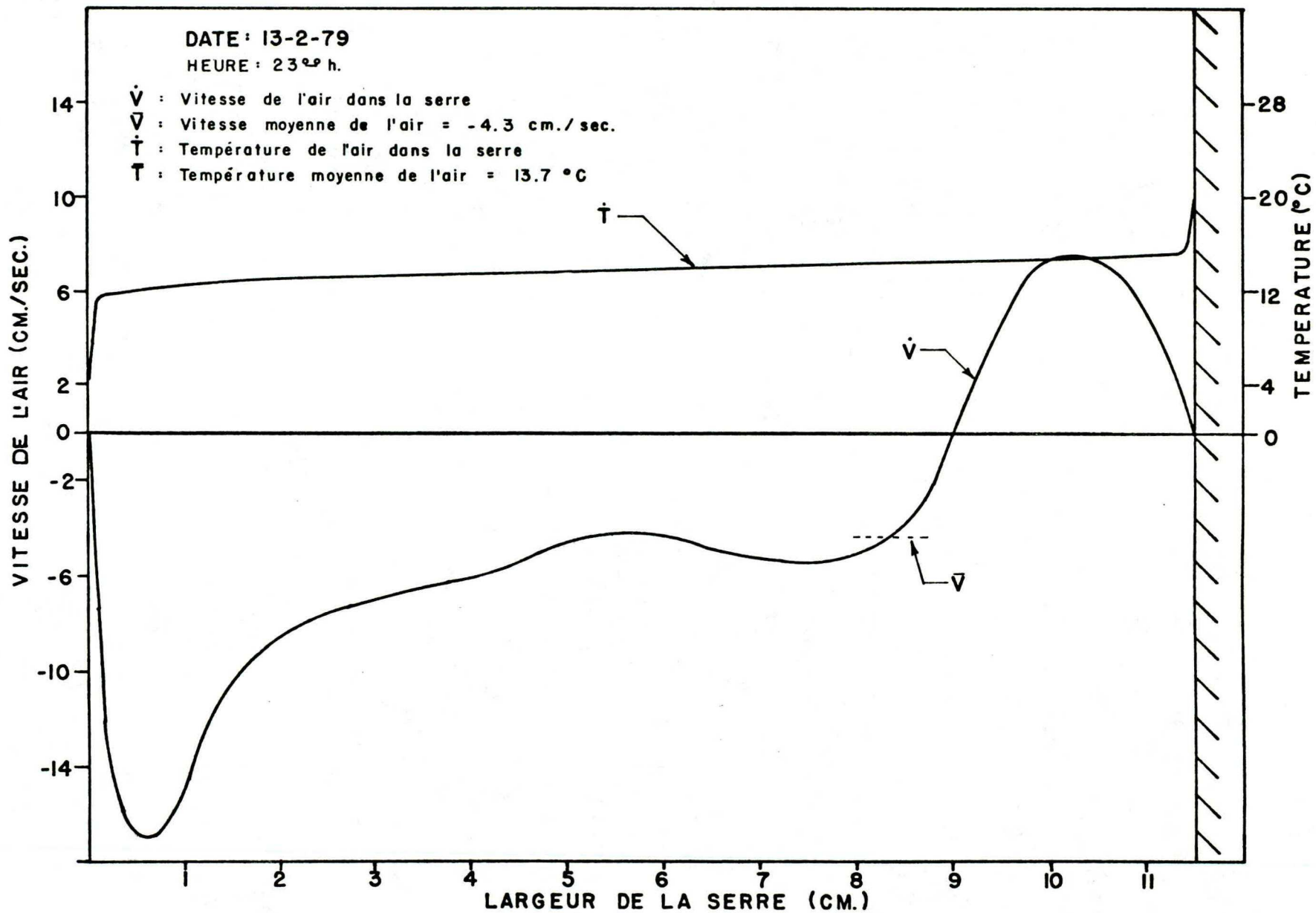


FIG. 41 Profil de température et de la vitesse de l'air dans la serre au niveau 124 cm

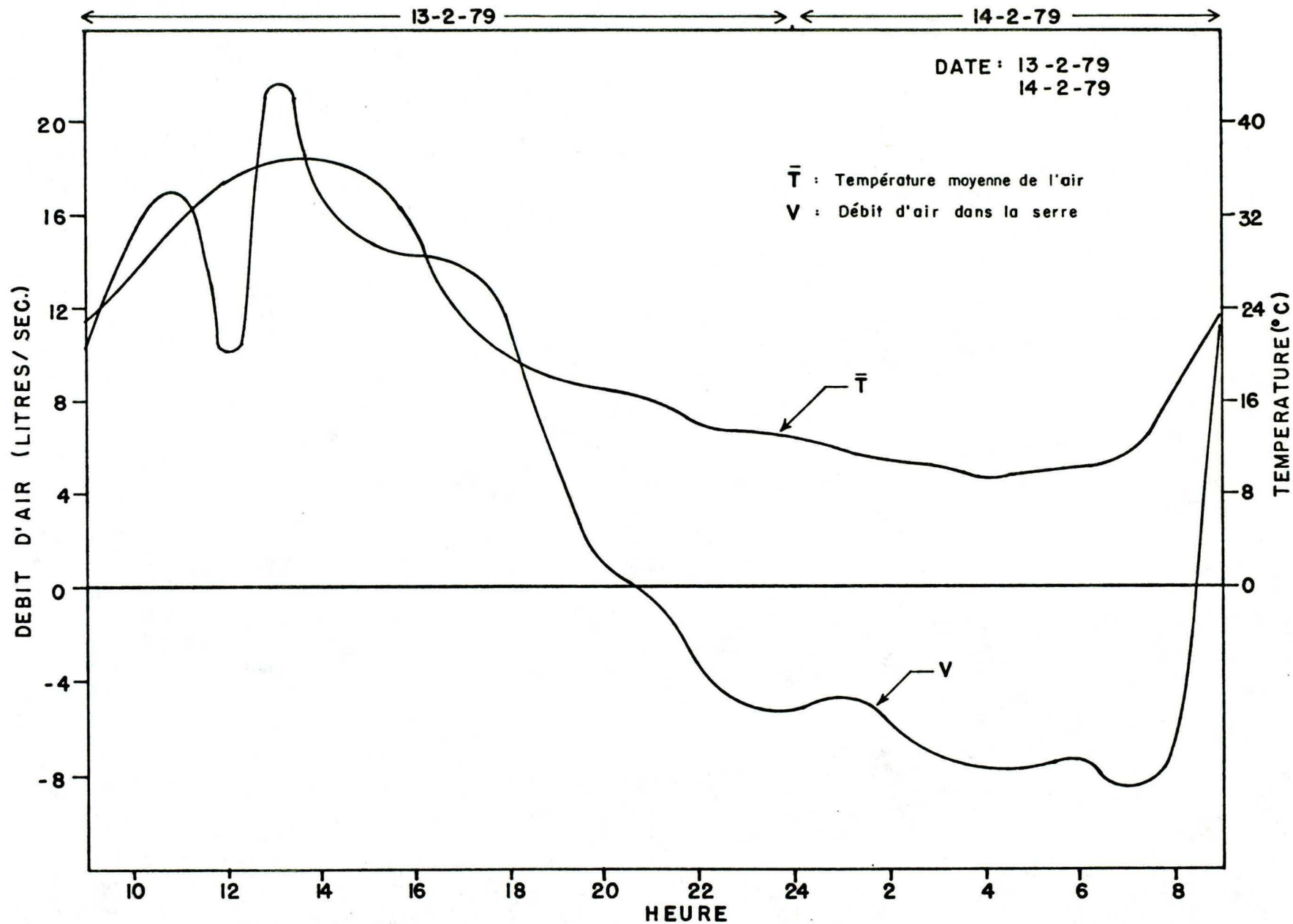


FIG. 42 Variation de la température moyenne et du débit de l'air dans la serre au niveau 124 cm

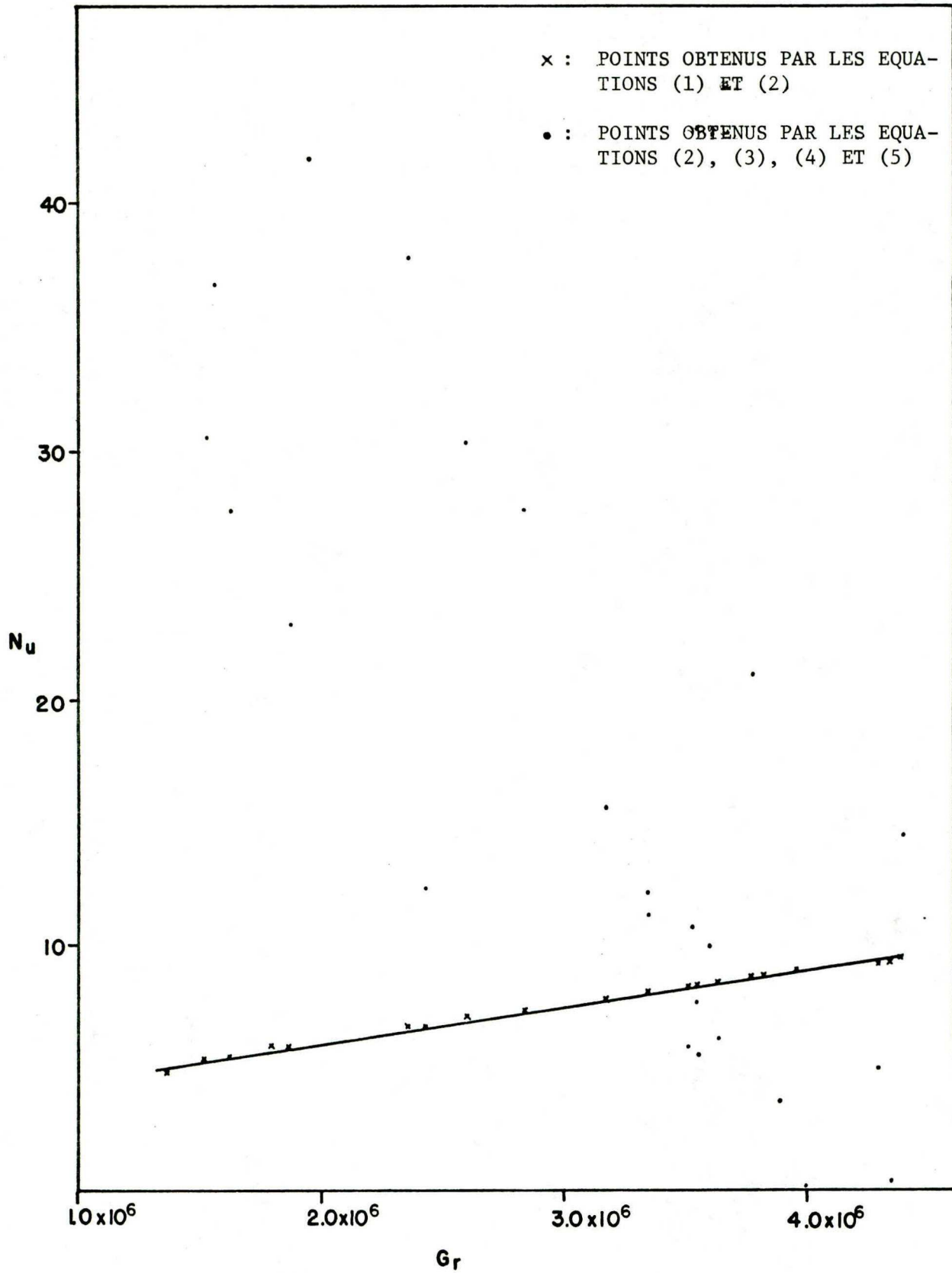


FIG. 43 Nombre de Nusselt versus nombre de Grashof

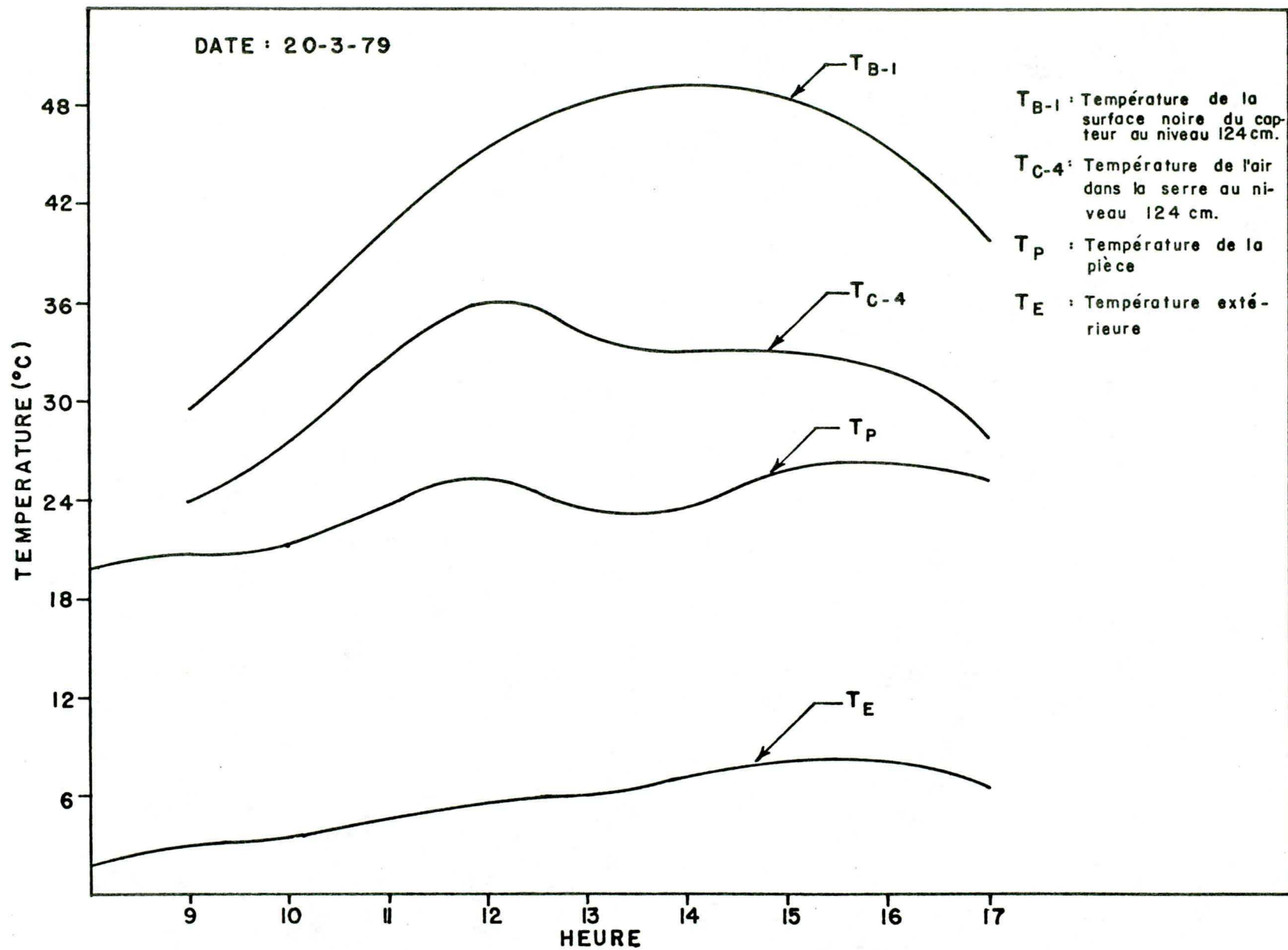


FIG. 44 Courbes des températures extérieure, de la pièce, de la plaque noire au niveau 170 cm et de l'air dans la serre au niveau 124 cm pour le 20-3-79

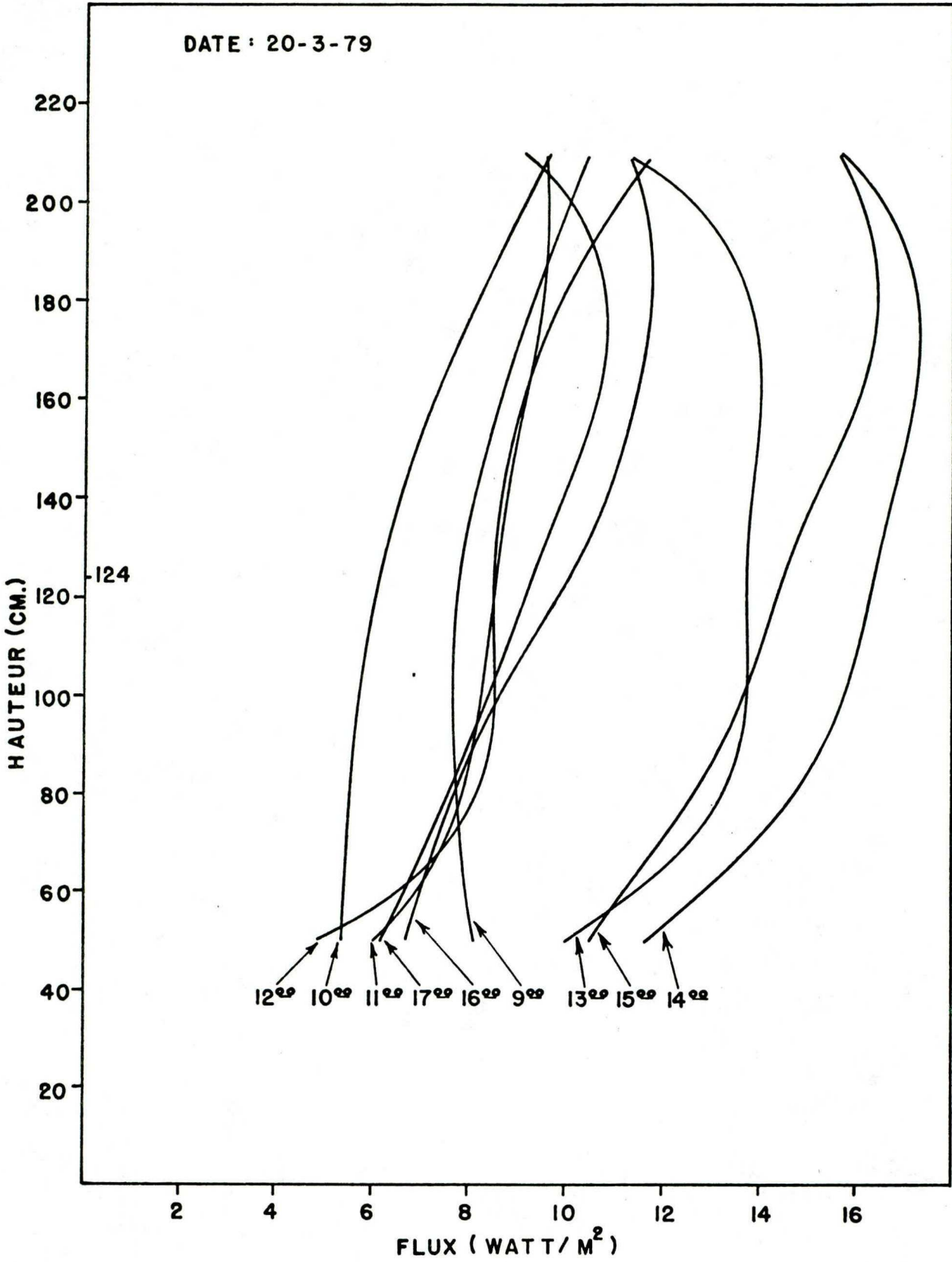


FIG. 45 Courbes du flux de chaleur en fonction de la hauteur pour le 20-3-79

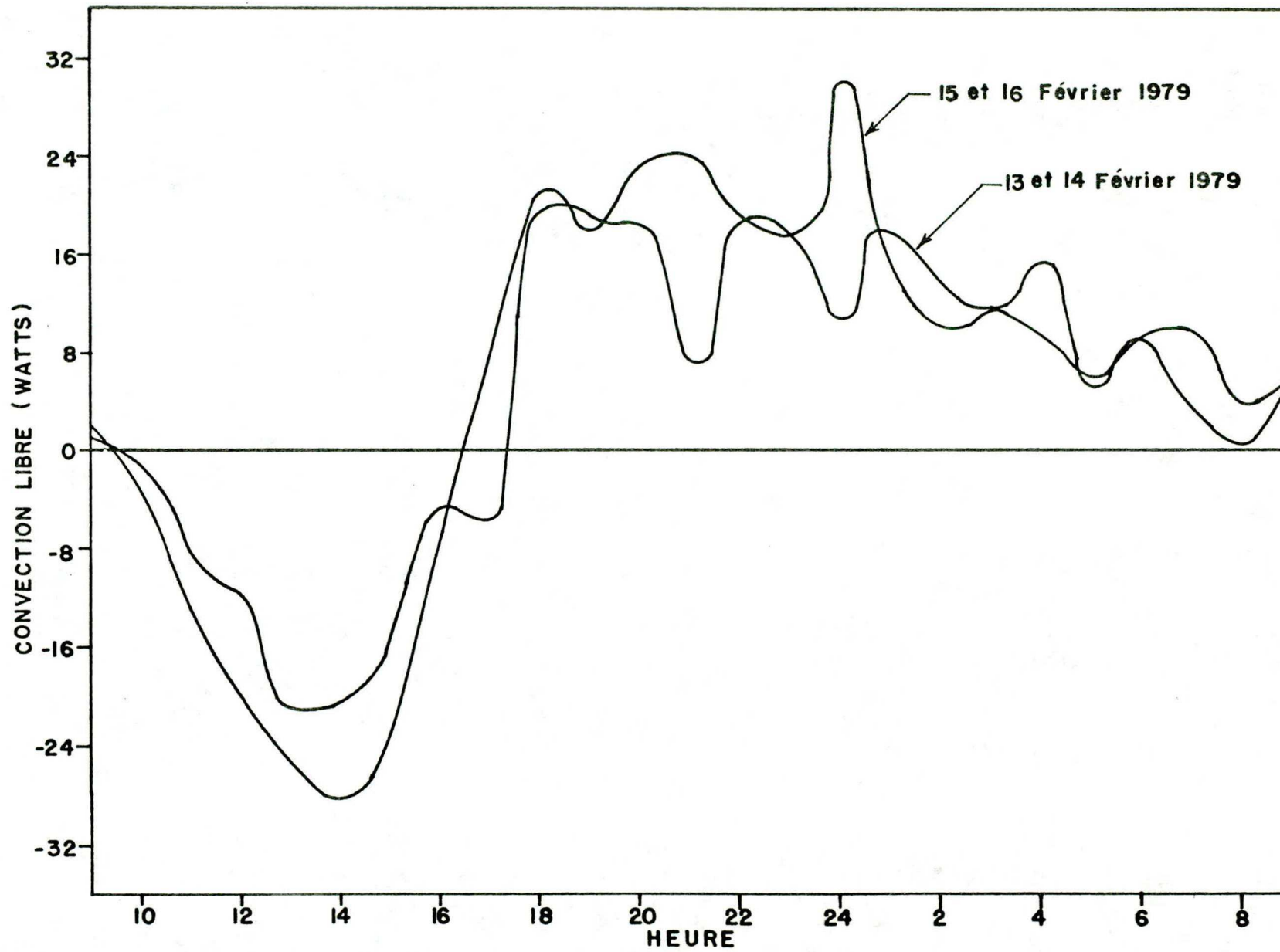


FIG. 46 Convection libre entre la surface interne du mur et l'air de la pièce

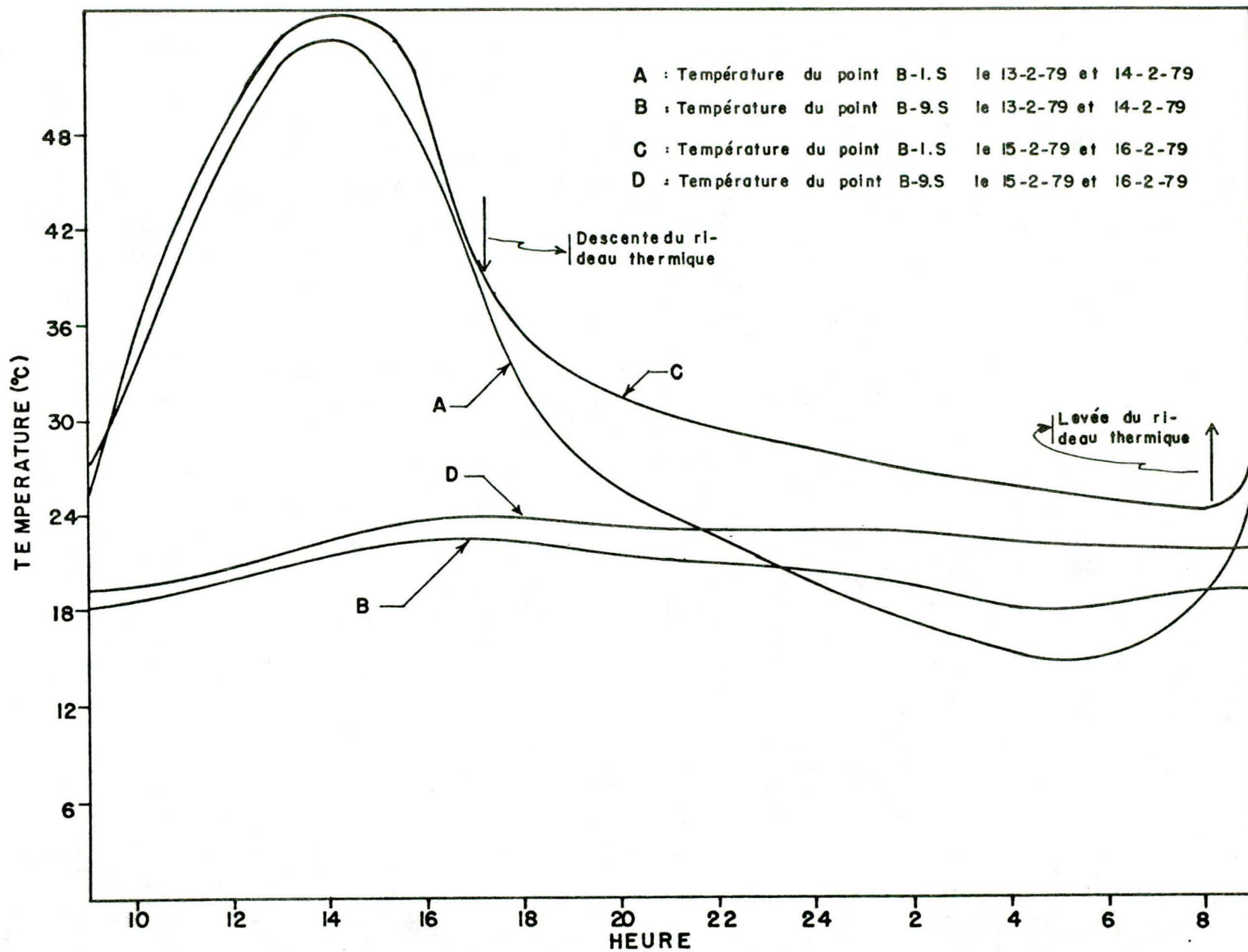


FIG. 47 Température des surfaces interne et externe du mur capteur au niveau 170 cm

ANNEXE 2

TABLEAU I
MESURE DE RAYONNEMENT GLOBAL

	HEURE											TOTAL
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	
13-2-79												
G(Watts-h/m ²)	56.9	359.7	597.9	773.4	821.8	920.5	848.4	687.1	514.4	238.2	8.5	5826.8
G _T (Watts-h)	142.3	899.3	1494.8	1933.5	2054.5	2301.3	2121.0	1717.8	1286.0	595.5	21.3	14567.0
S ^T (Watts-h/m ²)	23.9	199.4	348.3	465.9	493.5	548.6	499.0	391.5	274.8	101.1	0	3346.0
S _T (Watts-h)	59.8	498.5	870.8	1164.8	1233.8	1371.5	1247.5	978.8	687.0	252.8	0	8365.0
τ(%)	42%	55%	58%	60%	60%	60%	59%	57%	53%	42%	0%	57%
14-2-79												
G(Watts-h/m ²)	104.4	441.3	677.6	831.3	928.1	926.2	861.7	730.7	524.8	254.3	10.4	6290.9
G _T (Watts-h)	261.0	1103.3	1694.0	2078.3	2320.3	2315.5	2154.3	1826.8	1312.0	635.8	26.0	15727.3
S(Watts-h/m ²)	31.3	235.3	397.9	503.6	566.1	553.2	510.9	419.9	283.9	112.1	0.92	3615.1
S _T (Watts-h)	78.3	588.3	994.8	1259.0	1415.3	1383.0	1277.3	1049.8	709.8	280.3	2.3	9037.8
τ(%)	30%	53%	59%	61%	61%	60%	59%	57%	54%	44%	9%	57%
15-2-79												
G(Watts-h/m ²)	104.4	427.1	637.7	790.5	890.2	899.7	824.7	726.0	484.9	146.2	0	5949.3
G _T (Watts-h)	261.0	1067.8	1594.3	1976.3	2225.5	2249.3	2106.8	1815.0	1212.3	365.5	0	14873.3
S(Watts-h/m ²)	33.1	221.5	376.8	483.4	550.5	546.8	504.5	419.9	263.8	66.2	0	3466.5
S _T (Watts-h)	82.8	553.8	942.0	1208.5	1376.3	1367.0	1261.3	1049.8	659.5	165.5	0	8666.3
τ(%)	32%	52%	59%	61%	62%	61%	61%	58%	54%	45%		58%
20-3-79												
G(Watts-h/m ²)	174.6	260.0	485.9	589.3	654.8	659.6	602.6	503.0	370.1	177.5	0	4477.4
G _T (Watts-h)	436.5	650.0	1214.8	1373.3	1637.0	1649.0	1506.5	1257.5	925.3	443.8	0	11193.5
S(Watts-h/m ²)	35.8	148.9	266.5	349.2	394.3	392.4	350.1	282.1	184.7	68.0	0	2472.0
S _T (Watts-h)	89.5	372.3	666.3	873.0	985.8	981.0	875.3	703.3	461.8	170.0	0	6180.0
τ(%)	21%	57%	55%	59%	60%	59%	58%	56%	50%	38%		55%

$$\tau(\%) \equiv \frac{S \text{ (Watts-h/m}^2\text{)}}{G \text{ (Watts-h/m}^2\text{)}} \times 100\%$$

TABLEAU II
 ANGLE D'INCIDENCE DU RAYONNEMENT SOLAIRE (θ)

DATE	HEURE	δ (degrés)	ω (degrés)	θ (degrés)
13-2-79	7:30	-13.95	67.5	64.3
	8:30	"	52.5	53.9
	9:30	"	37.5	44.2
	10:30	"	22.5	36.3
	11:30	"	7.5	31.5
	12:30	"	-7.5	31.5
	13:30	"	-22.5	36.3
	14:30	"	-37.5	44.2
	15:30	"	-52.5	53.9
	16:30	"	-67.5	64.3
	17:30	"	-82.5	75.0
14-2-79	7:30	-13.62	67.5	64.5
	8:30	"	52.5	54.1
	9:30	"	37.5	44.4
	10:30	"	22.5	36.7
	11:30	"	7.5	31.6
	12:30	"	-7.5	31.6
	13:30	"	-22.5	36.7
	14:30	"	-37.5	44.4
	15:30	"	-55.5	54.1
	16:30	"	-67.5	64.5
	17:30	"	-82.5	75.2
15-2-79	7:30	-13.29	67.5	64.8
	8:30	"	52.5	54.3
	9:30	"	37.5	44.6
	10:30	"	22.5	36.7
	11:30	"	7.5	31.9
	12:30	"	-7.5	31.9
	13:30	"	-22.5	36.7
	14:30	"	-37.5	44.6
	15:30	"	-52.5	54.3
	16:30	"	-67.5	64.8
	17:30	"	-82.5	75.4
20-3-79	7:30	-0.81	67.5	73.6
	8:30	"	52.5	63.6
	9:30	"	37.5	54.9
	10:30	"	22.5	48.0
	11:30	"	7.5	44.2
	12:30	"	-7.5	44.2
	13:30	"	-22.5	48.0
	14:30	"	-37.5	54.9
	15:30	"	-52.5	63.6
	16:30	"	-67.5	73.6
	17:30	"	-82.5	84.1

TABLEAU III

TEMPERATURE DE LA PIECE ET TEMPERATURE EXTERIEURE

	13-2-79		14-2-79		15-2-79		16-2-79		20-3-79	
	T _P (°C)	T _E (°C)	T _P (°C)	T _E (°C)	T _P (°C)	T _E (°C)	T _P (°C)	T _E (°C)	T _P (°C)	T _E (°C)
9	17.5	-19.0			15.1	-21.0			20.8	3.0
10	18.6	-18.0			19.9	-20.0			21.3	3.5
11	20.9	-18.0			21.9	-20.0			23.8	4.5
12	21.9	-18.0			23.6	-18.0			25.5	5.5
13	24.3	-18.0			25.5	-17.0			23.7	6.0
14	24.9	-19.0			26.6	-16.0			23.4	7.0
15	24.5	-19.0			26.7	-16.0			26.1	8.0
16	23.1	-19.0			24.5	-17.0			26.2	8.0
17	23.5	-20.0			21.1	-18.0			25.3	6.5
18	17.2	-20.4			18.2	-19.0				
19	16.9	-20.7			18.7	-19.0				
20	16.8	-20.4			17.8	-20.0				
21	18.8	-20.9			17.6	-19.0				
22	16.5	-21.8			18.4	-17.0				
23	16.4	-21.9			18.6	-18.0				
24	17.4	-22.4			16.6	-18.0				
1			15.5	-23.9			18.5	-18.4		
2			15.5	-25.5			19.4	-18.9		
3			15.5	-26.5			18.8	-18.7		
4			13.9	-27.7			19.0	-19.2		
5			15.9	-27.8			19.5	-19.9		
6			15.8	-27.3			18.6	-19.5		
7			17.3	-26.7			18.2	-20.1		
8			18.1	-25.0			19.3	-19.0		
9			17.1	-22.0			18.9	-19.0		

TABLEAU IV

TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA SERRE EN FONCTION DE LA HAUTEUR (°C)

Hauteur (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
3-2-79																								
11									11.7	14.2	16.3	17.7	19.2	19.7	19.7	18.4	16.9	14.4	13.0	12.9	11.8	10.2	9.4	10.0
124									23.0	27.0	31.5	35.3	37.0	37.0	35.0	31.0	23.5	19.7	17.8	17.1	16.0	14.5	13.7	13.1
231									20.6	24.1	28.5	31.2	35.0	36.0	35.2	33.0	29.8	25.9	22.1	20.5	18.9	17.2	16.9	16.6
14-2-79																								
11	8.5	7.8	7.5	6.3	7.2	7.5	8.3	9.4	10.2															
124	11.7	11.0	10.3	9.2	10.0	10.0	11.0	16.5	23.5															
231	16.2	15.9	15.8	14.5	15.4	16.7	17.6	17.9	19.0															
15-2-79																								
11									9.5	13.8	16.1	17.8	19.5	20.7	20.7	19.2	17.2	15.4	13.2	12.6	12.1	11.9	11.4	10.8
124									23.5	29.5	33.0	36.3	38.7	39.7	38.2	33.3	24.3							
231									18.4	26.0	29.7	33.3	36.0	37.6	37.6	34.6	30.3	29.1	26.1	23.6	23.2	22.0	21.2	20.4
16-2-79																								
11	10.5	10.5	9.9	9.5	8.1	8.4	8.4	7.0	10.2															
124																								
231	20.9	21.1	20.6	20.4	20.7	20.0	19.8	20.1	20.7															
20-3-79																								
11									20.0	22.0	25.8	27.3	23.5	23.4	26.4	25.9	23.1							
50									20.3	22.9	26.2	28.5	26.3	26.2	29.1	27.3	24.5							
90									22.2	24.4	28.4	31.3	29.6	29.1	31.0	29.1	25.7							
124									24.0	27.3	32.7	36.2	33.6	33.0	33.0	31.9	27.9							
170									25.8	29.0	33.4	36.1	35.1	34.8	35.7	34.2	29.8							
209									26.2	29.1	34.6	38.5	37.5	37.2	37.9	35.8	30.8							

TABLEAU V
TEMPERATURE DU VITRAGE INTERIEUR ET EXTERIEUR EN FONCTION DE LA HAUTEUR (°C)

HAUTEUR (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13-2-79																								
V-1+38									15.3	18.2	27.2	32.7	36.0	34.9	32.6	27.7	17.1	6.7	4.1	3.7	3.9	2.7	2.0	1.3
V-3+220									23.1	29.1	36.8	41.1	43.2	41.9	38.4	33.5	22.6	13.2	10.1	9.1	7.9	6.8	6.2	6.5
V-4+220									7.4	10.7	21.2	24.7	10.7	8.2	1.1	-0.8	-8.4	-15.3	-14.8	-13.7	-14.8	-15.8	-15.1	-15.4
14-2-79																								
V-1+38	0.0	-0.8	-1.5	-2.9	-2.7	-2.1	-1.7	2.5	13.6	16.7														
V-3+220	5.7	4.8	4.6	3.6	4.3	5.2	5.9	10.8	20.2	27.5														
V-4+220	-17.2	-18.1	-19.0	-21.2	-21.3	-20.8	-11.1	3.2	3.2	-0.4														
15-2-79																								
V-1+38									14.0	21.2	27.8	34.6	37.3	37.9	36.8	27.5	16.9	3.4	-4.2	-5.8	-5.8	-5.1	-5.4	-5.9
V-3+220									22.1	32.6	38.0	43.3	45.1	45.9	44.1	33.8	22.8	8.6	4.8	4.2	4.4	4.4	3.0	2.1
V-4+220									7.9	18.1	22.2	24.0	20.1	18.9	14.1	3.4	-4.7	-13.0	-14.8	-13.7	-12.4	-12.2	-13.9	-14.8
16-2-79																								
V-1+38	-6.3	-6.1	-6.3	-6.3	-6.8	-7.0	-7.1	-4.5	10.3	9.9	13.2	21.0												
V-3+220	1.3	1.1	0.6	1.0	0.3	0.1	0.6	0.7	17.2	16.5	20.0	26.6												
V-4+220	-15.4	-15.4	-15.3	-14.9	-16.3	-16.1	-16.8	-14.7	0.0	-0.6	1.7	13.2												
20-3-79																								
V-1+38									18.7	25.2	30.6	35.0	34.8	34.7	35.1	33.6	27.9							
V-2+129									21.9	28.2	33.5	37.9	38.7	39.4	39.4	36.9	31.2							
V-3+220									20.9	25.3	29.8	33.5	34.9	36.2	36.7	34.5	30.4							
V-4+220									16.3	27.5	31.7	33.1	31.4	29.4	29.3	28.2	16.5							

Vitrage intérieur: V-1 , V-2 , V3

Vitrage extérieur: V-4

TABLEAU VI
TEMPERATURE DE LA SURFACE EXTERNE (NOIRE) DU MUR TROMBE EN FONCTION DE LA HAUTEUR (°C)

HAUTEUR (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13-2-79																								
50									24.6	26.4	34.0	41.6	45.9	46.7	44.3	40.0	32.9	25.7	21.7	19.9	18.5	17.2	15.8	14.9
90									25.4	29.7	37.3	44.6	49.0	50.2	48.0	43.4	35.6	28.0	24.1	22.3	20.8	19.3	17.9	16.9
170									27.4	33.1	40.9	47.7	52.6	54.1	52.0	47.6	39.8	32.0	27.7	25.7	23.9	22.3	20.8	19.7
14-2-79																								
50	13.7	12.5	11.7	10.5	10.2	10.7	10.9	13.2	21.9	27.4														
90	15.6	14.5	13.6	12.3	12.2	12.6	12.8	15.7	24.4	29.6														
170	18.4	17.2	16.3	15.1	14.8	15.3	15.3	18.3	26.5	33.9														
15-2-79																								
50									20.5	28.9	35.5	43.0	46.9	48.1	46.6	41.0	32.9	27.7	25.1	23.3	21.8	20.9	20.3	19.5
90									23.3	31.6	38.4	46.2	50.1	51.9	50.8	45.0	35.7	30.4	28.2	26.8	25.4	24.5	24.1	23.3
170									25.6	35.8	42.6	49.9	54.1	56.2	55.1	49.7	40.3	35.0	32.8	31.5	30.2	29.3	28.9	28.1
16-2-79																								
50	18.6	18.5	17.9	17.3	17.3	16.9	16.6	16.5	20.5	22.3	25.1	31.0												
90	22.7	22.6	22.0	21.4	21.3	20.8	20.5	20.3	24.4	25.7	28.1	34.2												
170	27.2	26.8	26.3	25.6	25.3	24.8	24.3	23.8	26.9	29.3	32.7	38.1												
20-2-79																								
50									26.2	31.4	37.2	40.9	44.0	44.3	43.2	40.6	34.5							
90									27.6	33.3	40.0	45.0	48.1	48.4	46.7	43.5	37.6							
170									29.7	34.9	41.1	45.3	48.5	49.5	48.5	45.8	39.9							
209									29.7	33.5	39.1	42.7	45.2	47.1	46.7	44.4	38.5							

TABLEAU VII

TEMPERATURE DE LA SURFACE INTERNE DU MUR TROMBE EN FONCTION DE LA HAUTEUR ($^{\circ}\text{C}$)

HAUTEUR (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13-2-79																								
50									14.6	15.2	15.6	16.3	16.9	17.5	18.1	18.5	18.6	18.3	17.8	17.6	17.5	17.2	16.7	16.3
90									16.8	17.3	17.6	18.2	18.8	19.4	20.1	20.5	20.7	20.3	19.9	19.8	19.7	19.5	19.1	18.8
170									18.0	18.6	19.1	19.9	20.7	21.3	22.1	22.6	22.6	21.9	21.4	21.2	21.2	21.1	20.7	20.4
14-2-79																								
50	15.7	15.0	14.5	13.7	13.6	14.3	14.5	14.6	14.9	15.2														
90	18.2	17.5	17.0	16.2	16.4	17.0	17.3	17.3	17.5	17.7														
170	19.8	19.2	18.7	17.9	17.9	18.6	18.9	19.0	19.1	19.2														
15-2-79																								
50									12.2	15.4	15.7	16.3	17.0	17.8	18.6	19.0	19.1	19.1	18.8	18.8	18.8	18.7	18.7	18.4
90									14.8	17.8	18.0	18.5	19.2	20.0	20.8	21.8	21.4	21.3	21.1	21.1	21.2	21.2	21.3	21.1
170									16.5	19.6	19.9	20.6	21.4	22.2	23.3	23.9	23.8	23.5	23.0	23.1	23.2	23.1	23.2	23.1
16-2-79																								
50	18.0	17.9	17.6	17.2	17.0	16.7	16.3	16.1	16.1	16.2	16.3	16.3												
90	20.8	20.7	20.4	20.1	19.9	19.7	19.4	19.2	19.2	19.1	19.2	19.1												
170	22.6	22.7	22.4	22.1	22.0	21.8	21.6	21.4	21.4	21.3	21.2	21.2												

TABLEAU VIII

DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE DANS LE MUR TROMBE (°C) BLOC B (HAUTEUR: 170 cm)

POSITION (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13-2-79																								
1.9→0									27.4	33.1	40.9	47.7	52.6	54.1	52.0	47.6	39.8	32.0	27.7	25.7	23.9	22.3	20.8	19.7
1→0.5									26.8	32.7	40.8	47.9	53.3	55.2	53.4	49.3	41.8	34.1	29.4	27.1	25.1	23.4	21.9	20.7
2→5.5									21.5	25.3	30.3	37.0	40.8	44.4	45.4	44.8	41.8	37.2	32.6	30.3	28.1	26.2	24.6	23.3
3→10.5									19.7	21.8	24.3	28.0	31.5	34.9	37.2	38.2	38.0	36.3	33.4	31.5	29.6	27.9	26.3	25.1
4→15.5									19.6	20.5	21.6	23.6	25.7	28.3	30.5	32.1	33.1	33.2	32.1	31.0	29.7	28.3	27.0	25.9
5→20.5									19.8	20.1	20.4	21.3	22.5	24.1	25.8	27.3	27.7	29.5	29.6	29.2	28.5	27.6	26.6	25.7
6→25.5									19.7	19.8	19.8	20.2	20.8	21.8	23.1	24.3	25.5	26.5	27.0	27.0	26.7	26.2	25.5	24.8
7→30.5									19.3	19.5	19.5	19.7	20.2	20.9	21.8	22.8	23.7	24.5	24.7	24.8	24.7	24.4	23.9	23.5
8→35.5									18.5	18.9	19.1	19.6	20.2	20.9	21.6	22.4	22.9	23.0	22.7	22.7	22.6	22.4	22.1	21.7
9→39.0									17.9	18.6	19.0	19.8	20.6	21.3	22.1	22.5	22.7	22.0	21.4	21.3	21.2	21.1	20.7	20.4
9.9→39.5									18.0	18.6	19.1	19.9	20.7	21.3	22.1	22.6	22.6	21.9	21.4	21.2	21.2	21.1	20.7	20.4
14-2-79																								
1.9→0	18.4	17.2	16.3	15.1	14.8	15.3	15.3	18.3	26.5	33.9														
1→0.5	19.3	18.1	17.1	16.0	15.5	15.9	15.9	18.1	25.9	33.7														
2→5.5	21.8	20.5	19.5	18.2	17.7	18.1	18.0	18.1	21.3	25.8														
3→10.5	23.6	22.3	21.3	20.0	19.5	19.8	19.7	19.4	20.0	22.0														
4→15.5	24.5	23.4	22.4	21.1	20.6	21.0	20.8	20.5	20.3	20.8														
5→20.5	24.6	23.5	22.6	21.5	21.1	21.5	21.4	21.1	20.7	20.5														
6→25.5	23.9	23.0	22.3	21.2	20.9	21.4	21.4	21.1	20.7	20.3														
7→30.5	22.7	22.0	21.3	20.5	20.2	20.7	20.8	20.6	20.6	20.0														
8→35.5	21.1	20.5	19.9	19.2	19.0	19.6	19.8	19.7	19.7	19.5														
9→39.0	19.9	19.2	18.7	18.0	17.9	18.6	18.9	18.9	19.1	19.1														
9.9→39.5	19.8	19.2	18.7	17.9	17.9	18.6	18.9	19.0	19.1	19.2														

TABLEAU IX

DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE DANS LE MUR TROMBE (°C) ELOC B (Hauteur: 170 cm)

POSITION (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
15-2-79																								
1.s→0									25.6	35.8	42.6	49.9	54.1	56.2	55.1	49.7	40.3	35.0	32.8	31.5	30.2	29.3	28.9	28.1
1→0.5									25.0	35.4	42.6	50.3	54.9	57.1	56.5	51.5	42.5	36.4	34.3	32.9	31.6	30.6	29.8	29.1
2→5.5									19.6	27.2	31.9	37.6	42.2	45.5	47.4	46.7	43.2	38.2	35.7	34.3	32.9	31.8	30.8	30.1
3→10.5									17.8	22.9	25.4	29.1	32.6	35.7	38.5	39.8	39.5	37.4	35.5	34.3	33.1	32.1	31.2	30.4
4→15.5									17.8	21.4	22.4	24.3	26.6	28.9	31.4	33.3	34.4	34.4	33.7	33.1	32.3	31.6	30.8	30.2
5→20.5									18.1	20.9	21.1	21.9	23.2	24.7	26.6	29.3	29.8	30.7	31.0	31.0	30.7	30.3	29.8	29.3
6→25.5									18.1	20.7	20.5	20.8	21.4	22.4	23.8	25.2	26.6	27.7	28.4	28.7	28.7	28.5	28.2	27.9
7→30.5									17.7	20.4	20.1	20.3	20.8	21.5	22.6	23.7	24.8	25.7	26.2	26.6	26.7	26.6	26.5	26.3
8→35.5									17.0	19.9	19.9	20.3	20.8	21.6	22.6	23.5	24.1	24.3	24.3	24.6	24.7	24.7	24.6	24.5
9→39.0									16.4	19.6	19.9	20.5	21.3	22.2	23.2	23.9	23.9	23.5	23.1	23.2	23.2	23.1	23.2	23.1
9.s→39.5									16.5	19.6	19.9	20.6	21.4	22.2	23.3	23.9	23.8	23.5	23.0	23.1	23.2	23.1	23.2	23.1
16-2-79																								
1.s→0	27.2	26.8	26.3	25.6	25.3	24.8	24.3	23.8	26.9	29.3	32.7	38.1												
1→0.5	28.2	27.6	27.1	26.4	25.9	25.5	24.9	24.4	27.0	29.6	33.7	38.6												
2→5.5	29.3	28.5	28.0	27.3	26.8	26.3	25.8	25.2	25.3	27.4	30.5	32.1												
3→10.5	29.7	29.0	28.4	27.7	27.2	26.7	26.2	25.7	25.3	25.9	27.2	28.3												
4→15.5	29.5	28.9	28.3	27.7	27.2	26.8	26.3	25.8	25.4	25.2	25.6	26.2												
5→20.5	28.8	28.2	27.8	27.3	26.8	26.4	25.9	25.4	25.1	24.7	24.6	24.8												
6→25.5	27.5	27.1	26.8	26.3	25.9	25.6	25.1	24.7	24.4	24.1	23.8	23.7												
7→30.5	26.0	25.7	25.4	25.1	24.7	24.4	24.4	23.7	23.5	23.2	23.0	22.8												
8→35.5	24.2	23.9	23.7	23.5	23.2	23.0	22.7	22.4	22.3	22.1	22.0	21.9												
9→39.0	22.7	22.7	22.5	22.1	22.0	21.8	21.6	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3												
9.s→39.5	22.6	22.7	22.4	22.1	22.0	21.8	21.6	21.4	21.4	21.3	21.2	21.2												

TABLEAU X

DISTRIBUTION DE LA TEMPERATURE DANS LE MUR TROMBE (°C) BLOC A-3 (Hauteur: 50 cm)

POSITION (cm)	HEURE																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13-2-79																								
1.s→0									24.6	26.4	34.0	41.6	45.9	46.7	44.3	40.0	32.9	25.7	21.7	19.9	18.5	17.2	15.8	14.9
1→0.5									23.1	27.6	35.7	43.2	47.6	48.4	46.2	41.7	34.1	26.6	22.4	20.5	19.0	17.6	16.3	15.3
2→10.0									15.2	17.4	19.6	23.3	26.5	29.7	31.8	32.5	32.1	30.3	27.4	25.6	23.7	22.2	20.7	19.6
3→20.0									15.3	15.6	16.1	17.1	18.2	19.8	21.5	22.9	24.0	24.7	24.7	24.2	23.4	22.5	21.5	20.6
4→30.0									15.3	15.5	15.6	15.9	16.3	16.9	17.8	18.6	19.5	20.3	20.7	20.7	20.6	20.2	19.7	19.2
5→39.0									14.8	15.4	15.8	16.5	17.1	17.7	18.3	18.6	18.7	18.4	17.9	17.8	17.6	17.4	16.9	16.5
5.s→39.5									14.6	15.2	15.6	16.3	16.9	17.5	18.1	18.5	18.6	18.3	17.8	17.6	17.5	17.2	16.7	16.3
14-2-79																								
1.s→0	13.7	12.5	11.7	10.5	10.2	10.7	10.9	13.2	21.9	27.4														
1→0.5	14.1	12.9	12.1	10.9	10.6	11.0	11.2	13.4	22.3	28.6														
2→10.0	18.2	17.0	16.1	14.9	14.5	14.8	14.8	14.6	15.3	17.5														
3→20.0	19.5	18.5	17.6	16.5	16.2	16.5	16.5	16.2	15.9	15.8														
4→30.0	18.4	17.7	17.0	16.0	15.8	16.3	16.5	16.2	16.0	15.7														
5→39.0	15.9	15.2	14.7	13.9	13.9	14.6	14.8	14.9	15.2	15.5														
5.s→39.5	15.7	15.0	14.5	13.7	13.6	14.3	14.5	14.6	14.9	15.2														
15-2-79																								
1.s→0									20.5	28.9	35.5	43.3	46.9	48.1	46.6	41.0	32.9	27.7	25.1	23.3	21.8	20.9	20.3	19.5
1→0.5									21.2	30.2	37.3	45.0	48.8	49.9	48.6	42.7	34.0	28.4	25.9	24.2	22.7	21.8	21.1	20.3
2→10.0									13.1	18.2	20.4	23.9	27.2	30.1	32.5	33.6	33.0	30.9	28.8	27.5	26.1	25.0	23.9	23.1
3→20.0									13.2	16.0	16.3	17.2	18.4	19.9	21.7	23.4	24.7	25.4	25.5	25.4	25.0	24.5	23.8	23.2
4→30.0									13.2	15.8	15.7	15.8	16.3	17.0	18.0	19.1	20.1	20.9	21.5	21.8	22.0	21.9	21.6	21.4
5→39.0									12.5	15.7	16.0	16.5	17.3	18.1	18.8	19.2	19.3	19.2	18.9	19.0	19.0	18.9	18.9	18.7
5.s→39.5									12.2	15.4	15.7	16.3	17.0	17.8	18.6	19.0	19.1	19.1	18.8	18.8	18.8	18.7	18.6	18.4
16-2-79																								
1.s→0	18.6	18.5	17.9	17.3	17.3	16.9	16.6	16.5	20.5	22.3	25.1	31.0												
1→0.5	19.4	19.2	18.7	18.0	17.9	17.6	17.3	17.1	21.1	23.1	25.7	32.0												
2→10.0	23.3	21.6	20.9	20.3	19.8	19.3	18.9	18.4	18.2	19.1	20.3	21.4												
3→20.0	22.6	22.0	21.4	20.8	20.3	19.8	19.3	18.8	18.5	18.1	18.0	18.3												
4→30.0	21.0	20.6	20.2	19.7	19.3	18.9	18.5	18.1	17.7	17.5	17.3	17.2												
5→39.0	18.3	18.1	17.8	17.5	17.2	17.0	16.6	16.4	16.4	16.5	16.6	16.6												
5.s→39.5	18.0	17.9	17.6	17.2	17.0	16.7	16.3	16.1	16.1	16.2	16.3	16.3												

TABLEAU XI

ENERGIE STOCKEE DANS LE MUR TROMBE A CHAQUE HEURE

Heure	13 et 14 février 1979	15 et 16 février 1979
	Q_b (k Joules)	Q_b (k Joules)
9:0	3101	714
10:00	5658	7824
11:00	8453	10500
12:00	12463	13890
13:00	15708	17152
14:00	18758	20279
15:00	21171	22963
16:00	21969	24399
17:00	21528	23753
18:00	20117	22233
19:00	17985	21417
20:00	16464	20534
21:00	14595	19565
22:00	13100	18826
23:00	11409	18028
24:00	9897	17331
1:00	7960	16345
2:00	6389	15394
3:00	4859	14697
4:00	3211	13899
5:00	3415	13083
6:00	3398	12463
7:00	3390	11758
8:00	3313	10993
9:00	4647	11206

TABLEAU XII

PROFIL DE VITESSE DE L'AIR DANS LA SERRE (cm/sec) NIVEAU: 124 cm

Date: 13-2-79

HEURE

Position (cm)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.15	0.0	3.4	6.8	9.0	9.4	1.0	1.5	0.8	3.2	-5.2	-9.6	-10.4	-12.8	-10.0	-11.2	-11.6
0.60	1.0	4.0	10.0	10.0	12.2	10.8	1.0	0.5	2.6	-6.0	-7.6	-13.4	-10.2	-10.8	-17.0	-19.2
1.17	1.0	3.2	10.6	4.4	5.6	7.0	1.5	0.8	3.2	-3.0	-9.2	-8.6	-12.2	-9.6	-12.6	-10.6
1.67	1.0	3.0	7.4	0.0	9.0	0.5	0.5	0.4	2.2	4.8	-8.4	-7.6	-10.4	-8.2	-9.2	-11.8
2.18	2.0	3.0	9.0	0.0	7.0	1.0	0.7	1.0	3.6	3.2	-6.6	-7.8	-5.4	-9.6	-8.8	-7.4
3.20	3.0	2.0	2.8	0.0	6.8	0.7	2.2	2.0	3.4	4.2	-4.6	-7.4	-6.6	-6.8	-6.6	-7.0
4.21	4.8	4.8	9.8	0.0	7.8	0.7	2.2	0.9	7.0	6.6	4.2	-5.6	-5.4	-5.2	-6.2	-6.2
5.23	5.2	5.8	7.4	0.0	9.6	1.5	2.2	4.8	6.4	6.6	6.0	7.0	-5.0	-5.4	-4.4	-5.2
6.25	8.0	8.0	12.4	0.0	11.4	11.4	9.6	11.0	9.6	8.6	7.2	6.2	5.6	-4.8	-4.4	-6.0
7.26	13.6	14.4	10.0	0.0	16.8	14.6	11.8	11.2	11.8	16.8	9.2	5.2	5.6	-5.8	-5.6	-4.4
8.28	16.2	19.8	18.0	15.4	23.6	24.0	20.0	22.2	17.4	17.2	14.4	7.0	9.0	5.0	-5.2	-5.2
9.29	23.2	29.6	27.8	24.4	36.0	33.4	28.2	26.8	27.2	25.0	14.4	7.8	7.4	6.8	4.6	6.4
9.80	24.6	36.0	31.4	26.2	36.0	36.5	34.4	30.4	30.6	20.0	13.0	9.8	10.0	7.0	6.2	6.6
10.31	14.6	29.4	35.4	31.0	38.0	38.0	40.0	34.0	32.4	16.8	10.8	6.6	8.2	6.8	7.6	7.0
10.82	15.0	16.6	33.0	23.4	37.0	36.0	38.0	35.8	14.8	14.8	8.6	5.2	7.6	6.0	5.4	5.4
Moyenne	9.2	11.2	13.6	7.7	17.2	13.1	11.7	11.4	11.0	9.1	3.9	0.4	-0.2	-2.8	-4.3	-4.2

TABLEAU XIII

PROFIL DE VITESSE DE L'AIR DANS LA SERRE (cm/sec) NIVEAU : 124 cm

Date: 14-2-79

HEURE

Position (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.15	-10.2	-14.2	-11.0	-12.6	-13.0	-13.8	-18.6	-13.4	-3.4	2.6
0.60	-12.0	-17.6	-17.2	-16.2	-19.0	-17.0	-19.6	-12.2	-3.0	2.2
1.17	-9.6	-12.4	-15.0	-16.0	-15.6	-15.0	-11.2	-12.6	-3.2	2.4
1.67	-8.8	-10.8	-12.6	-15.4	-15.0	-11.4	-11.4	-17.4	-2.8	2.0
2.18	-11.8	-9.2	-12.0	-6.0	-11.4	-11.6	-15.0	-11.6	3.0	1.8
3.20	-5.2	-9.2	-8.4	-7.6	-9.2	-11.6	-9.8	-9.4	3.8	4.6
4.21	-5.4	-4.6	-6.8	-7.4	-11.8	-8.6	-13.4	-10.0	5.4	5.4
5.23	-6.0	-5.0	-5.4	-5.4	-6.8	-5.6	-5.0	-7.8	6.2	10.8
6.25	-4.8	-4.6	-5.0	-4.0	-5.8	-6.6	-6.2	-7.8	8.8	11.4
7.26	-5.2	-4.0	-3.6	-3.6	-3.8	-4.4	-6.4	-5.8	12.4	20.4
8.28	-4.6	-4.2	-4.2	-4.4	-4.8	-5.0	-4.6	-5.0	17.4	27.2
9.29	6.0	4.4	-4.2	-3.6	-3.4	-4.4	-5.2	4.6	27.2	34.0
9.80	6.4	4.8	4.0	-4.6	3.6	4.8	3.8	5.8	24.4	25.0
10.31	6.6	5.2	4.2	3.6	4.0	5.0	4.4	5.8	19.2	18.8
10.82	5.6	4.8	3.8	4.6	3.8	4.4	4.6	7.6	15.4	14.0
Moyenne	-3.7	-4.6	-5.7	-6.0	-6.5	-5.4	-7.2	-5.4	8.7	12.2

TABLEAU XIV

PROFIL DE VITESSE DE L'AIR DANS LA SERRE (cm/sec)

NIVEAU : 124 cm

Date: 15-2-79

Position (cm)	HEURE															
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.15	0.5	3.8	4.8	8.8	9.0	7.8	0.4	0.4	-3.6							
0.60	0.4	6.4	10.4	10.6	13.2	10.4	4.6	3.4	-2.6							
1.17	0.7	5.6	8.8	14.6	15.0	10.2	6.0	0.4	2.4							
1.67	2.0	3.4	7.4	10.8	12.2	7.0	5.2	0.6	4.0							
2.18	1.0	3.0	6.0	13.8	9.2	6.4	2.4	0.2	2.2	4.4	9.0	9.2	9.8	17.4	22.8	18.0
3.28	2.0	3.4	4.6	10.4	7.0	1.4	3.4	0.6	6.4	5.6	5.4	6.0	6.8	6.0	5.0	5.0
4.21	4.2	5.6	4.2	10.8	0.5	4.4	2.4	6.6	5.0	5.8	9.6	7.2	6.2	7.6	5.0	4.6
5.23	5.4	9.6	8.0	11.8	11.8	7.2	3.4	8.6	8.8	9.2	7.4	8.8	5.8	6.6	5.2	9.8
6.25	10.4	14.0	15.2	13.2	14.8	11.4	7.8	9.8	10.4	13.6	10.4	8.4	10.6	5.2	6.2	4.8
7.26	16.4	19.2	18.6	23.8	21.8	18.6	15.4	16.4	18.2	15.0	7.0	5.0	7.8	4.4	4.2	4.4
8.28	20.6	27.2	26.6	28.6	29.0	27.6	28.0	22.0	22.0	14.2	8.4	7.2	5.8	3.6	4.2	4.4
9.29	12.4	27.0	31.6	37.5	38.5	33.2	33.4	27.0	25.0	13.4	4.8	4.4	4.2	4.2	4.0	4.6
9.80	10.4	21.2	36.6	40.0	39.5	37.0	35.0	30.6	24.0	8.8	3.4	7.0	4.8	2.6	3.8	2.6
10.31	5.2	12.2	34.8	37.5	38.0	36.4	37.5	29.6	24.6	8.4	4.6	4.0	3.6	3.2	3.2	2.6
10.82	5.1	15.8	22.6	28.0	26.2	28.6	22.8	22.8	15.2	8.6	4.4	4.0	3.6	3.0	3.2	2.8
Moyenne	7.2	11.8	15.2	18.7	17.9	15.1	12.9	11.7	10.7							

TABLEAU XV

PROFIL DE VITESSE DE L'AIR DANS LA SERRE (cm/sec)

NIVEAU: 124 cm

DATE: 16-2-79

Position (cm)	HEURE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.15									5.4	2.8	3.0	5.0
0.60									8.0	2.8	2.8	7.8
1.17									5.0	2.8	3.2	5.0
1.67									3.6	2.8	3.0	6.0
2.18	13.4	6.8	6.4	5.0	7.0	8.0	7.0	7.2	4.6	3.4	3.6	3.4
3.28	7.4	6.0	7.8	7.2	8.4	10.8	11.2	8.8	4.2	5.2	3.8	2.8
4.21	6.8	6.2	8.6	3.8	9.0	8.4	7.6	7.8	5.4	6.4	4.2	5.6
5.23	5.0	6.6	6.0	5.2	5.0	7.6	4.4	4.0	6.6	7.6	7.2	7.8
6.25	5.6	6.6	4.8	5.2	6.0	6.6	3.8	3.6	9.6	16.0	11.2	9.8
7.26	6.0	3.8	4.8	3.6	5.6	4.2	5.4	5.2	18.2	17.4	19.2	15.6
8.28	4.0	4.4	5.0	4.0	4.2	4.8	4.6	4.4	16.6	26.0	22.2	23.6
9.29	3.8	4.4	3.8	3.4	3.4	3.4	4.6	4.4	16.8	23.2	19.0	33.0
9.80	3.6	2.6	2.8	3.4	3.6	3.0	4.6	2.8	12.4	18.1	22.8	36.5
10.31	2.8	2.8	2.8	3.6	3.0	3.8	2.8	3.2	5.6	12.8	10.8	26.0
10.82	3.0	3.0	2.8	2.6	3.6	2.6	2.6	2.8	6.6	9.0	11.2	19.2

TABLEAU XVI

PROFIL DE TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA SERRE (°C) NIVEAU : 124 cm

DATE: 13-2-79

Position (cm)	HEURE															
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.15	22.9	26.3	31.3	35.3	36.8	36.8	34.9	31.7	22.6	20.2	15.3	14.5	13.8	12.4	11.7	11.6
0.60	22.9	26.3	31.5	35.2	36.7	36.5	34.9	31.3	22.8	19.7	15.7	14.9	14.3	12.6	12.1	19.2
1.17	23.2	26.4	31.5	35.2	36.9	36.6	34.9	31.2	22.8	19.3	15.9	15.4	14.7	12.9	12.6	10.6
1.67	23.3	26.6	31.6	35.2	36.7	36.6	35.1	31.2	22.9	19.1	16.1	15.8	14.9	13.2	12.9	11.8
2.18	23.2	26.8	31.4	35.2	36.7	36.6	35.1	30.9	22.8	18.8	16.5	15.9	15.1	13.3	13.1	7.4
3.20	23.3	26.8	31.2	35.3	36.7	36.8	34.9	30.8	22.7	18.9	16.8	16.3	15.3	13.7	13.3	7.0
4.21	23.2	26.8	31.0	35.3	36.6	36.7	34.7	30.4	22.7	18.8	17.1	16.6	15.5	14.0	13.6	6.2
5.23	23.1	26.8	30.8	35.0	36.4	36.3	34.5	30.5	22.9	19.0	17.5	17.0	15.7	14.2	13.9	5.2
6.25	23.1	26.7	30.8	35.1	36.4	36.4	34.4	30.3	23.0	19.3	17.9	17.4	16.0	14.4	14.0	6.0
7.26	23.1	26.9	31.0	35.3	36.4	36.5	34.4	30.3	23.5	19.8	18.3	17.6	16.3	14.7	14.2	4.4
8.28	23.1	27.0	31.3	35.5	36.8	36.9	34.9	30.8	24.1	20.3	18.8	18.1	16.8	15.0	14.5	5.2
9.29	23.1	27.1	31.6	35.7	37.5	37.4	35.4	31.2	24.8	20.8	19.2	18.3	17.1	15.3	14.6	6.4
9.80	23.1	27.3	31.6	35.8	37.7	37.7	35.7	31.6	25.2	21.1	19.4	18.6	17.4	15.8	14.8	6.6
10.31	23.2	27.7	31.7	36.5	38.0	37.9	36.0	32.0	25.6	21.4	19.6	18.6	17.6	16.3	14.9	7.0
10.82	23.3	27.9	32.1	37.0	38.9	38.4	36.8	32.5	26.0	21.7	19.8	19.0	17.7	16.5	15.1	5.4
Moyenne	23.0	27.0	31.5	35.3	37.0	37.0	35.0	31.0	23.5	19.7	17.8	17.1	16.0	14.5	13.7	13.1

TABLEAU XVII

PROFIL DE TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA SERRE (°C) NIVEAU: 124 cm

DATE: 14-2-79

Position (cm)	HEURE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.15	9.7	9.2	8.7	7.2	8.1	8.2	9.2	14.2	22.4	27.3
0.60	10.1	9.7	9.0	7.7	8.5	8.6	9.6	14.7	22.6	27.4
1.17	10.4	10.0	9.4	8.2	8.9	8.9	10.1	15.2	23.0	27.4
1.67	10.6	10.2	9.6	8.5	9.2	9.3	10.4	15.4	23.2	27.4
2.18	10.9	10.5	9.9	8.8	9.5	9.6	10.6	15.7	23.4	27.4
3.20	11.1	10.7	10.2	9.0	9.7	9.7	10.8	16.2	23.5	27.3
4.21	11.3	11.0	10.4	9.2	10.0	9.9	11.0	16.5	23.5	27.3
5.23	11.5	11.2	10.6	9.4	10.1	10.0	11.2	16.8	23.7	27.1
6.25	11.7	11.3	10.7	9.6	10.2	10.2	11.3	17.1	23.9	27.1
7.26	11.9	11.4	10.7	9.7	10.3	10.3	11.4	17.4	24.0	27.0
8.28	12.1	11.6	11.0	9.8	10.3	10.4	11.4	17.6	24.2	27.1
9.29	12.4	11.7	11.0	9.9	10.4	10.4	11.6	17.6	24.4	27.4
9.80	12.5	11.8	11.0	10.0	10.4	10.5	11.6	17.7	24.5	27.7
10.31	12.7	11.9	11.1	10.1	10.4	10.6	11.6	17.7	24.6	28.0
10.82	12.9	12.0	11.2	10.2	10.6	10.7	11.7	17.7	24.6	28.0
Moyenne	11.7	11.0	10.3	9.2	10.0	10.0	11.0	16.5	23.5	27.5

TABLEAU XVIII

PROFIL DE TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA SERRE (°C)

NIVEAU : 124 cm

DATE: 15-2-79

HEURE

Position (cm)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.15	22.8	28.1	32.3	35.7	38.0	39.1	37.9	32.9	23.4							
0.60	23.3	28.1	33.4	35.7	37.8	39.1	37.7	32.9	23.4							
1.17	23.3	28.2	32.3	35.5	37.8	39.0	37.5	32.6	23.5							
1.67	23.4	28.2	33.4	35.3	37.5	39.1	37.6	32.5	23.5							
2.18	23.4	28.2	32.5	35.4	37.5	39.0	37.4	32.5	23.5	24.2	23.3	22.6	22.0	21.7	22.1	21.5
3.20	23.5	28.4	32.6	35.5	37.4	38.8	37.5	32.2	23.5	24.0	23.0	22.5	21.9	21.6	21.8	21.3
4.21	23.5	28.5	32.4	35.2	37.5	38.8	37.4	32.2	23.6	23.8	23.1	22.4	21.8	21.5	21.6	21.2
5.23	23.6	28.4	32.3	35.3	37.4	38.7	37.3	32.1	23.6	24.1	23.0	22.4	21.8	21.5	21.6	21.1
6.25	23.8	27.7	32.3	35.3	37.5	38.7	37.3	32.2	24.0	24.3	23.1	22.5	21.9	21.5	21.6	21.1
7.26	24.0	28.9	32.4	35.6	37.9	39.0	37.6	32.4	24.6	24.4	23.3	22.5	22.0	21.7	21.6	21.0
8.28	24.2	29.1	32.8	36.2	38.6	39.5	38.2	33.1	25.2	24.6	23.3	22.6	22.0	21.9	21.6	21.0
9.29	24.2	29.5	33.2	36.6	38.7	40.0	38.4	33.4	25.8	25.0	23.5	22.8	22.2	22.1	21.6	21.1
9.80	24.2	29.8	33.7	37.2	39.4	40.6	39.0	34.1	26.4	25.2	23.8	23.0	22.4	22.2	22.0	21.4
10.31	23.9	30.0	34.2	37.8	40.1	41.3	39.6	34.5	26.9	25.3	24.0	23.2	22.5	22.4	22.0	21.4
10.82	24.0	29.8	34.2	37.9	40.4	41.5	39.8	34.8	27.5	25.5	24.2	23.3	22.6	22.5	22.1	21.6
Moyenne	23.5	29.5	33.0	36.3	38.7	39.7	38.2	33.3	24.3							

TABLEAU XIX

PROFIL DE TEMPERATURE DE L'AIR DANS LA SERRE (°C) NIVEAU : 124 cm

DATE: 16-2-79

Position (cm)	HEURE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.15									21.5	21.9	23.2	27.0
0.60									21.9	22.3	23.3	27.0
1.17									22.4	22.4	23.3	27.1
1.67									22.7	22.5	23.2	27.4
2.18	20.9	20.8	20.8	19.8	19.8	19.3	18.6	19.3	23.1	22.7	23.3	27.4
3.28	20.4	20.6	20.4	19.7	19.6	19.1	18.6	19.2	23.5	22.9	23.4	27.4
4.21	20.4	20.4	20.2	19.7	19.6	19.2	18.7	19.1	23.8	23.4	23.4	27.4
5.23	20.5	20.6	20.2	19.9	19.6	19.3	18.8	19.2	24.2	23.7	23.5	27.3
6.25	20.6	20.7	20.3	20.0	19.9	19.5	19.1	19.5	24.6	24.0	23.6	27.7
7.26	20.9	20.8	20.4	20.2	19.9	19.6	19.2	19.6	24.7	24.5	24.0	27.8
8.28	21.0	20.8	20.5	20.3	20.1	19.8	19.4	19.8	25.0	24.8	24.3	28.3
9.29	21.1	20.9	20.6	20.5	20.2	19.9	19.6	19.9	25.2	25.2	24.7	28.8
9.80	21.3	21.1	20.7	20.6	20.4	20.1	19.9	20.0	25.3	25.6	25.1	29.1
10.31	21.4	21.2	20.8	20.7	20.5	20.2	20.0	20.1	25.4	25.8	25.3	29.5
10.82	21.6	21.3	21.0	20.9	20.6	20.3	20.2	20.2	25.3	25.8	25.5	29.8

TABLEAU XX

CARACTERISTIQUES DE L'AIR CIRCULANT DANS LA SERRE DETERMINEES AU NIVEAU 124 cm

Date: de 9:00 H le 13-2-79 à 9:00 H le 14-2-79

HEURE	\bar{T} (°C)	\bar{T} (°K)	β ($\frac{1}{\sigma K}$)	ρ ($\frac{kg}{m^3}$)	ν ($\frac{m^2}{sec}$)	k_a ($\frac{Watts}{m - ^\circ C}$)	\bar{v} ($\frac{cm}{sec}$)	V ($\frac{cm^3}{sec}$)	\dot{m} ($\frac{kg}{sec}$)
9	23.0	296.0	3.38×10^{-3}	1.193	15.56×10^{-6}	0.0259	9.2	11638.0	0.0139
10	27.0	300.0	3.33×10^{-3}	1.177	15.98×10^{-6}	0.0262	11.2	14168.0	0.0167
11	31.5	304.5	3.28×10^{-3}	1.159	16.44×10^{-6}	0.0265	13.6	17204.0	0.0199
12	35.3	308.3	3.24×10^{-3}	1.145	16.81×10^{-6}	0.0268	7.7	9740.5	0.0112
13	37.0	310.0	3.23×10^{-3}	1.139	16.98×10^{-6}	0.0269	17.2	21758.0	0.0248
14	37.0	310.0	3.23×10^{-3}	1.139	16.98×10^{-6}	0.0269	13.1	16571.5	0.0189
15	35.0	308.0	3.25×10^{-3}	1.146	16.79×10^{-6}	0.0267	11.7	14800.5	0.0170
16	31.0	304.0	3.29×10^{-3}	1.161	16.39×10^{-6}	0.0265	11.4	14421.0	0.0167
17	23.5	296.5	3.37×10^{-3}	1.191	15.61×10^{-6}	0.0259	11.0	13915.0	0.0166
18	19.7	292.7	3.42×10^{-3}	1.206	15.24×10^{-6}	0.0257	9.1	11511.5	0.0139
19	17.8	290.8	3.44×10^{-3}	1.214	15.06×10^{-6}	0.0255	3.9	4933.5	0.0060
20	17.1	290.1	3.45×10^{-3}	1.217	15.00×10^{-6}	0.0255	0.4	506.0	0.0006
21	16.0	289.0	3.46×10^{-3}	1.222	14.88×10^{-6}	0.0253	-0.2	-253.0	-0.0003
22	14.5	287.5	3.48×10^{-3}	1.228	14.73×10^{-6}	0.0253	-2.8	-3542.0	-0.0044
23	13.7	286.7	3.49×10^{-3}	1.231	14.66×10^{-6}	0.0253	-4.3	-5439.5	-0.0067
24	13.1	286.1	3.50×10^{-3}	1.235	14.59×10^{-6}	0.0252	-4.2	-5313.0	-0.0066
1	11.7	284.7	3.51×10^{-3}	1.240	14.45×10^{-6}	0.0251	-3.7	-4680.5	-0.0058
2	11.0	284.0	3.52×10^{-3}	1.243	14.39×10^{-6}	0.0251	-4.6	-5819.0	-0.0072
3	10.3	283.3	3.53×10^{-3}	1.247	14.31×10^{-6}	0.0250	-5.7	-7210.5	-0.0090
4	9.2	282.2	3.54×10^{-3}	1.251	14.22×10^{-6}	0.0250	-6.0	-7590.0	-0.0095
5	10.0	283.0	3.53×10^{-3}	1.248	14.30×10^{-6}	0.0250	-6.5	-8222.5	-0.0103
6	10.0	283.0	3.53×10^{-3}	1.248	14.30×10^{-6}	0.0250	-5.4	-6831.0	-0.0085
7	11.0	284.0	3.52×10^{-3}	1.243	14.39×10^{-6}	0.0251	-7.2	-9108.0	-0.0113
8	16.5	289.5	3.45×10^{-3}	1.219	14.94×10^{-6}	0.0254	-5.4	-6831.0	-0.0083
9	23.5	296.5	3.37×10^{-3}	1.191	15.61×10^{-6}	0.0259	8.7	11005.5	0.0131

TABLEAU XXI

NOMBRE DE GRASHOF ET NOMBRE DE NUSSELT CALCULES PAR LES EQUATIONS ((5), (3)) et (1)

Date: de 9:00 H le 13-2-79 à 9:00 H le 14-2-79

HEURE	T ₁ (°C) 124cm	T(0,t) (°C) 124cm	T _{f1} (°C) 11cm	T _{f0} (°C) 231.cm	Gr _L (équat. (2))	Q _t (Watts) (équat. (5))	h _c (Watts/m ² -°C) (équat. (4))	Nu ₃ (équat.(3))	Nu ₁ (équat. (1))
9	19.0	26.3	11.7	20.6	1.52 x 10 ⁶	125.2	6.86	30.5	5.21
10	23.5	31.5	14.2	24.1	1.55 x 10 ⁶	167.3	8.37	36.7	5.27
11	31.8	39.3	16.3	28.5	1.36 x 10 ⁶	245.7	13.10	56.8	4.90
12	36.8	46.3	17.7	31.2	1.62 x 10 ⁶	153.0	6.54	27.6	5.40
13	39.4	51.0	19.2	30.5	1.94 x 10 ⁶	283.6	9.8	41.8	5.98
14	38.4	52.5	19.7	36.0	2.35 x 10 ⁶	311.8	8.9	37.8	6.65
15	35.4	50.5	19.7	35.2	2.59 x 10 ⁶	266.7	7.1	30.4	7.03
16	30.5	46.0	18.4	33.0	2.83 x 10 ⁶	246.8	6.4	27.6	7.38
17	19.7	38.0	16.9	29.8	3.77 x 10 ⁶	216.7	4.7	21.0	8.67
18	10.0	30.0	14.4	25.9	4.39 x 10 ⁶	161.8	3.2	14.5	9.44
19	7.0	26.0	13.0	22.1	4.29 x 10 ⁶	55.6	1.2	5.3	9.32
20	5.0	24.0	12.9	20.4	4.34 x 10 ⁶	4.6	0.1	0.4	9.38
21	5.5	22.5	11.8	18.9	3.96 x 10 ⁶	-2.2	0.05	0.2	8.91
22	5.0	21.0	10.2	17.2	3.82 x 10 ⁶	-32.1	0.8	3.7	8.73
23	4.5	19.5	9.4	16.9	3.63 x 10 ⁶	-50.9	1.36	6.2	8.49
24	4.0	18.5	10.0	16.6	3.55 x 10 ⁶	-44.1	1.2	5.6	8.38
1	3.0	17.0	8.5	16.2	3.51 x 10 ⁶	-45.2	1.3	5.9	8.33
2	2.0	16.0	7.8	15.9	3.54 x 10 ⁶	-59.0	1.7	7.7	8.37
3	1.0	15.0	7.5	15.8	3.60 x 10 ⁶	-75.6	2.2	9.9	8.45
4	0.0	13.5	6.3	14.5	3.52 x 10 ⁶	-78.8	2.3	10.7	8.34
5	0.5	13.5	7.2	15.4	3.34 x 10 ⁶	-85.5	2.6	12.1	8.10
6	1.0	14.0	7.5	16.7	3.34 x 10 ⁶	-79.1	2.4	11.2	8.10
7	2.0	14.5	8.3	17.6	3.17 x 10 ⁶	-106.4	3.4	15.6	7.87
8	6.5	17.0	9.4	17.9	2.42 x 10 ⁶	-71.4	2.7	12.3	6.76
9	16.5	25.5	10.2	19.0	1.86 x 10 ⁶	116.7	5.2	23.0	5.84

TABLEAU XXII

CARACTERISTIQUES DE L'AIR CIRCULANT DANS LA SERRE A DIFFERENTS NIVEAUX

Date: 20-3-79

HEURE	NIVEAU (cm)	\bar{T}_f (°C)	\bar{T}_f (°K)	β (1/°K)	ν (m ² /sec)	k_a (Watt/m-°C)
9	50	20.3	293.3	0.00341	15.30 x 10 ⁻⁶	0.0257
	90	22.2	295.2	0.00339	15.49 x 10 ⁻⁶	0.0258
	124	24.0	297.0	0.00337	15.68 x 10 ⁻⁶	0.0260
	170	25.8	298.8	0.00335	15.86 x 10 ⁻⁶	0.0261
	209	26.2	299.2	0.00334	15.90 x 10 ⁻⁶	0.0261
10	50	22.9	295.9	0.00338	15.56 x 10 ⁻⁶	0.0259
	90	24.4	297.4	0.00336	15.71 x 10 ⁻⁶	0.0260
	124	27.3	300.3	0.00333	16.00 x 10 ⁻⁶	0.0262
	170	29.0	302.0	0.00331	16.18 x 10 ⁻⁶	0.0263
	209	29.1	302.1	0.00331	16.19 x 10 ⁻⁶	0.0263
11	50	26.2	299.2	0.00334	15.90 x 10 ⁻⁶	0.0261
	90	28.4	301.4	0.00332	16.10 x 10 ⁻⁶	0.0263
	124	32.7	305.7	0.00327	16.55 x 10 ⁻⁶	0.0266
	170	33.4	306.4	0.00326	16.63 x 10 ⁻⁶	0.0266
	209	34.6	307.6	0.00325	16.74 x 10 ⁻⁶	0.0267
12	50	28.5	301.5	0.00332	16.13 x 10 ⁻⁶	0.0263
	90	31.3	304.3	0.00329	16.40 x 10 ⁻⁶	0.0265
	124	36.2	309.2	0.00323	16.90 x 10 ⁻⁶	0.0268
	170	36.1	309.1	0.00324	16.89 x 10 ⁻⁶	0.0268
	209	38.5	311.5	0.00321	17.10 x 10 ⁻⁶	0.0270
13	50	26.3	299.3	0.00334	15.91 x 10 ⁻⁶	0.0261
	90	29.6	302.6	0.00331	16.22 x 10 ⁻⁶	0.0264
	124	33.6	306.6	0.00326	16.65 x 10 ⁻⁶	0.0266
	170	35.1	308.1	0.00325	16.80 x 10 ⁻⁶	0.0267
	209	37.5	310.5	0.00322	17.02 x 10 ⁻⁶	0.0269
14	50	26.2	299.2	0.00334	15.90 x 10 ⁻⁶	0.0261
	90	29.1	302.1	0.00331	16.19 x 10 ⁻⁶	0.0263
	124	33.0	306.0	0.00327	16.59 x 10 ⁻⁶	0.0266
	170	34.8	307.8	0.00325	16.77 x 10 ⁻⁶	0.0267
	209	37.2	310.2	0.00322	16.99 x 10 ⁻⁶	0.0269
15	50	29.1	302.1	0.00331	16.19 x 10 ⁻⁶	0.0263
	90	31.0	304.0	0.00329	16.39 x 10 ⁻⁶	0.0265
	124	33.0	306.0	0.00327	16.59 x 10 ⁻⁶	0.0266
	170	35.7	308.7	0.00324	16.85 x 10 ⁻⁶	0.0268
	209	37.9	310.9	0.00322	17.06 x 10 ⁻⁶	0.0270
16	50	27.3	300.3	0.00333	15.99 x 10 ⁻⁶	0.0262
	90	29.1	302.1	0.00331	16.19 x 10 ⁻⁶	0.0263
	124	31.9	304.9	0.00328	16.48 x 10 ⁻⁶	0.0265
	170	34.2	307.2	0.00326	16.71 x 10 ⁻⁶	0.0267
	209	35.8	308.8	0.00324	16.86 x 10 ⁻⁶	0.0268
17	50	25.2	298.2	0.00335	15.80 x 10 ⁻⁶	0.0261
	90	25.7	298.7	0.00335	15.85 x 10 ⁻⁶	0.0261
	124	28.5	301.5	0.00317	16.09 x 10 ⁻⁶	0.0263
	170	29.8	302.8	0.00330	16.25 x 10 ⁻⁶	0.0264
	209	31.0	304.0	0.00329	16.39 x 10 ⁻⁶	0.0265

TABLEAU XXIII

FLUX DE CHALEUR DE LA PLAQUE NOIRE VERS L'AIR A DIFFERENTS NIVEAUX

Date: 20-3-79

HEURE	NIVEAU (cm)	T(0,t) (°C)	T ₁ (°C)	Gr (équat.(2))	Nu (équat.(1))	h _c (Watt/m ² -°C) (équat.(3))	q _t (Watts/m ²) (équat.(4))
9	50	26.2	19.2	1.52 x 10 ⁶	5.21	1.16	8.12
	90	27.6	20.8	1.43 x 10 ⁶	5.04	1.13	7.68
	124	28.7	21.8	1.41 x 10 ⁶	5.00	1.13	7.80
	170	29.7	22.1	1.51 x 10 ⁶	5.19	1.18	8.97
	209	29.7	21.3	1.65 x 10 ⁶	5.46	1.24	10.42
10	50	31.4	26.0	1.12 x 10 ⁶	4.39	0.99	5.35
	90	33.1	27.5	1.14 x 10 ⁶	4.44	1.00	5.60
	124	34.4	28.4	1.16 x 10 ⁶	4.48	1.02	6.12
	170	34.9	27.8	1.34 x 10 ⁶	4.86	1.11	7.88
	209	33.5	25.4	1.52 x 10 ⁶	5.21	1.19	9.64
11	50	37.2	31.3	1.16 x 10 ⁶	4.48	1.02	6.02
	90	40.0	32.8	1.37 x 10 ⁶	4.92	1.13	8.14
	124	41.0	33.5	1.33 x 10 ⁶	4.84	1.12	8.40
	170	41.1	33.0	1.42 x 10 ⁶	5.02	1.16	9.40
	209	39.1	29.8	1.61 x 10 ⁶	5.38	1.25	11.63
12	50	40.9	35.7	0.99 x 10 ⁶	4.10	0.94	4.89
	90	45.0	37.5	1.37 x 10 ⁶	4.92	1.13	8.48
	124	45.5	37.9	1.28 x 10 ⁶	4.73	1.10	8.36
	170	45.3	37.2	1.37 x 10 ⁶	4.92	1.15	9.32
	209	42.7	34.4	1.36 x 10 ⁶	4.90	1.15	9.55
13	50	44.0	35.8	1.61 x 10 ⁶	5.38	1.22	10.0
		48.1	38.0	1.89 x 10 ⁶	5.89	1.35	13.64
	124	49.0	38.7	1.81 x 10 ⁶	5.75	1.33	13.70
	170	48.5	38.0	1.80 x 10 ⁶	5.73	1.33	13.97
	209	45.2	35.9	1.54 x 10 ⁶	5.25	1.23	11.44
14	50	44.3	35.3	1.77 x 10 ⁶	5.68	1.29	11.61
	90	48.4	37.5	2.05 x 10 ⁶	6.16	1.41	15.37
	124	49.7	38.2	2.04 x 10 ⁶	6.15	1.42	16.33
	170	49.5	37.5	2.07 x 10 ⁶	6.20	1.44	17.28
	209	47.1	35.7	1.89 x 10 ⁶	5.89	1.38	15.73
15	50	43.2	34.7	1.60 x 10 ⁶	5.37	1.23	10.46
	90	46.7	36.8	1.81 x 10 ⁶	5.75	1.33	13.17
	124	48.2	37.6	1.88 x 10 ⁶	5.87	1.36	14.42
	170	48.5	37.0	2.00 x 10 ⁶	6.08	1.42	16.33
	209	46.7	35.3	1.88 x 10 ⁶	5.87	1.38	15.73
16	50	40.6	34.3	1.22 x 10 ⁶	4.61	1.05	6.62
	90	43.5	36.3	1.36 x 10 ⁶	4.90	1.12	8.06
	124	45.3	36.9	1.51 x 10 ⁶	5.19	1.20	10.08
	170	45.8	36.5	1.62 x 10 ⁶	5.40	1.25	11.63
	209	44.4	35.2	1.56 x 10 ⁶	5.29	1.23	11.32
17	50	34.5	28.6	1.18 x 10 ⁶	4.52	1.03	6.06
	90	37.6	30.5	1.41 x 10 ⁶	5.00	1.13	8.06
	124	39.3	31.3	1.46 x 10 ⁶	5.10	1.17	9.33
	170	39.9	31.2	1.62 x 10 ⁶	5.40	1.24	10.79
	209	38.5	30.7	1.42 x 10 ⁶	5.03	1.16	9.04

TABLEAU XXIV

TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION ENTRE L'INTERIEUR DU MUR ET L'AIR DE LA PIECE , 13 et 14 février

HEURE	\bar{T}_P (°C)	\bar{T} (°K)	β (1/°K)	ν (m ² /sec)	$\bar{T}_{q,s}$ (°C)	Gr_H	Ra_H	Nu	k_a (W/m-°C)	h_i (W/m ² -°C)	Q_c (W/m ²)	Q_{cT} (Watts)	Q_{cT} (kJ/h)
9	17.5	290.5	3.44x10 ⁻³	15.04x10 ⁻⁶	17.6	0.196x10 ⁹	0.141x10 ⁹	64.3	0.0256	0.70	0.07	0.18	0.63
10	18.6	291.6	3.43	15.13	18.2	-0.772	-0.556	-90.6	0.0256	-0.98	-0.39	-0.98	-3.53
11	20.9	293.9	3.40	15.37	18.6	-4.26	-3.07	-144.3	0.0258	-1.58	-3.63	-9.09	-32.71
12	21.9	294.9	3.39	15.47	19.1	-5.11	-3.68	-153.2	0.0258	-1.68	-4.70	-11.76	-42.34
13	24.3	297.3	3.36	15.70	19.9	-7.73	-5.56	-175.9	0.0260	-1.94	-8.54	-21.34	-76.82
14	24.9	297.9	3.36	15.77	20.5	-7.66	-5.51	-175.4	0.0260	-1.93	-8.49	-21.23	-76.43
15	24.5	297.5	3.36	15.72	21.2	-5.78	-4.16	-159.7	0.0260	-1.76	-5.81	-14.52	-52.27
16	23.1	296.1	3.38	15.57	21.7	-2.51	-1.81	-121.0	0.0259	-1.33	-1.86	-4.66	-16.76
17	23.5	296.5	3.37	15.61	21.8	-3.03	-2.18	-128.8	0.0259	-1.41	-2.40	-5.99	-21.57
18	17.2	290.2	3.45	15.01	21.3	8.09	5.82	178.6	0.0255	1.93	7.91	19.78	71.22
19	16.9	289.9	3.45	14.99	20.9	7.91	5.70	177.3	0.0255	1.92	7.68	19.20	69.12
20	16.8	289.8	3.45	14.96	20.7	7.74	5.58	176.0	0.0255	1.90	7.41	18.53	66.69
21	18.8	291.8	3.43	15.15	20.6	3.47	2.49	134.7	0.0256	1.46	2.63	6.57	23.65
22	16.5	289.5	3.45	14.93	20.5	7.97	5.74	177.7	0.0254	1.91	7.64	19.10	68.76
23	16.4	289.4	3.46	14.92	20.2	7.61	5.48	174.9	0.0254	1.88	7.14	17.86	64.30
24	17.4	290.4	3.44	15.03	19.9	4.90	3.53	151.2	0.0255	1.63	4.08	10.19	36.68
1	15.5	288.5	3.47	14.83	19.3	7.72	5.56	175.8	0.0253	1.89	7.18	17.96	64.64
2	15.5	288.5	3.47	14.83	18.6	6.30	4.54	164.3	0.0253	1.76	5.46	13.64	49.10
3	15.5	288.5	3.47	14.83	18.2	5.49	3.95	156.9	0.0253	1.68	4.54	11.34	40.82
4	13.9	286.9	3.49	14.69	17.3	7.03	5.10	170.9	0.0253	1.83	6.22	15.56	56.00
5	15.9	288.9	3.46	14.87	17.4	3.02	2.18	128.7	0.0253	1.38	2.07	5.18	18.63
6	15.8	288.8	3.46	14.86	18.1	4.64	3.34	148.4	0.0253	1.59	3.66	9.14	32.91
7	17.3	290.3	3.44	15.02	18.2	1.77	1.27	107.6	0.0255	1.16	1.04	2.61	9.40
8	18.1	291.1	3.44	15.09	18.3	0.389	0.280	65.0	0.0256	0.71	0.14	0.36	1.28
9	17.1	290.1	3.45	15.01	18.6	2.96	2.13	127.8	0.0255	1.38	2.07	5.18	18.63

TABLEAU XXV

TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION ENTRE L'INTERIEUR DU MUR ET L'AIR DE LA PIECE , 15 et 16 février

HEURE	\bar{T}_p (°C)	\bar{T}_p (°K)	β (1/°K)	ν (m ² /sec)	$\bar{T}_{q,s}$ (°C)	Gr_H	Ra_H	Nu	k_a (W/m-°C)	h_i (W/m ² -°C)	Q_c (W/m ²)	Q_{cT} (Watts)	Q_{cT} (kJ/h)
9	15.1	288.1	3.47x10 ⁻³	14.79x10 ⁻⁶	15.8	1.43x10 ⁹	1.03x10 ⁹	100.3	0.0253	1.08	0.76	1.89	6.80
10	19.9	292.9	3.41	15.26	18.8	-2.07	-1.49	-113.4	0.0256	-1.23	-1.35	-3.38	-12.18
11	21.9	294.9	3.39	15.46	19.0	-5.30	-3.82	-155.1	0.0258	-1.70	-4.93	-12.33	-44.37
12	23.6	296.6	3.37	15.61	19.5	-7.30	-5.26	-172.6	0.0259	-1.89	-7.75	-19.37	-69.74
13	25.5	298.5	3.35	15.83	20.4	-8.78	-6.32	-183.5	0.0261	-2.03	-10.35	-25.88	-93.18
14	26.6	299.6	3.34	15.92	21.1	-9.33	-6.72	-187.3	0.0262	-2.08	-11.44	-28.60	-102.96
15	26.7	299.7	3.34	15.93	22.1	-7.80	-5.62	-176.4	0.0262	-1.96	-9.02	-22.54	-81.14
16	24.5	297.5	3.36	15.72	22.6	-3.33	-2.40	-132.9	0.0260	-1.46	-2.77	-6.94	-24.97
17	21.1	294.1	3.40	15.38	22.7	2.96	2.13	127.8	0.0258	1.40	2.24	5.60	20.16
18	18.2	291.2	3.43	15.09	22.6	8.53	6.14	181.8	0.0256	1.97	8.67	21.67	78.01
19	18.7	291.7	3.43	15.14	22.5	7.32	5.27	172.7	0.0256	1.87	7.11	17.77	63.95
20	17.8	290.8	3.44	15.06	22.5	9.18	6.61	186.3	0.0256	2.02	9.49	23.74	85.45
21	17.6	290.6	3.44	15.05	22.4	9.39	6.76	187.7	0.0256	2.04	9.79	24.48	88.13
22	18.4	291.4	3.43	15.11	22.4	7.74	5.57	176.0	0.0256	1.91	7.64	19.10	68.76
23	18.6	291.6	3.43	15.13	22.3	7.14	5.14	171.3	0.0256	1.86	6.88	17.21	61.94
24	16.6	289.6	3.45	14.94	22.3	11.35	8.17	199.9	0.0254	2.15	12.26	30.64	110.30
1	18.5	291.5	3.43	15.12	22.0	6.76	4.87	168.3	0.0256	1.83	6.41	16.01	57.65
2	19.4	292.4	3.42	15.21	21.8	4.57	3.29	147.7	0.0256	1.60	3.84	9.60	34.56
3	18.8	291.8	3.43	15.15	21.6	5.39	3.38	156.0	0.0256	1.69	4.73	11.83	42.59
4	19.0	292.0	3.42	15.17	21.3	4.40	3.17	145.8	0.0256	1.58	3.63	9.09	32.71
5	19.5	292.5	3.42	15.22	21.1	3.40	2.19	129.0	0.0256	1.40	2.24	5.60	20.16
6	18.6	291.6	3.43	15.13	20.9	4.40	3.20	146.2	0.0256	1.59	3.66	9.14	32.91
7	18.2	291.2	3.43	15.09	20.7	4.85	3.49	150.6	0.0256	1.63	4.08	10.19	36.68
8	19.3	292.3	3.42	15.19	20.5	2.29	1.65	117.3	0.0256	1.27	1.52	3.81	13.72
9	18.9	291.9	3.43	15.17	20.5	3.07	2.21	129.4	0.0256	1.40	2.24	5.60	20.16

**À CONSULTER
SUR PLACE**

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



3 9334 00289058 8