

2/76

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

2 ex

PROJET DE FIN D'ÉTUDES *Reglé en*

TOME 1

*Manque une planche*

DETERMINATION <sup>المعرفة</sup> <sup>المدرسة الوطنية</sup> DES PERTES  
 DANS UN CAPTEUR SOLAIRE  
 EN FONCTION <sup>الدراسة</sup> DE LA TEMPERATURE  
 BIBLIOTHEQUE

Proposé et dirigé par:  
Mr. G.D'ALBON  
Pr. Dr. Ingénieur

Etudié par;  
BENKHEROUROU Ouahab  
SALEM L.Farid  
BETAYEB Smail

Promotion 1976



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

DETERMINATION DES PERTES  
DANS UN CAPTEUR SOLAIRE  
EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Proposé et dirigé par,  
Mr. G.D'ALBON  
Pr. Dr. Ingénieur

Etudié par,  
BENKHEROUROU Ouahab  
SALEM L.Farid  
BETAYEB Smail


Promotion 1976

II) F II) I<sup>o</sup> (C F) (C F)

§--:o:o:o:--=UoOoU=--:o:o:o:--§

(F) N O S P A R E N T S

F I A M I S .

 R E M E R C I E M E N T S  
---o---o---OoO---o---o---

- Que Monsieur G.D'ALBON veuille trouver ici nos remerciements les plus vifs et notre profonde gratitude .

- Nous remercions également Monsieur LOUALI qui nous a beaucoup aidé dans la réalisation pratique de notre projet .

- Que les responsables de la S.N.M.C.  
unité ex-ETERNIT Gué de Constantine

KOUBA .

trouvent ici leur part de remerciements pour l'aide matérielle qu'ils ont bien voulu nous apporter .

- Nous exprimons également nos remerciements à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation .

IN T R O D U C T I O N  
-----

Les besoins énergétiques de l'humanité, sans cesse, plus accentués ouvrirent de larges perspectives à l'énergie d'origine solaire et donnèrent lieu à un champ d'études très vaste et très diversifié ayant trait au captage de cette énergie et à son utilisation à des fins domestiques et industrielles .

Cependant, la variation de l'énergie incidente au sol en fonction des paramètres météorologiques, climatiques et géographiques pose toujours des problèmes dans l'optimisation des qualités réceptrices des capteurs solaires (éléments permettant la transformation de l'énergie rayonnante du soleil en énergie calorifique ou électrique) . C'est dans cette axe que se situe notre étude .

Le chapitre I traitera des diverses utilisations de l'énergie solaire tout en soulignant ses avantages et les problèmes posés par son irrégularité .

Le chapitre II présentera le domaine proprement dit que nous nous sommes fixé d'étudier .

Dans le chapitre III seront introduits, d'une manière détaillée, la description du dispositif expérimental et les calculs préliminaires ayant trait à celui-ci .

Dans le chapitre IV, seront notés les résultats des divers essais effectués .

Le chapitre V traitera de l'interprétation des résultats acquis et leur utilisation dans l'analyse d'un capteur solaire et son optimisation en fonction du flux incident solaire et de la température de fonctionnement .

(CHAPITRE : - I -

UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE

1.1 NATURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE .

1.1.1 Nature géométrique .

Le rayonnement solaire est considéré, vu les dimensions de l'orbite terrestre, comme un faisceau de rayons lumineux parallèles . Cette considération est déterminante pour la définition de la géométrie des capteurs et leur orientation .

1.1.2 Nature physique .

Pour une définition physique du rayonnement solaire, on assimile celui-ci à un corps noir parfait porté à la température de 5700°K environ ; on suppose, en outre, que le rayonnement du disque solaire est constant en tous ses points .

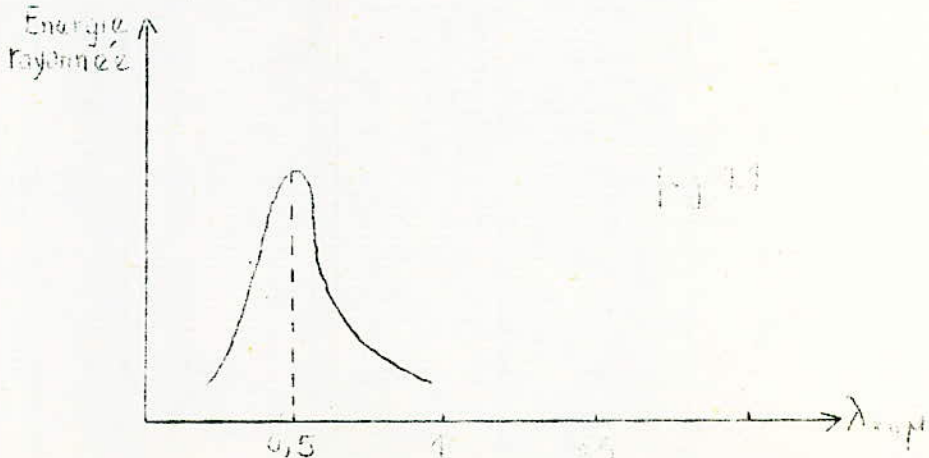
Compte tenu de ces hypothèses, le spectre d'émission du soleil peut-être calculé par les lois de Wien et de Stéphan, donnant respectivement la longueur d'onde où l'émission est maximum et la répartition autour de cette longueur d'onde, en fonction de la température du corps noir .

Loi de Wien :

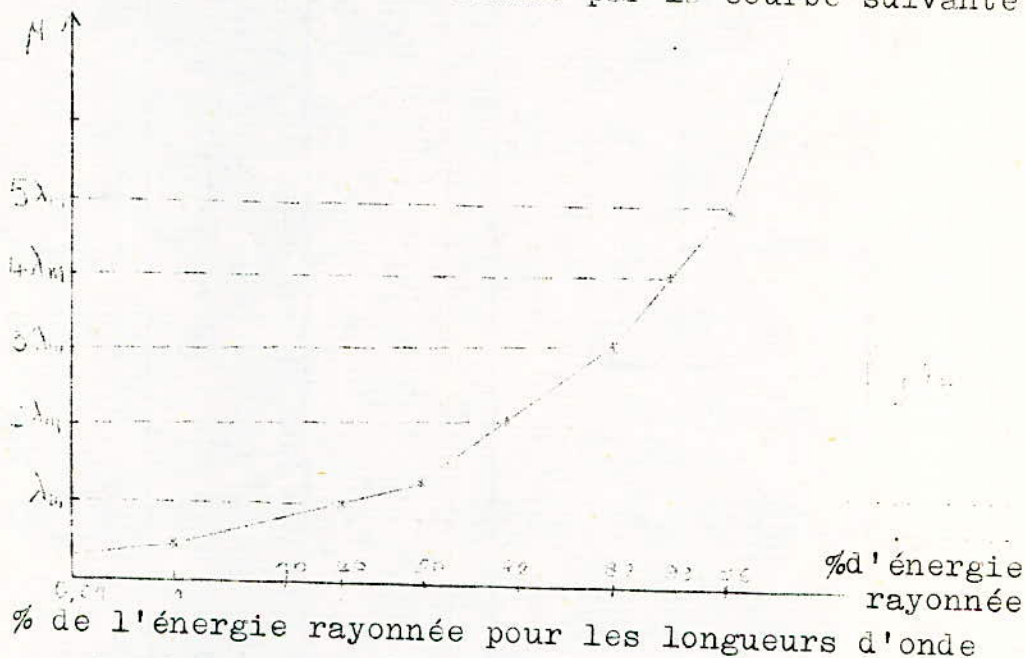
$\lambda_m$  = Longueur d'onde la plus rayonnée

$$\lambda_m \cdot T = 2880 \quad \lambda_m = \frac{2880}{5700} = 0,5 \mu$$

avec T température absolue du soleil .



D'autre part, il est intéressant de savoir dans quelle bande de longueur d'onde se situe le maximum d'énergie rayonnée . Cette répartition est donnée par la courbe suivante :



On déduit de cette courbe que 95% de l'énergie rayonnée par un corps noir l'est dans une bande allant de  $0,5\lambda_m$  à  $5\lambda_m$  . Dans le cas du soleil, ce te bande va de  $0,25\mu$  à  $2,5\mu$  .

### 1.2 TYPES DE RAYONNEMENTS .

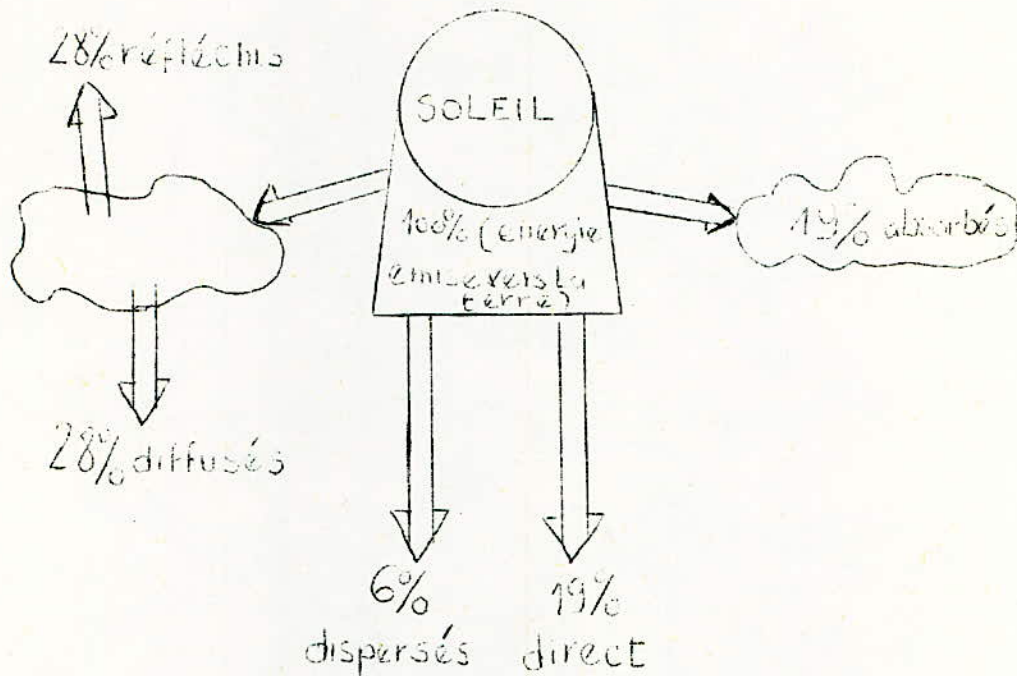
L'énergie reçue par un capteur au sol peut être apportée par deux sortes de rayonnements :

- L'énergie apportée par des rayonnements issus directement du soleil sans aucun intermédiaire ; ce type de rayonnement est appelé direct .

L'énergie apportée par des rayonnements qui, issus du soleil, ont été réfléchis, diffractés ou diffusés par un ou plusieurs obstacles ( nuages, neiges, brumes, murs ... ) avant de parvenir au capteur ; ce type de rayonnement est appelé diffus .

Le rayonnement global étant la somme des rayonnements direct et diffus .





Des mesures ont montré que la proportion du rayonnement direct par rapport au rayonnement global varie au cours de l'année . En été le rayonnement direct représente 50% du rayonnement global alors qu'en hiver il ne représente plus que 20% de celui-ci .

Les valeurs de l'énergie incidente au sol varient avec l'heure du jour, la saison, la latitude et l'altitude . L'énergie directe incidente dépend surtout des nébulosités, elle varie pratiquement durant l'année entre  $50 \text{ W/m}^2$  et  $1 \text{ kW/m}^2$  .

### 1.3 Avantages de l'énergie solaire .

Bien que l'utilisation de l'énergie solaire pose des problèmes de stockage, de captage et de transport, cette source d'énergie n'est pas à négliger car elle présente des avantages certains .

Le soleil, brillant partout, permet une utilisation locale de l'énergie qu'il dissipe et évite les problèmes de transport .

L'utilisation domestique locale de l'énergie solaire permet une décentralisation des unités de productions et évite les perturbations de l'ensemble terre-mer-atmosphère ( écosystème ) .

La gratuité et le caractère non polluant de cette énergie favoriseraient son développement, cependant plusieurs problèmes restent à résoudre .

#### 1.4 Problèmes posés par l'utilisation de l'énergie solaire.

##### a) Captage :

Un capteur valable en un lieu et pour une destination donnée ne l'est plus forcément dans un autre lieu ou pour une autre destination, l'apport et l'utilisation de la chaleur étant différents, d'où une nécessité d'intégrer les capteurs dans leur environnement .

##### b) Stockage :

L'apport d'énergie solaire étant du genre intermittent, une utilisation continue de cette énergie nécessite un stockage .

Les problèmes techniques dépendent de deux paramètres principaux :

- La destination ( mode d'utilisation de la chaleur ) .
- La fréquence de l'ensoleillement du lieu considéré .

##### c) Considérations économiques :

Dans l'utilisation de l'énergie solaire le rendement énergétique n'est pas déterminant, par contre le rapport entre l'énergie totale fournie par an et la somme coût de l'amortissement annuel de l'investissement initial et des frais d'exploitation annuels est un facteur de choix déterminant dans l'utilisation de cette énergie .

Cependant la valeur économique de l'énergie récupérée, qui dépend de la nature de celle-ci et de sa variation avec le temps, présente un intérêt certain quant-à l'utilisation

de cette énergie .

L'énergie fournie sous forme de chaleur a une valeur économique beaucoup plus basse que l'énergie mécanique .

La valeur économique de l'énergie dépend au fait que son utilisation implique ou non un stockage, et également de la température à laquelle elle est fournie ; cette dernière considération est à prendre quand il s'agit d'une utilisation sous une forme non thermique ou dans la réfrigération par cycle à absorption .

L'utilisation à distance de l'énergie pose des problèmes de transport influants sur sa valeur économique .

Dans le cas d'une conversion directe de l'énergie reçue en énergie électrique, cette dernière a une valeur économique qui dépend de plusieurs facteurs :

- Courant continu : en général, il a une valeur économique plus grande que le courant alternatif quand il est utilisé en tant que tel .

- Dans le cas d'un couplage avec un réseau la valeur économique est plus grande lorsque l'énergie électrique est fournie aux heures de pointes .

- Dans le cas d'une utilisation locale immédiate la valeur économique est optimale .

Toutes les considérations énoncées entrent en jeu dans l'étude économique d'un capteur .

La diversité des conditions élimine la possibilité de traiter le problème d'une manière générale .

L'utilisation industrielle de l'énergie <sup>solaire</sup> nécessite de grandes surfaces de captage, ce qui dans des régions exploitées aurait un effet nefaste sur la valeur économique de l'énergie récupérée .

En Algérie, ce dernier problème ne se pose pas, car la disponibilité en grandes surfaces ensoleillées, eté comme niver, non productives constitue un avantage quant-au développement de l'utilisation de l'énergie solaire .

### 1.5 SOLUTIONS ADOPTÉES .

#### 1.5.1 Captage :

Les différents modes de captage seront décrits dans le chapitre suivant .

#### 1.5.2 Stockage :

Le mur d'un local, recueillant le rayonnement pendant la journée, emmagasine une certaine quantité de chaleur qu'il restitue pendant la nuit .

Pour une durée de stockage ou une quantité d'énergie à stocker, plus importantes le système suivant peut être employé :

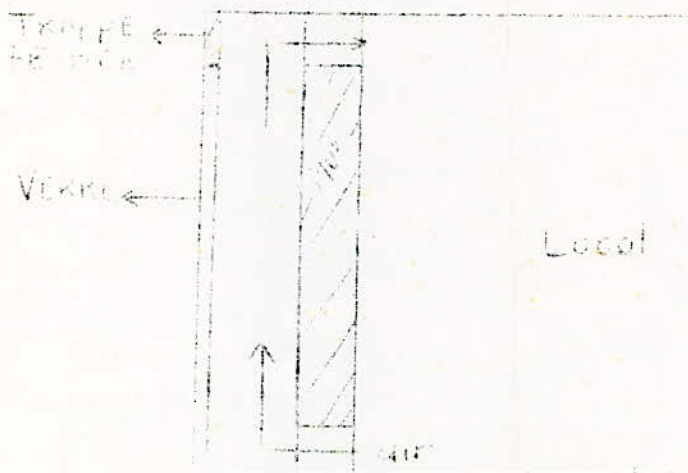
un volume calorifugé contenant un corps ou un fluide ayant une bonne capacité thermique est réchauffé par une circulation de fluide en provenance du capteur et peut, par cette même circulation, restituer le moment venu l'énergie emmagasinée .

Cette dernière solution est valable pour le chauffage à distance, la réfrigération ou pour une utilisation thermo-énergétique .

### 1.6 DOMAINES D'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE .

#### 1.6.1 Thermique du bâtiment :

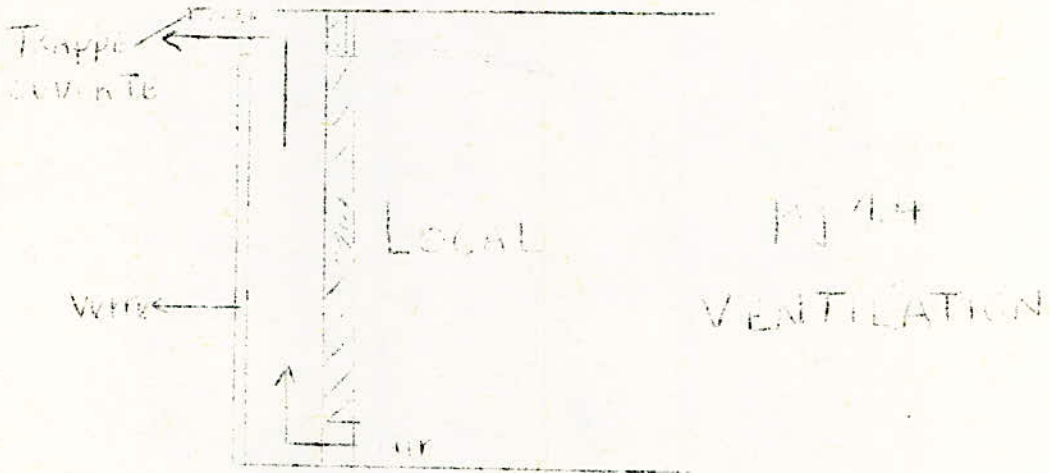
- Chauffage et ventilation d'un local .



Local

CHAUFFAGE

Fig 13



La figure 1.3 représente le principe du chauffage d'un local par convection naturelle le long du mur receveur d'énergie solaire.

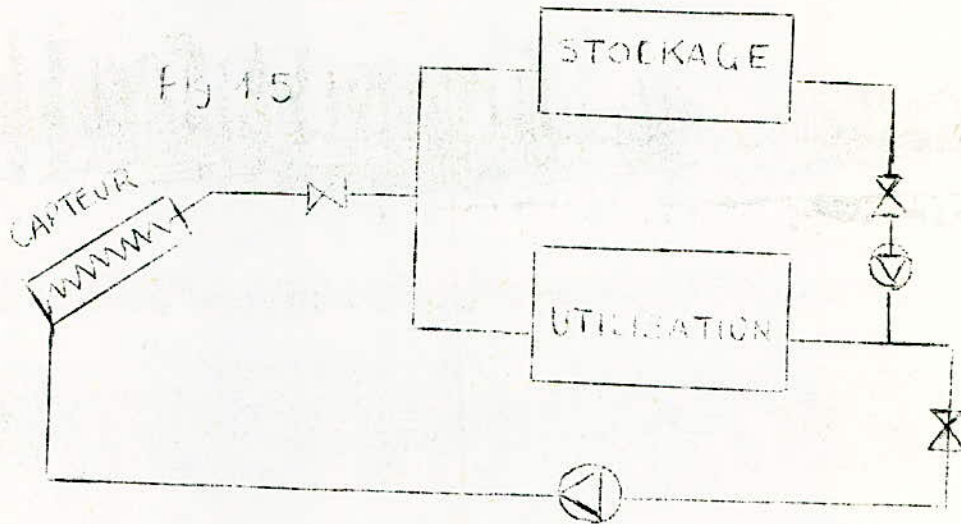
La figure 1.4 représente le même procédé permettant une ventilation et un refroidissement du mur exposé au rayonnement solaire.

-Eau chaude sanitaire .

Un capteur placé en un endroit approprié du bâtiment permet le chauffage du fluide qui y circule et l'approvisionnement en eau chaude de l'immeuble . Un stockage préalable évitera les désagréments dus à un manque d'eau chaude .

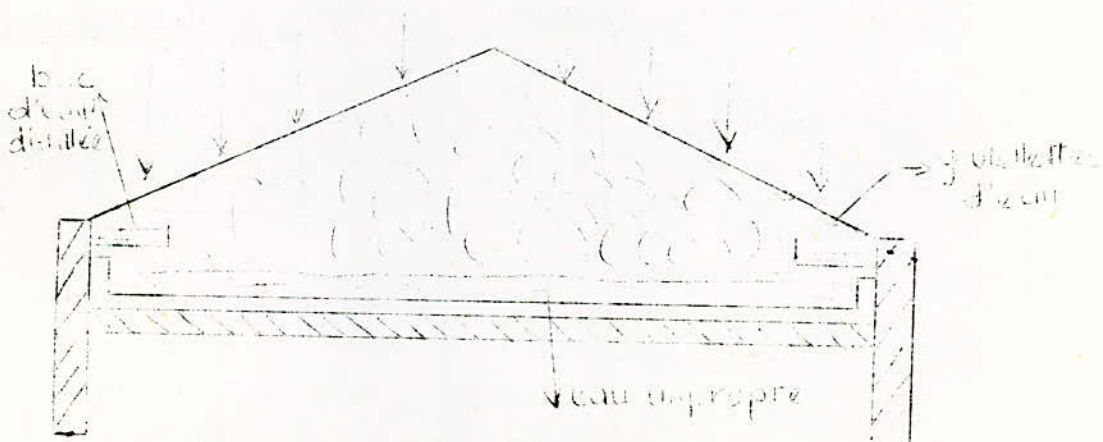
-Chauffage à distance .

Il utilise pour la distribution de la chaleur le même principe que les radiateurs habituels, la chaudière étant remplacée par le capteur. Le dispositif de stockage est indispensable pour un apport de chaleur continu. Le schéma suivant (figure 1.5) illustre le principe.



### 1.6.2 Distillation :

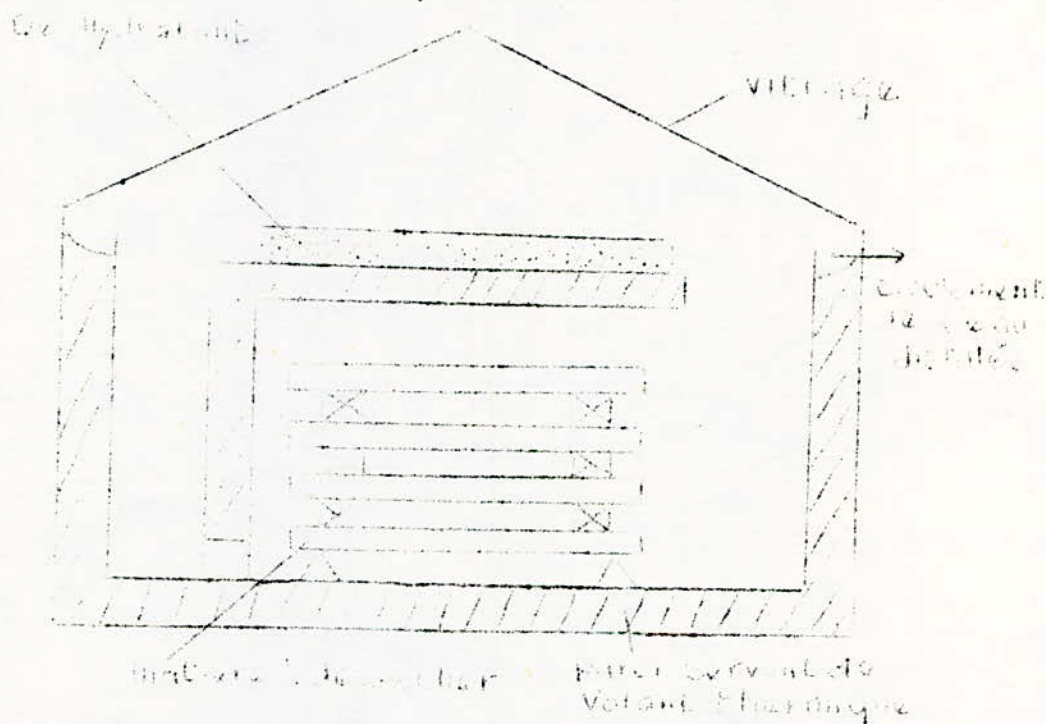
Le plus simple des distillateurs solaires est constitué de la manière suivante : un volume d'eau enfermé dans un bac plat parfaitement isolé des impuretés extérieures . Il reçoit le rayonnement solaire par l'intermédiaire de deux vitrages . Les vapeurs d'eau se condensent sur les vitrages plus froids . De principe simple, ne nécessitant aucun entretien sérieux, les distillateurs solaires fournissent de l'eau distillée à bon marché et intéressent surtout les régions désertiques tel que le Sahara où l'eau extraite des puits contient des impuretés qui la rendent impropre à l'utilisation domestique .



### 1.6.3 Séchage :

- Séchage des marais salants et obtention de sel .
- Nous pouvons citer comme exemple le dispositif suivant permettant d'obtenir le séchage progressif de certains produits .

Dans le cas du séchage du bois ou de la céramique, l'action directe du rayonnement solaire ne convient pas car elle entrainerait un chauffage superficiel trop considérable de la matière à traiter .



Le fonctionnement se fait en deux temps de la manière suivante :

a) Au cours de la nuit, l'air chaud de la partie inférieure monte et se refroidit contre la paroi transparente. L'humidité est retenue par le déshydratant . L'air froid et sec descend et, au contact de la matière à traiter, s'échauffe et se réhumidifie . Le cycle continuant ainsi durant toute la nuit .

b) Le rayonnement solaire régénère le produit déshydratant . L'eau distillée coule sur les parois transparentes

et est éliminée par l'extérieur .

L'air de la partie inférieure, étant plus froid que celui de la partie supérieure, ne pénétrera pas dans cette dernière .

#### 1.6.4 Réfrigération :

La réfrigération par énergie solaire intéresse particulièrement les régions désertiques tel que le Sahara où la densité de flux incident solaire est maximale . La réfrigération classique ( par compression mécanique n'est pas souhaitable) car elle nécessite des machines assujetties à un entretien assez coûteux . Par contre, le procédé de réfrigération par absorption se passe de tout entretien difficile vu l'absence quasi-totale de machines . Ce procédé consiste en la manière suivante :

Un fluide circulant à travers le capteur d'énergie solaire chauffe et cède ses calories, dans le bouilleur à une eau ammoniacale faisant passer à l'état gazeux l'ammoniac(dissout dans cette solution).

Après séparation(dans le séparateur ) de la vapeur d'eau entraînée, les vapeurs d'ammoniac sont liquéfiées sous leur propre pression dans un condenseur refroidi par de l'eau . L'ammoniac liquide est détendu à travers un robinet de réglage et amené dans l'évaporateur à l'état gazeux avec enlèvement de chaleur à l'ambiance . Les vapeurs sont absorbées dans l'absorbeur par la solution pauvre refroidie par une circulation d'eau, pour être de nouveau chassées de la liqueur enrichie .

Entre le bouilleur, contenant la solution appauvrie, et l'absorbeur où elle s'enrichit de nouveau, une circulation intervertissant les deux solutions est maintenue au moyen d'une pompe, au travers d'un échangeur de chaleur. ( voir figure 1.6 ) .



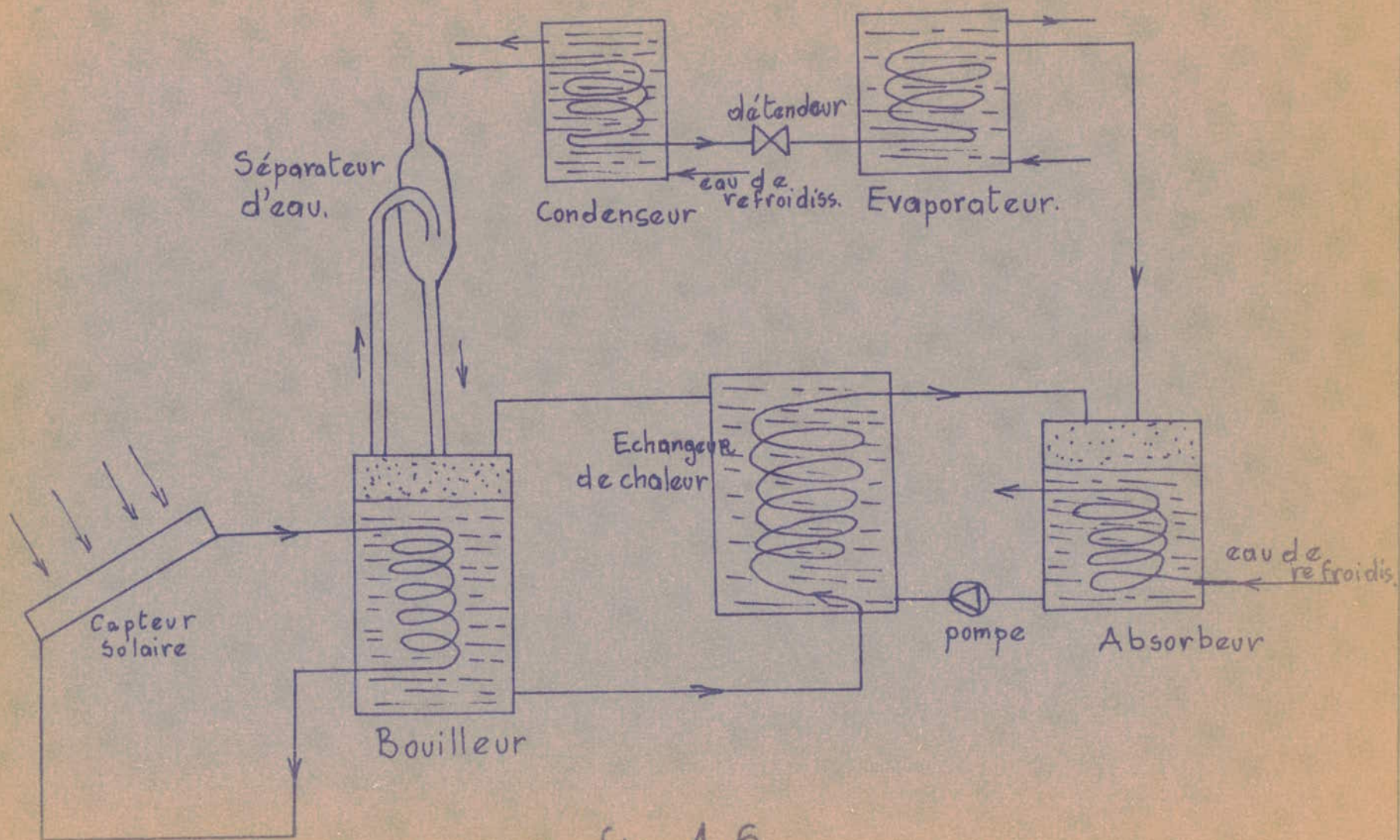
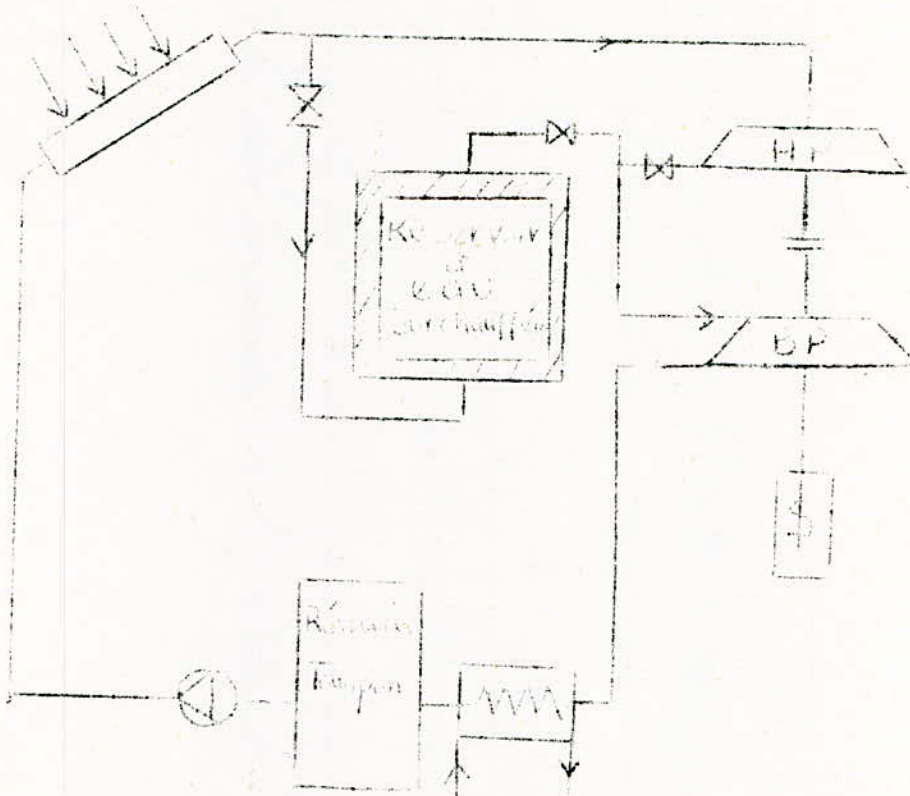


Fig. 1.6.

1.6.5 Utilisation thermoénergétique :



En période d'ensoleillement une partie de l'énergie récupérée est dérivée afin de réchauffer un fluide à la température  $T$  et à la pression  $P$ . L'autre partie fait fonctionner un groupe turbo-alternateur produisant de l'énergie électrique.

Lors d'une période sans apport d'énergie solaire, on fait fonctionner le cycle thermodynamique à la pression  $P'$  ( inférieur à  $P$  ) provoquant ainsi la vaporisation du fluide et permettant le fonctionnement du même groupe turbo-alternateur avec le seul étage basse pression ( voir figure 1.7 )

#### 1.6.6 Conversion photovoltaïque :

Un autre procédé permet de récupérer directement de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire sans passer par une phase thermique assujettie aux fluctuations du rendement de Carnot . Ce procédé consiste à utiliser les propriétés photoélectriques de certains métaux et alliages et porte le nom de conversion photovoltaïque . Cette conversion directe fait appel aux photo-piles .

A leurs débuts, les cellules photovoltaïques, de prix de revient très élevé, virent leurs applications dans un domaine très restreint et très particulier, autre que domestique . Les progrès technologiques réalisés ces dernières années abaissèrent nettement le prix de revient et donnerent à la conversion photovoltaïque un champ d'application dans le domaine d'utilisation domestique . Cependant, les cellules photovoltaïques demeurent toujours non compétitives vis-a-vis des moyens classiques d'obtention d'énergie électrique .

Actuellement le matériau le plus utilisé pour la conversion photovoltaïque est le Silicium dont le prix représente environ 80 % du prix total de la cellule .

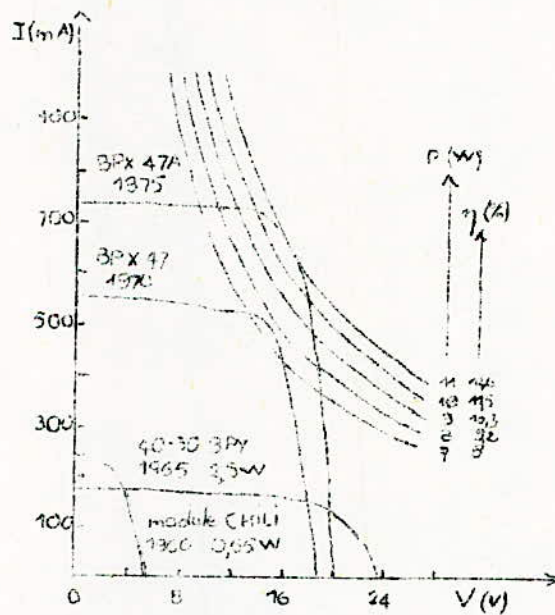
De 1960 à 1975 le rendement des cellules au Silicium est passé de 6 % à 12,5 % , leur durée de vie a augmenté et le prix de revient nettement diminué .

Protégés des agents atmosphériques, les panneaux solaires présentent des durées de vie très favorables à leur utilisation .

En utilisant un matériau de base moins pur, des procédés d'usinage moins coûteux en matière, des techniques de montage plus simples, le prix de revient des cellules photovoltaïques se trouvera encore plus diminué

et donnera une impulsion importante quant-à leur utilisation a des fins domestiques et même industrielles .

Le rendement de conversion étant une fonction croissante de la puissance incidente, l'utilisation de la concentration du flux solaire est favorable . Cependant, les matériaux utilisés dans de telles cellules, ne résistant pas au delà de certaines températures limitent la concentration sauf dans le cas d'une utilisation mixte ( refroidissement par fluide et utilisation de l'énergie thermique ainsi recuperee ) . Mises à part les considérations précédentes, le probleme du stockage demeure toujours déterminant quant-a l'utilisation massive de l'énergie photovoltaïque .



Courbes de caractéristiques des panneaux solaires réalisés de 1960 à 1975 .

### 1.6.7 Perspectives d'utilisation d'énergie solaire en ALGERIE .

#### - Zone du littoral :

En hiver, le rayonnement diffus étant prépondérant, un capteur sans concentrateur placé sur terrasse ( face sud ) donne les meilleurs résultats en ce qui concerne le chauffage des locaux ou l'obtention d'eau chaude sanitaire .

En été, l'importance du rayonnement direct permet l'utilisation d'un concentrateur et l'obtention de températures favorables à la réfrigération des locaux par cycles à absorption .

#### - Zone du Sud :

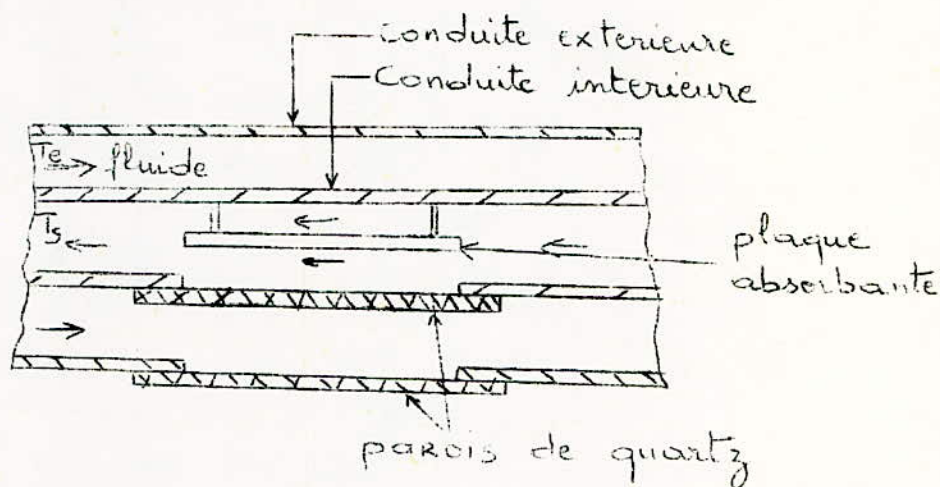
Le rayonnement direct étant de loin le plus important, le captage avec concentration de flux solaire est le plus intéressant . Il permet une utilisation locale plus rationnelle du rayonnement solaire dans les domaines suivants : eau chaude sanitaire, chauffage, réfrigération par cycles à absorption, énergie mécanique ( pompage des eaux ), photopiles pour électricité ménagère .

La solution à adopter pour " démarrer " consiste en l'utilisation de l'effet-serre avec volant thermique journalier pour le chauffage domestique . De part son investissement faible, cette solution présente des résultats techniques et économiques certains .

### 1.6.8 Utilisation de l'énergie solaire pour la surchauffe d'un fluide :

De part sa nature même, le rayonnement solaire laisse penser qu'il constitue la seule source qui permet de chauffer un fluide à hautes températures et pression ( par apport de chaleur de l'extérieur ) tout en conservant les parois qui supportent la pression à une tempé-

rature plus basse que celle du fluide . Le schéma suivant illustre le principe .



Le fluide ayant à l'entrée une température  $T_e$  est préchauffé sur les parois extérieures avant son passage au niveau de la plaque absorbante portée à très haute température . Le fluide sort alors à une température  $T_s$  très supérieure à la température d'entrée  $T_e$  . Les parois de la conduite intérieure auront une température moyenne entre celles du fluide extérieur et intérieur .

De conception simple, ce procédé peut être utilisé - dans le cas des turbines à vapeur - pour la surchauffe de la vapeur et permet une augmentation notable de leur rendement .

(CHAPITRE : - II -

PRESENTATION DU DOMAINE A ETUDIER

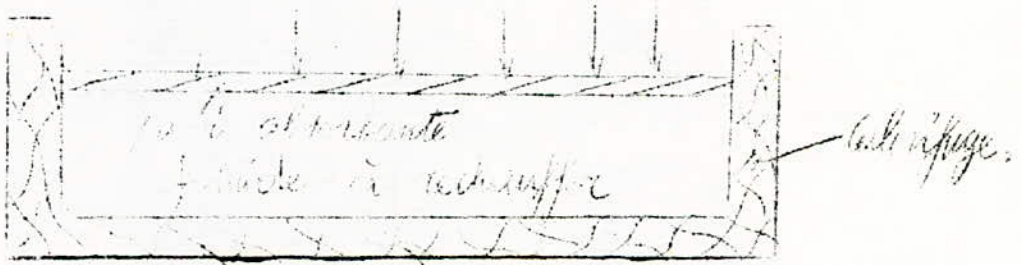
2.1 PRINCIPE DE CAPTAGE .

Il consiste à interposer entre la source rayonnante et le milieu à chauffer un corps ayant des propriétés de haute absorption dans le spectre solaire et de faible émissivité dans l'infra-rouge relatif à sa température de fonctionnement .

2.2 MODES ET MOYENS DE CAPTAGE .

2.2.1 Captage direct :

La surface absorbante au rayonnement solaire est directement exposée au flux solaire sans aucun intermédiaire .



Dans ce mode de captage les pertes par rayonnement et convection de la plaque absorbante sont assez accentuées et ne permettent pas des températures supérieures à 80° C .

2.2.2 Captage avec simple effet-serre :

Un autre phénomène peut intervenir pour tirer le meilleur parti du rayonnement à capter : il consiste à utiliser la transmission sélective de certains matériaux tel que le verre qui transmet pratiquement toute la gamme du spectre solaire au niveau du sol ( 0,3 $\mu$  à 2,5 $\mu$  ) et absorbe totalement le rayonnement de la plaque qui, étant à basse température, émet dans l'infra-rouge lointain .

Ce dispositif qui consiste à interposer entre la plaque et la source de rayonnement un verre donne lieu à l'effet de serre . Le captage avec effet-serre constitue donc une amélioration du captage direct d'autant plus que le verre, en dehors de ses qualités sélectives vis-à-vis de la transmission du rayonnement solaire et de la plaque absorbante, atténue nettement les pertes par convection au niveau du corps récepteur .

#### 2.2.3 Captage avec double effet-serre :

L'interposition d'une deuxième paroi de verre entre la première et la source rayonnante permet une nouvelle amélioration du captage .

L'augmentation du nombre de parois de verre au delà de deux laisse penser qu'aucune amélioration de captage ne serait atteinte car les pertes par absorption de flux solaire au niveau des parois de verre deviendraient prépondérantes .

#### 2.2.4 Captage avec concentration du flux solaire :

Les technologies précédentes des capteurs peuvent être utilisées directement soumises au rayonnement solaire ce qui limite la puissance à  $1 \text{ kW/m}^2$  ( puissance maximale, au niveau de la terre ) .

Un procédé tendant à augmenter la puissance incidente sur le capteur ( à surface égale ), ou à diminuer la surface du capteur ( à puissance égale ), découle du fait qu'on peut superposer un plus grand nombre d'images du soleil sur une même surface appelée foyer augmentant ainsi la puissance incidente sur la même surface par un dispositif optique ( miroir, loupe ... ) .

Cette technologie d'augmentation du flux incident sur le capteur est appelée concentration . L'élément optique permettant cette concentration est appelé concentrateur .



a) Types de capteurs avec concentration :

- Les " héliodynes " :

On appelle " héliodyne " un capteur dont la face réfléchissante et la zone focale ( zone d'utilisation ) suivent d'un seul mouvement le soleil .

- Les " héliostats " :

On appelle " héliostat " un capteur dont le foyer est fixe et dont la surface réfléchissante est constituée par un champ de miroirs s'orientant de manière à réfléchir les rayons dans une direction fixe : le foyer .

b) Problèmes de concentration :

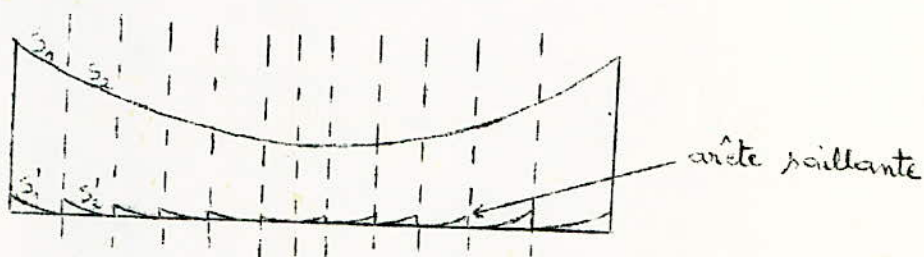
Pour avoir un taux de réflexion intéressant, les concentrateurs doivent présenter des propriétés géométriques très poussées ( usinage des supports, polissage,...). L'obtention de telles propriétés nécessite un important investissement . Ceci constitue un obstacle à l'utilisation des concentrateurs dans la réception de l'énergie solaire . A puissance incidente égale, un concentrateur de propriétés géométriques moins poussées présente une surface réfléchissante plus grande mais l'investissement demeure toujours assez élevé .

L'utilisation rationnelle d'un concentrateur nécessite une suivie de la trajectoire du soleil par la surface réfléchissante de celui-ci . Cette nécessité est assujettie à des procédés d'asservissements assez coûteux qui consomment, en outre, une partie de l'énergie récupérée. Leur utilisation est liée à un compromis entre la puissance consommée, le surplus de puissance fournie et l'augmentation du prix d'investissement . Cette étude économique dépasse le cadre de notre projet .

c) Nouveaux procédés de concentration :

- Miroir :

La transformation par affinité orthogonale des surfaces  $S_1, S_2, \dots$  constituant la surface réfléchissante d'un miroir parabolique nous fournit des surfaces affines  $S'_1, S'_2, \dots$  possédant le même taux de réflexion à incidence normale que les premières. Le schéma suivant illustre le principe :



Ce procédé présente l'avantage de fournir un élément concentrateur de faible épaisseur. Réalisés en plastique argenté, de tels éléments sont obtenus facilement par presse. Pour éviter l'effet d'ombre dû aux arêtes saillantes, une orientation étudiée de telles surfaces réfléchissantes est nécessaire.

- Loupe :

Pour les faibles concentrations, la solution consistant en l'utilisation de loupes peut être adoptée.

Pour une fabrication plus facile et un gain de matière important, le même procédé que celui décrit précédemment pour les miroirs peut être utilisé dans l'exécution de loupes.





### 2.3 DOMAINE D'UTILISATION DES CAPTEURS .

L'utilisation des différents capteurs décrits se fait en fonction des critères suivants :

- a) Température d'utilisation de l'énergie récupérée .
- b) Nature des rayonnements les plus disponibles (direct ou diffus) .

Schéma des températures obtenues avec les différents procédés de captage .

0° C	30° C	150° C
Captage direct (chauffage des locaux) .	Captage avec effet-serre (chauffage par circulation de fluide chaud : cycles à Fréon et Butane ) .	Captage avec concentration . 600° C Domaine thermo-énergétique Fours

Pour des procédés sans concentration, tout le rayonnement est utilisé ( direct et diffus ) .

Pour les procédés avec concentration, seul le rayonnement direct est utilisé .

### 2.4 AXE DE L'ETUDE .

On part de l'idée que le flux incident est indépendant de la température de la plaque .

Par contre les pertes d'un capteur sont fonction de sa température .

Dans l'étude d'un capteur, on doit partir de la mesure de ces pertes .

Ces pertes peuvent être classées en deux catégories :

- Les pertes sur lesquelles on peut agir ( pertes par calorifuge ) .

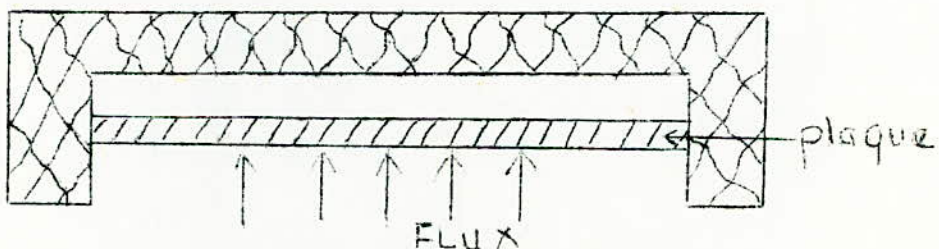
- Les pertes que l'on pourra tout simplement diminuer par des procédés selectifs : pertes par convection et rayonnement .

La connaissance de la courbe des pertes d'un capteur nous permet d'évaluer ses performances pour une utilisation donnée . On se propose, en outre, d'optimiser l'exergie disponible en fonction de la température de fonctionnement et de situer les domaines d'efficacité relative des trois procédés de captage suivants :

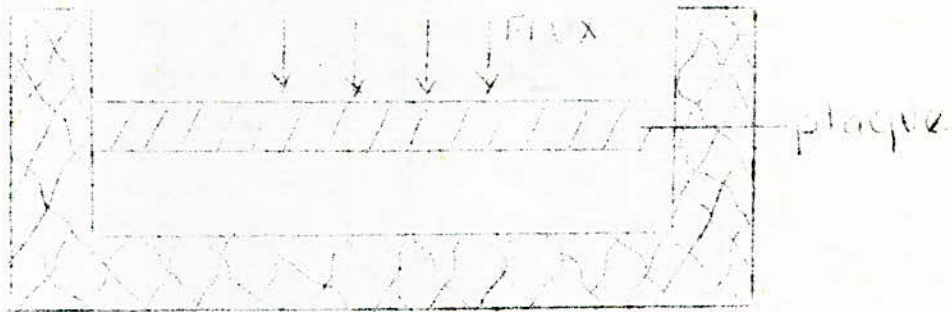
- Captage direct
- Captage avec simple effet-serre
- Captage avec double effet-serre .

Pour cela, on a réalisé un capteur de laboratoire chauffé électriquement utilisant les trois procédés précédents, et on a déterminé ses pertes pour différentes positions :

- Flux ascendant : la face absorbante étant orientée vers le bas .



- Flux descendant : la face absorbante étant dirigée vers le haut .



- Position verticale : la face absorbante étant disposée verticalement .



Pour cette position, les pertes ont été déterminées pour le seul procédé du simple effet-serre .

REMARQUE : Deux expériences supplémentaires ont été réalisées pour la position " flux ascendant " avec simple effet-serre : l'une utilisant le cas où la paroi de verre est en regard d'une plaque d'acier grossièrement poli, l'autre utilisant le même cas avec une feuille d'aluminium polie .

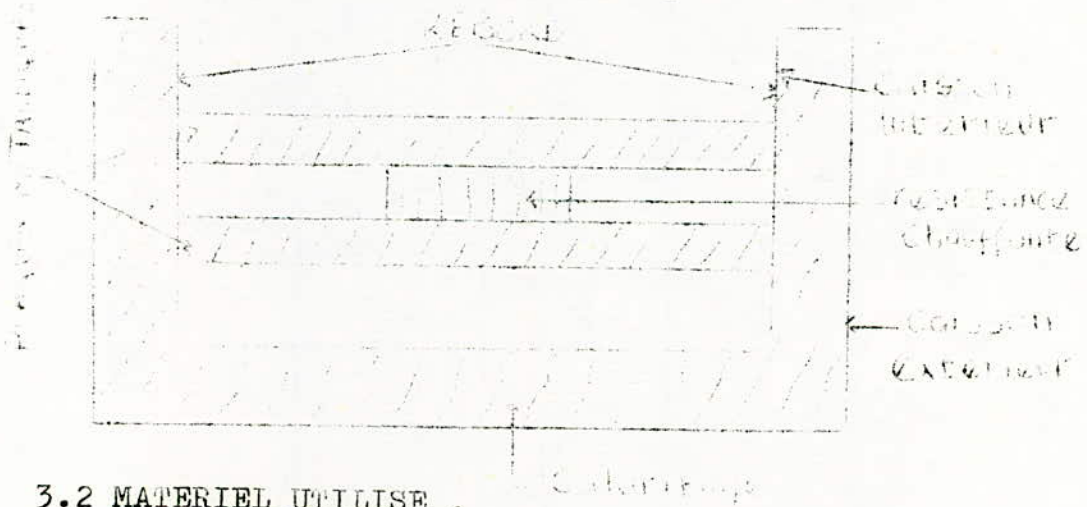
(CHAPITRE : - III -

(EXPERIENCE  
-----

3.1 CONCEPTION DU CAPTEUR REALISE .

Un premier caisson supporte deux plaques métalliques entre lesquelles est placée une résistance chauffante, l'ensemble étant calorifugé et protégé par un deuxième caisson . La face visible de la plaque métallique la plus extérieure est noircie en prévision d'un capteur similaire travaillant dans des conditions réelles .

Nous avons prévu un rebord extérieur pour diminuer la convection au niveau de la plaque .



3.2 MATERIEL UTILISE .

Les deux caissons intérieur et extérieur sont réalisés en tôle " noire " d'acier doux de 1 mm d'épaisseur. Les deux plaques métalliques sont en aluminium pour deux raisons :

- La bonne absorption d'aluminium noirci .
- Le grand coefficient de conduction permettant d'avoir des surfaces presque isothermes .

Pour avoir une bonne capacité calorifique du capteur, nous avons utilisé pour les deux plaques d'aluminium une épaisseur de 12mm .

- L'isolant des plaques d'aluminium vis-à-vis du caisson intérieur est en amiante, ceci en prévention des températures assez élevées que peut atteindre la plaque .

- Pour le calorifuge extérieur, nous avons choisi une épaisseur de 3 cm de laine de verre permettant une bonne isolation à basse température .

Pour le relevé des températures, nous avons eu besoin de :

- 11 thermocouples
- 1 boîte de sélection .

Pour la variation de la puissance fournie au capteur, nous avons utilisé un rhéostat .

L'appareillage de contrôle de puissance utilisé étant un voltmètre de calibre 250 volts et un ampèremètre .

Le calcul des résistances chauffantes ( deux ) intercalées entre les deux plaques d'aluminium, de la résistance du rhéostat et du calibre de l'ampèremètre sera entrepris ultérieurement .

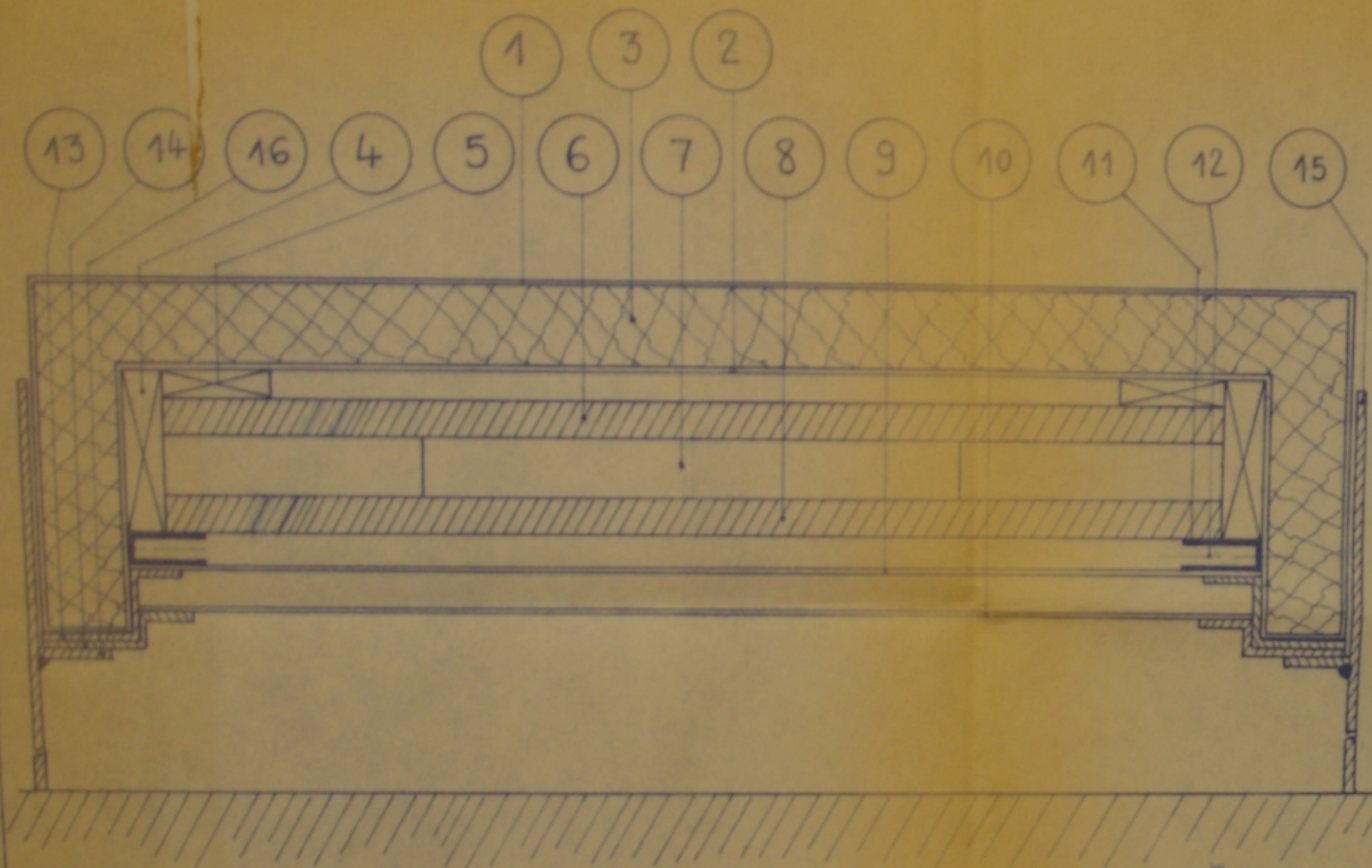
### 3.3 REALISATION .

- Caisson intérieur : de dimensions 1030 x 430 x 100 est réalisé à partir d'une tôle découpée de la façon suivante :



puis pliée et soudée comme l'indique le schéma ci-dessous:





16		Corniere	
15		Corniere	
14	6	Support de verre	
13	6	Support de verre	
12	10	Vis Parker $\phi 4$	
11	4	Profile en U	Adx
10	1	Verre 1025 x 425 x 3 ou 2	
9	1	Verre 1025 x 425 x 3 ou 2	
8	1	Plaque 1000 x 400 x 12,5	Aluminium
7	2	Plaque Chauffante	
6	1	Plaque 1000 x 400 x 12,5	Aluminium
5	2	Amiante 1030 x 40 x 10	
4	2	Amiante 1030 x 57 x 15	
3	1	Laine de Verre epaisseur 30	
2	1	Caisson interieur 1030 x 430 x 100	Adx
1	1	Caisson exterieur 1090 x 490 x 130	Adx
Rp	Nb	DESIGNATION	MATIERE

PM 00 276

Avant p. 22

Echelle 0,5

Capteur  
Solaire.

PL N° A

Ecole Nationale Polytechnique - ALGER.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



- Caisson extérieur : de dimensions 1090 x 490 x 130 est réalisé de la même façon que le caisson intérieur .

- Fixation des plaques d'aluminium :


La plaque d'aluminium intérieure calée par l'intermédiaire de baguettes en amiante au fond du caisson intérieur, supporte les deux résistances chauffantes qui y sont fixées par des ergots . La plaque d'aluminium extérieure repose par sa face non noircie sur les résistances chauffantes et par sa face noircie sur quatre bouts de tôle pliés en U et fixés au caisson intérieur par des vis Parker .

Pour le dimensionnement des éléments, se référer à la planche PL - A qui représente le dispositif expérimental . La planche PL - B schématise l'installation de ce dernier .

Nous avons prévu des trous en des endroits appropriés des caissons intérieur et extérieur pour le passage des fils conducteurs et des thermocouples . Les bords des plaques d'aluminium sont isolés du caisson intérieur par des baguettes d'amiante .

Le caisson extérieur repose sur la laine de verre placée autour du caisson intérieur .

La fixation des verres est assurée par des bouts de tôle pliée ( supports de verres ) .



L'ensemble repose sur un support en profilés soudés .

### 3.4 CALCULS PRELIMINAIRES .

#### 3.4.1 Résistances chauffantes :

Nous désirons obtenir une température de plaque pour la position " flux descendant sans effet-serre "

d'environ 160° C . A partir de cette température, le calcul théorique des pertes nous fournira la valeur de la puissance de la résistance chauffante à adopter .

### 3.4.2 Calcul des pertes :



$P_c$  = Pertes par convection de la plaque chauffée au milieu ambiant .

$P_r$  = Pertes par rayonnement entre la plaque chauffée et le milieu ambiant .

$P_{cal.}$  = Pertes par calorifuge extérieur ( laine de verre ) .

$P$  = Pertes totales .

$$P_{cal.} = S. \frac{\lambda L}{e_L} ( T_{pl} - T_{p2} )$$

Soit  $P_1$  : pertes par conduction entre la plaque et la paroi intérieure du caisson intérieur .

$$P_1 = \frac{(T_p - T_{pl}) \lambda_a}{e_a} \times S_{int.}$$

$T_p$  : température de la plaque

$T_{pl}$  : " " de la paroi intérieure du caisson intérieur

$T_{p2}$  : Température de la paroi extérieure du caisson extérieur

$e_a$  : épaisseur d'amiante

$e_L$  : épaisseur de laine de verre .

Egalons  $P_l$  et  $P_{cal.}$  afin de déterminer  $T_{pl}$  :

$$(T_p - T_{pl}) \frac{\lambda_a}{e_a} \times S = (T_{pl} - T_{p2}) \frac{\lambda_L}{e_L} \times S_{ext.}$$

Hypothèses :

$$T_p = 160^\circ \text{ C} ; T_{p2} = 20^\circ \text{ C} ; S = 0,7349 \text{ m}^2$$
$$S_{ext.} = 0,9449 \text{ m}^2 ; e_a = 0,012 \text{ m} ; e_L = 0,03 \text{ m}$$
$$\lambda_L = 0,03 \text{ kcal/m.h } ^\circ\text{C} ; \lambda_a = 0,13 \text{ kcal/m.h } ^\circ\text{C} .$$

$$(160 - T_{pl}) \frac{0,13 \times 4,18}{0,012 \times 3,6} \times 0,7349 =$$

$$(T_{pl} - 20) \frac{0,03 \times 4,18}{0,03 \times 3,6} \times 0,9449$$

$$(160 - T_{pl}) \times 9,244 = (T_{pl} - 20) \times 1,0971$$

d'où  $T_{pl} = 145^\circ \text{ C}$

- Calcul des pertes par calorifuge extérieur :

$$P_{cal.} = 0,9449 \times \frac{4,18 \times 0,03}{3,6 \times 0,03} (145 - 20) \text{ Watts}$$

$$P_{cal.} = 137 \text{ Watts}$$

- Calcul des pertes par convection de la plaque :

$h_c$  = coefficient de convection de la plaque qui est donné par :

$$h_c = (\Delta t)^{0,25} \times 1,1 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C} .$$

$$P_c = S' \times h_c \times \Delta t$$

$$\Delta t = T_p - T_{p2} ; S' = 0,4 \text{ m}^2 : \text{ surface de la plaque d'aluminium .}$$

$$P_c = 0,4 \times (160 - 20)^{1,25} \times 1,1 \times \frac{4,18}{3,6} \text{ Watts}$$

$$P_c = 246 \text{ Watts}$$

- Calcul des pertes par rayonnement :

$$P_r = S' \cdot \sigma \cdot ((T_p / 100)^4 - (T_{p2} / 100)^4)$$

$$P_r = 0,4 \times 5,67 \times ((433/100)^4 - (293/100)^4) \text{ (Watts)}$$

$$P_r = 630 \text{ Watts} .$$

$$P_{\text{totale}} = 137 + 246 + 630 = 1013 \text{ Watts/Surface du cap.}$$

$$P_t = 1013 \text{ W/0,4 m}^2$$

Etant donné que les pertes ont été majorées par la méthode de calcul exposée, deux résistances chauffantes de puissance maximale égale à 500 Watts chacune conviendraient largement .

### 3.4.2 Calcul du rhéostat et de l'ampèremètre :

- Ampèremètre :



La puissance maximale aux bornes d'une résistance chauffante est de 500 Watts .

$$R I_1^2 = 500 \text{ W} = U I_1 . \quad ( U = 220 \text{ Volts } )$$

Nous pouvons donc tirer  $I_1$  :

$$I_1 = \frac{500}{220} = 2,27 \text{ A} .$$

$$\text{Comme } I = 2 I_1 = 4,54 \text{ A} .$$

$$I = 4,54 \text{ A}$$

Nous prendrons donc pour cela un ampèremètre de calibre 5 ampères .

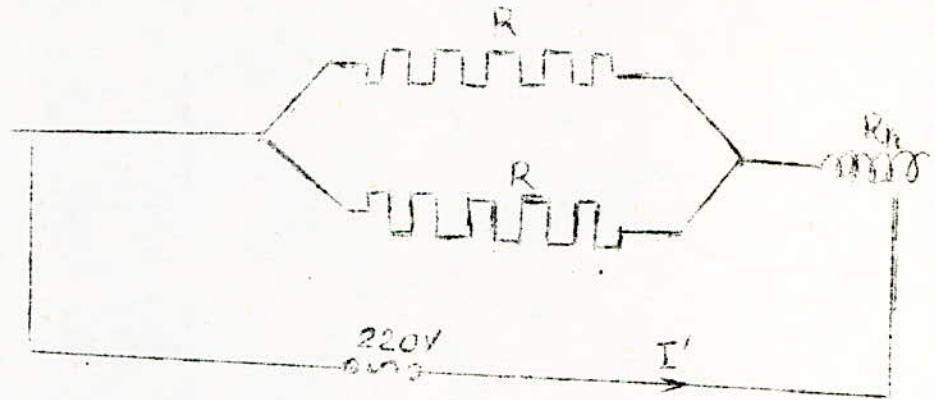
Nous pouvons tirer la valeur de la résistance chauffante :

$$R = \frac{500}{I_1^2} = 96,8 \Omega$$

$$R = 96,8 \Omega$$

- Rhéostat :

Pour notre expérience nous comptons prendre une puissance minimale de 50 W aux bornes des résistances chauffantes .



$R_{eq}$  = Résistance équivalente des deux résistances chauffantes montées en parallèle .

$$R_{eq} = \frac{R}{2} = \frac{96,8}{2} = 48,4 \Omega$$

$$U I' = (R_{eq} + R_h) \cdot I'^2$$

$R_h$  = Résistance du rhéostat .

$$R_{eq} I'^2 = 50 \text{ W}$$

$$I' = 1,016 \text{ A}$$

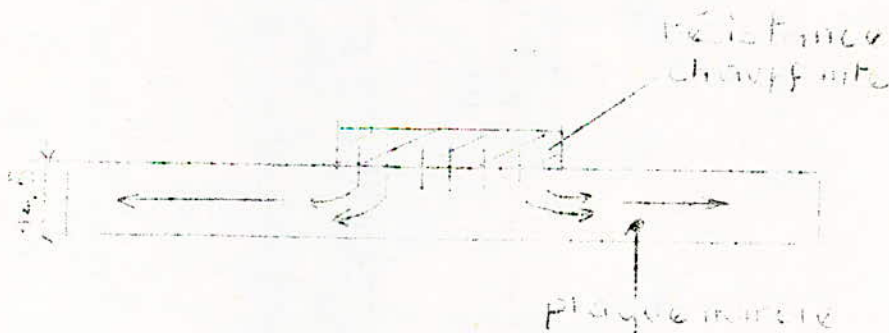
$$R_h = \frac{U - R_{eq} I'}{I'} = \frac{220 - 49,17}{1,016} \Omega = 168,13 \Omega$$

Nous prendrons un rheostat de résistance :

$$R_h = 170 \Omega$$

### 3.4.3 Calcul du gradient de température maximum :

Nous prendrons en considération le cas le plus défavorable et supposerons que la puissance de la résistance chauffante est transmise intégralement à la plaque noircie .



Périmètre de la plaque chauffante = 0,540 m

$$\gamma = \frac{P_{\max}}{S} = \frac{500}{12,5 \times 0,54 \times 10^{-3}} = 7,41 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2 .$$

$$\gamma = 7,41 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

Connaissant le coefficient de conductibilité thermique  $\lambda$  de l'aluminium et la densité de flux  $\gamma$ , nous pouvons en déduire facilement le grad T .

$$\gamma = -\lambda \text{ grad T}$$

$$\lambda (\text{ aluminium } ) = 175 \text{ Kcal/m.h } ^\circ\text{C}$$

$$\text{grad T} = - \frac{7,41 \cdot 10^4 \cdot 3600}{4,18 \cdot 175 \cdot 10^3} = 364,6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ m}$$

$$\text{grad T} = 3,65 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{ cm}$$

D'après ce résultat nous pouvons décider de l'emplacement des thermocouples d'une part et avoir une idée sur la variation de la température par centimètre sur la plaque noircie d'autre part .

### 3.5 DESCRIPTION DE L'EXPERIENCE .

Pour différentes puissances de la résistance chauffante, nous relevons les températures d'équilibre en divers points de la plaque d'aluminium noircie ( régime stationnaire ) . Cette opération sera répétée pour les différentes positions du capteur précédemment énoncées .

Sachant que, en régime stationnaire, la puissance absorbée est égale aux pertes totales au niveau du capteur. Le relevé de la puissance électrique fournie et de la température correspondante nous donne les courbes des pertes en fonction de la température . Ceci pour les différentes positions du capteur .

Les températures sont relevées à l'aide de thermocouples encastrés dans la plaque . ( Cf. Planche C ) .

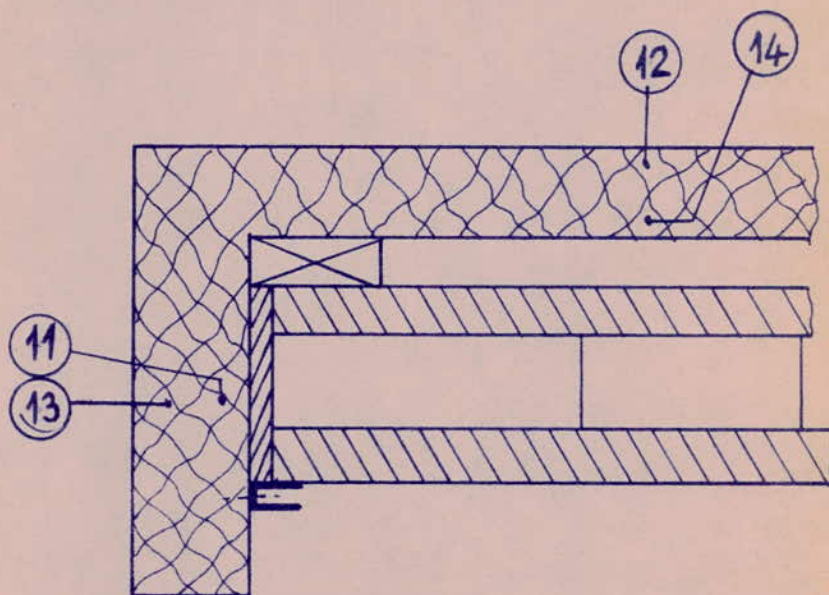
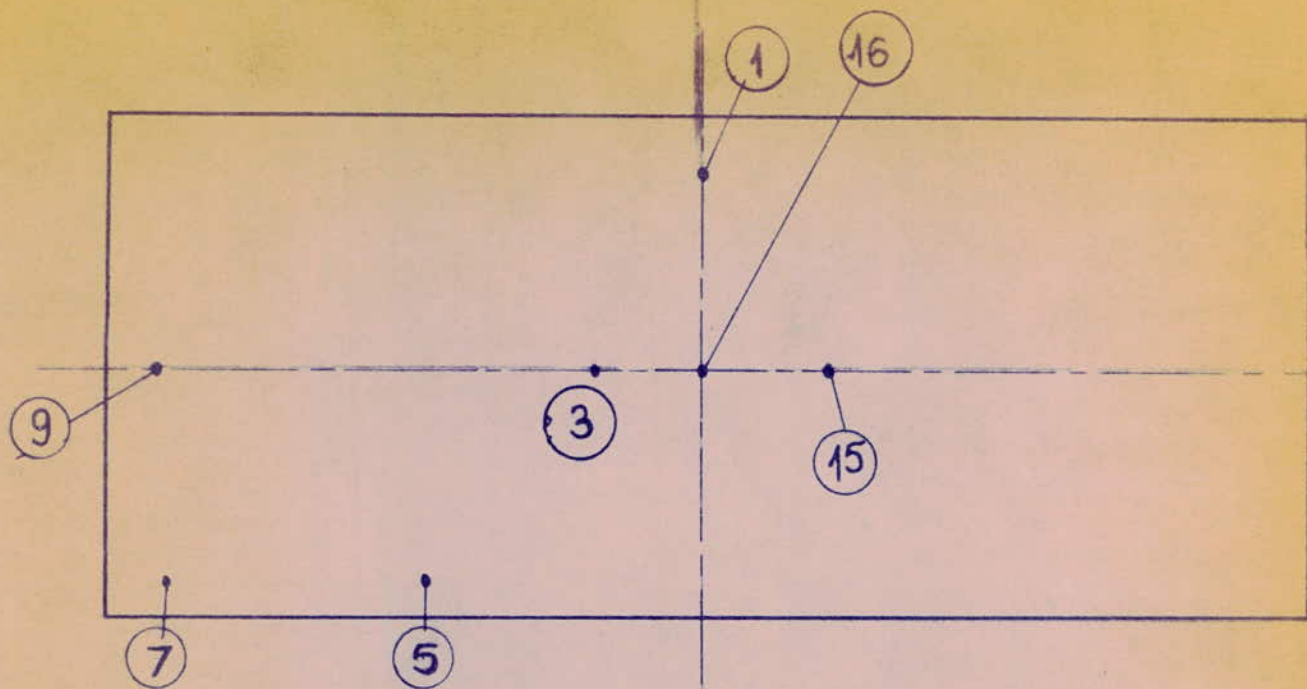


Schéma de l'emplacement des thermocouples sur la plaque et dans la laine de Verre.

Pour le tracé de la courbe des pertes nous avons adopté la température donnée par le thermocouple n° 16 qui représente approximativement la température moyenne de la plaque . Cette approximation est justifiée par le fait que, pour une puissance maximale de  $1000 \text{ W} / 0,4 \text{ m}^2$  le grad T maximum est de  $0,6 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}$  .

Dans le cas de la plaque noircie sans effet-serre nous avons pu monter en puissance jusqu'à environ  $2,3 \text{ KW/m}^2$  . Alors que pour le double effet-serre la qualité des verres utilisés nous a limités à environ  $1 \text{ KW/m}^2$  .

Au début de l'expérience, dans la position du flux ascendant, nous sommes montés en température avec le double effet-serre et puis cela nous valut la détérioration des deux verres ( le premier verre détérioré fut celui qui était le plus près de la plaque noircie ) .

Après cela nous déterminâmes la température maximum que nous pouvions atteindre sans casser les verres . Cela nous valut une seconde détérioration des verres pour une puissance de  $1,5 \text{ KW/m}^2$  . C'est pour cette raison que nous avons décidé de nous limiter dans le cas du double effet-serre à  $1 \text{ KW/m}^2$  .

### 3.6 CONDITIONS D'EXPERIENCE .

Le capteur utilisé est placé dans un laboratoire isolé des perturbations extérieures ( déplacement d'air ) . Les pertes par convection sont donc purement naturelles ( effet de densité ) . Dans la position " flux ascendant " la plaque est en regard du parquet tandis que dans la position " flux descendant " la plaque est en regard du plafond .

Pour ces deux positions, nous sommes donc dans le cas le plus défavorable car le parquet et le plafond sont absorbants en infra-rouge .



### 3.7. CALCUL D'ERREURS .

Les erreurs peuvent être classées comme suit :

- Erreur de lecture : due à l'opérateur ( parallaxe ) .
- Erreur de mesure : due à la précision des appareils ( celle-ci est toujours indiquée par le constructeur ) .
- Erreurs systématiques : dues aux fluctuations du réseau électrique et de l'atmosphère .

Pour notre expérience nous avons eu besoin du volt-mètre, de l'ampèremètre et du potentiomètre .

Le voltmètre et l'ampèremètre nous ont servi à la mesure de la puissance .

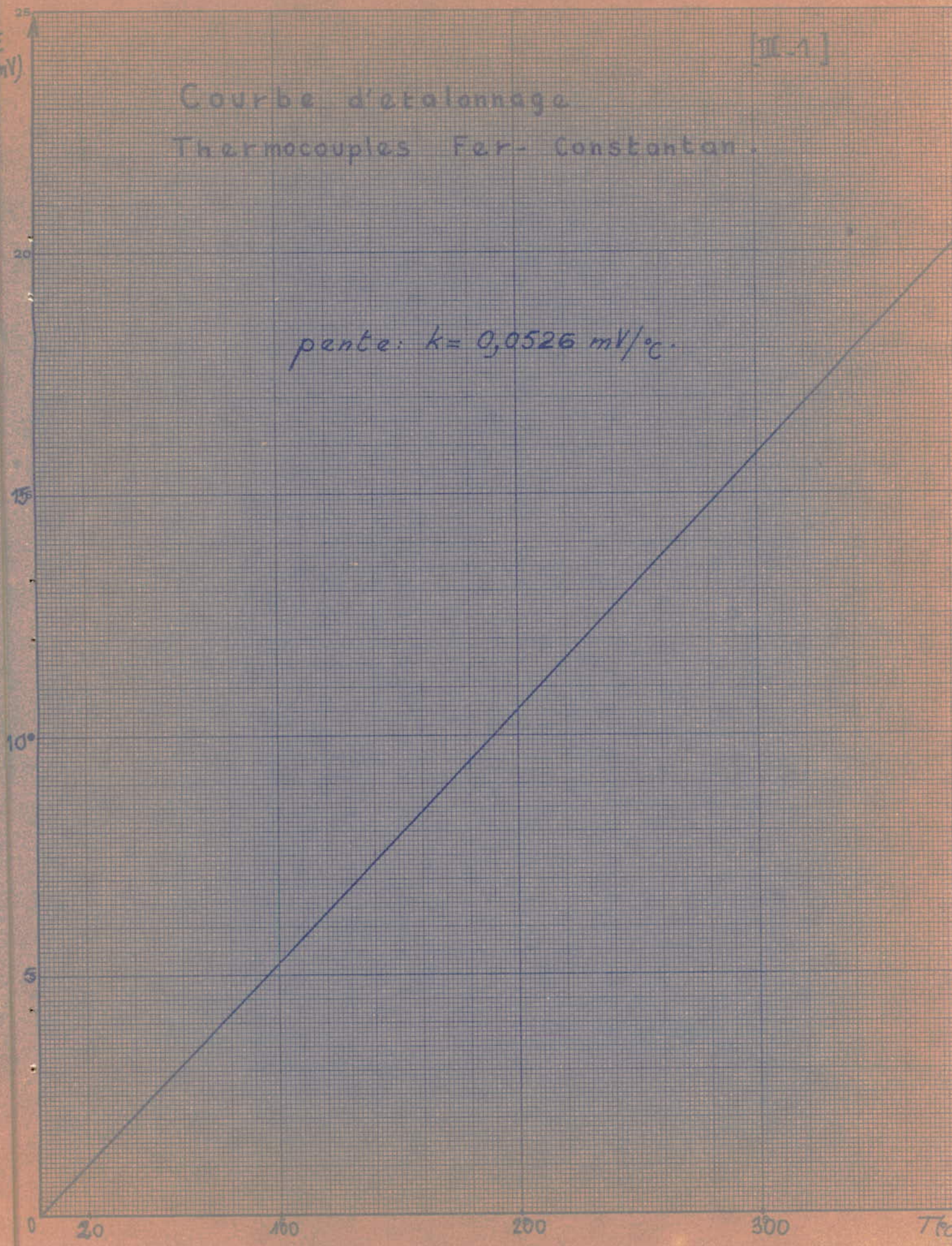
Le potentiomètre nous a permis de mesurer la température .

Les deux premières erreurs sont en fait négligeables relativement à la troisième que nous ne pouvons pas déterminer .

Le détermination de cette dernière étant très délicate nous avons, en conséquence, préféré ne pas faire de calcul d'erreurs .

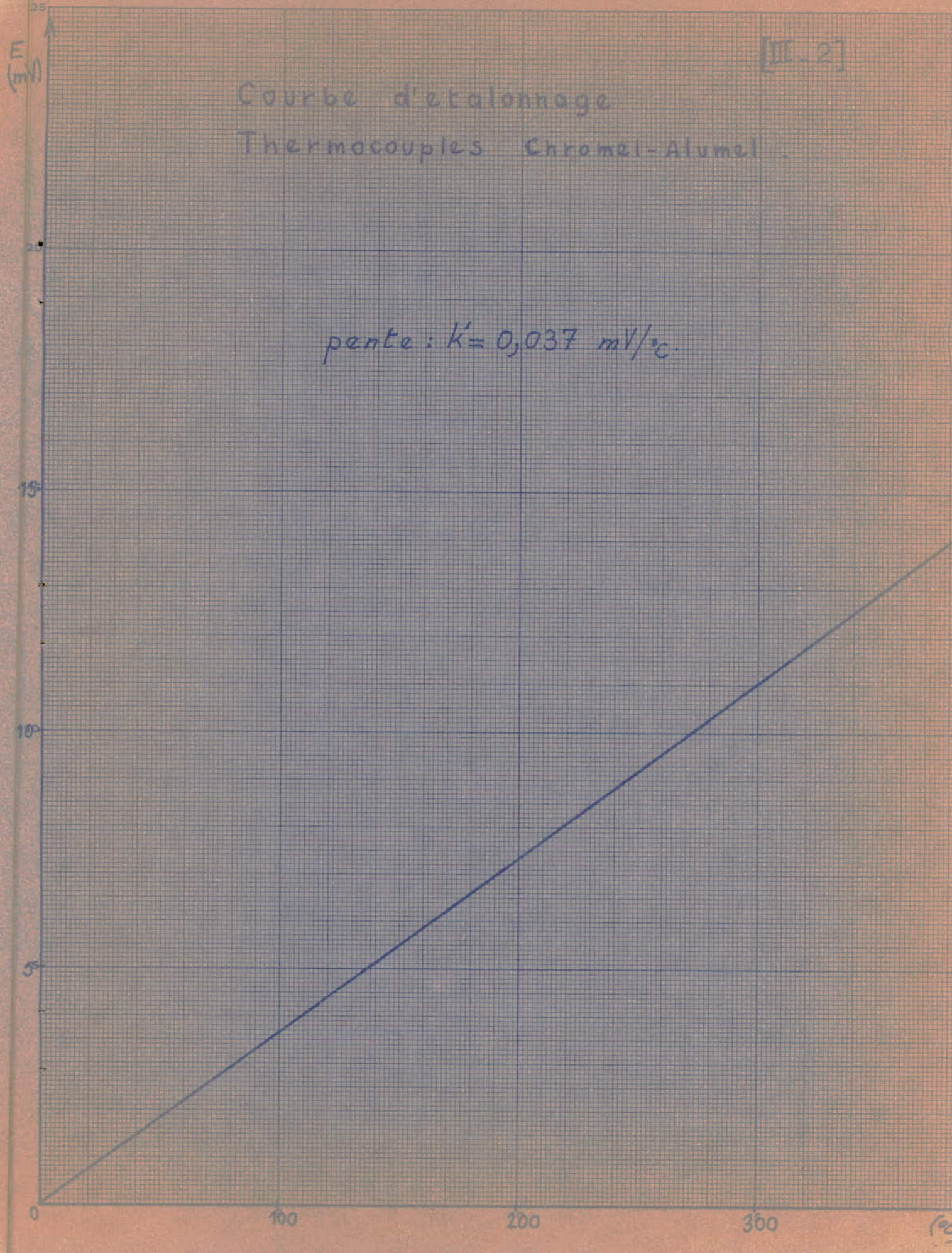
Courbe d'étalonnage  
Thermocouples Fer-Constantan.

pende:  $k = 0,0526 \text{ mV}/^\circ\text{C}$



Courbe d'etalonnage  
Thermocouples Chromel-Alumel

pente :  $k = 0,037 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$



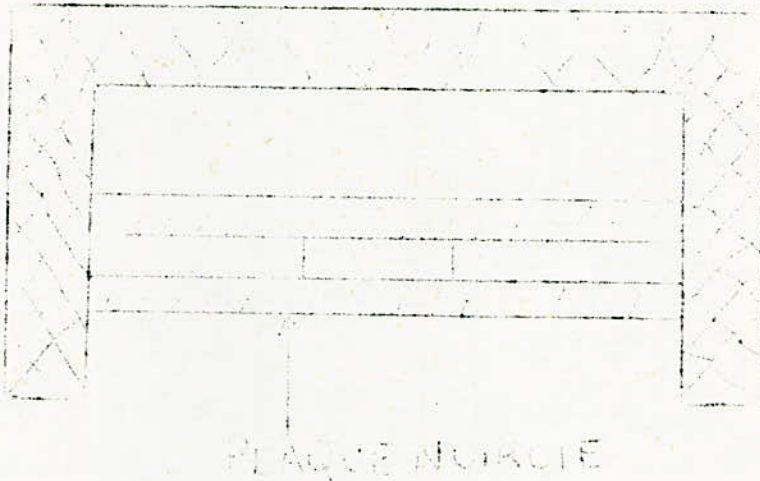
( C H A P I T R E : - I V -

R E S U L T A T S D E S E S S A I S

---

4.1 FLUX ASCENDANT .

4.1.1 Sans effet-serre :



Pour cette position nous avons fait varier la puissance électrique  $\mathcal{P}$  fournie sur une large gamme allant de  $70 \text{ W}/0,4 \text{ m}^2$  à  $930 \text{ W}/0,4 \text{ m}^2$  .

Nous avons relevé la puissance fournie  $\mathcal{P}$  et la température d'équilibre correspondante  $T$  . Ces mesures sont consignées dans le tableau IV.1(a) qui nous a permis de tracer la courbe  $\mathcal{P} = f(T)$  n° IV.1(b) .

FLUX ASCENDANT - SANS EFFET-SERRE

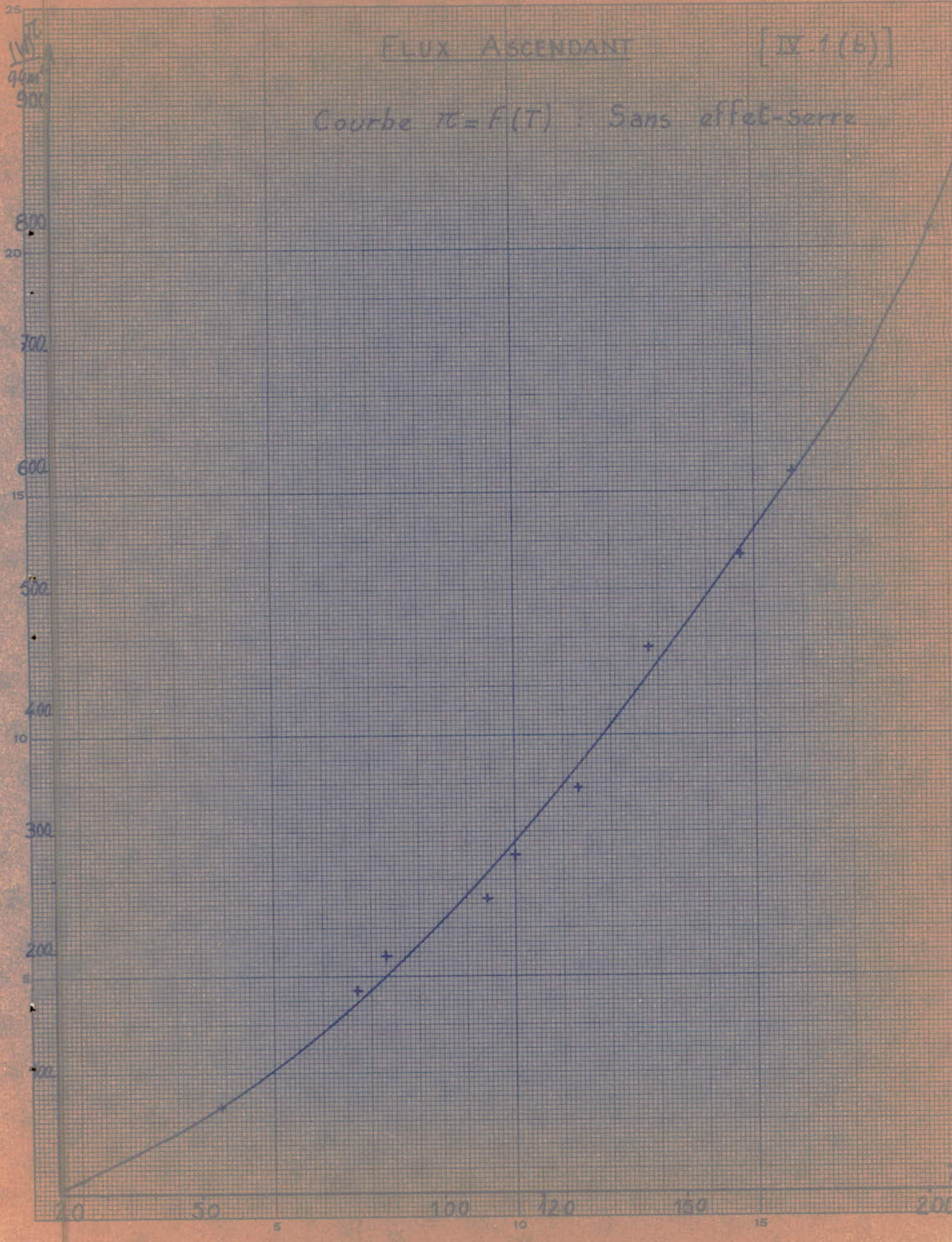
$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $T_n$ (W/0.4 m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
72	53	55	55	50	56	32	29	55	54	32	27
169	81	84	86	77	87	39	34	84	82	40	27
198	87	91	93	82	94	41	35	91	88	41	27
245	107	111	113	101	116			113	109		
281	114	119	121	108	124			120	115		
338	126	131	132	119	136	54	47	133	128	57	38
452	141	149	147	130	151	64	52	151	143	62	38
529	159	169	167	149	172	65	53	169	162	69	36
596	170	181	177	161	183	72	58	183	173	74	41
796	199	213	205	185	211	86	65	215	202	88	48
926	212	228	219	199	225	91	72	229	215	94	49

Tab. IV.1(a)

# FLUX ASCENDANT

[IX.1(b)]

Courbe  $\pi = f(T)$  : Sans effet-serre



4.1.2 Simple effet-serre :

Nous avons utilisé un verre d'épaisseur  $e=2\text{mm}$



Par crainte de détérioration du verre nous<sup>u'</sup> avons pas utilisé toute la capacité de chauffe des résistances électriques .

Nous avons fait varier la puissance fournie  $\pi$  de 70 W à 740 W environ .

Les mesures sont consignées dans le tableau IV.2(a) qui nous fournit la courbe  $\pi = f(T)$  n° IV.2(b) .

FLUX ASCENDANT - SIMPLE EFFET-SERRE  
1 Verre ( $e = 2 \text{ mm}$ )

$\pi$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $T_n$ (w/0,412)	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
72	60	62	64	57	64	33	30	61	60	33	27
160	96	99	101	89	101	42	36	99	96	43	30
224	114	119	121	106	94	48	40	117	115	49	32
250	124	129	130	115	132	51	42	128	125	52	32
315	137	144	153	125	147	54	44	143	139	56	34
395	162	169	179	150	172	65	52	169	164	67	39
490	181	190	187	164	192	70	56	190	183	73	41
735	235	248	242	218	247	94	71	249	238	101	47

Tab. IV. 2 (a)

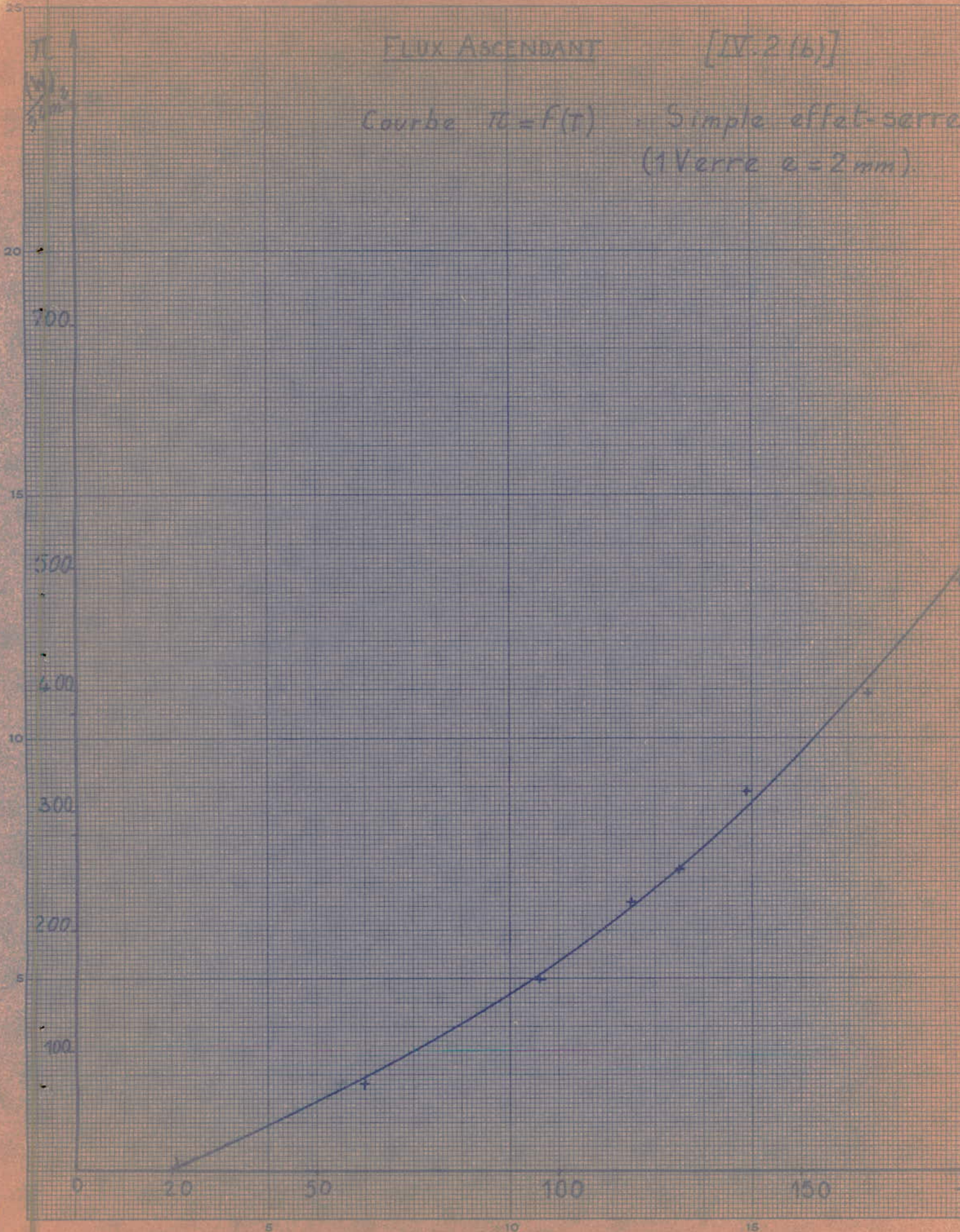


FLUX ASCENDANT

[IV.2 (b)]

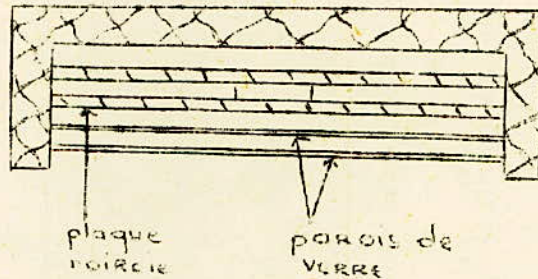
Courbe  $\tau_0 = f(T)$

Simple effet-serre  
(1 Verre  $e = 2\text{ mm}$ ).



#### 4.1.3 Double effet-serre :

Utilisant toujours les verres d'épaisseur  $e=2\text{mm}$ .



Une puissance électrique supérieure à 300 W nous causa la détérioration du verre le plus proche de la plaque. Nous fûmes donc limité à une gamme de puissances comprise entre 70 W et 300 W .

Le tableau IV.3(a) donne les valeurs des couples  $(T_1, T_2)$  mesurées qui nous ont permis de tracer la courbe  $T_1 = f(T_2)$  n° IV.3(b) .

FLUX ASCENDANT - DOUBLE EFFET-SERRE  
2 Verres ( $e = 2\text{ mm}$ )

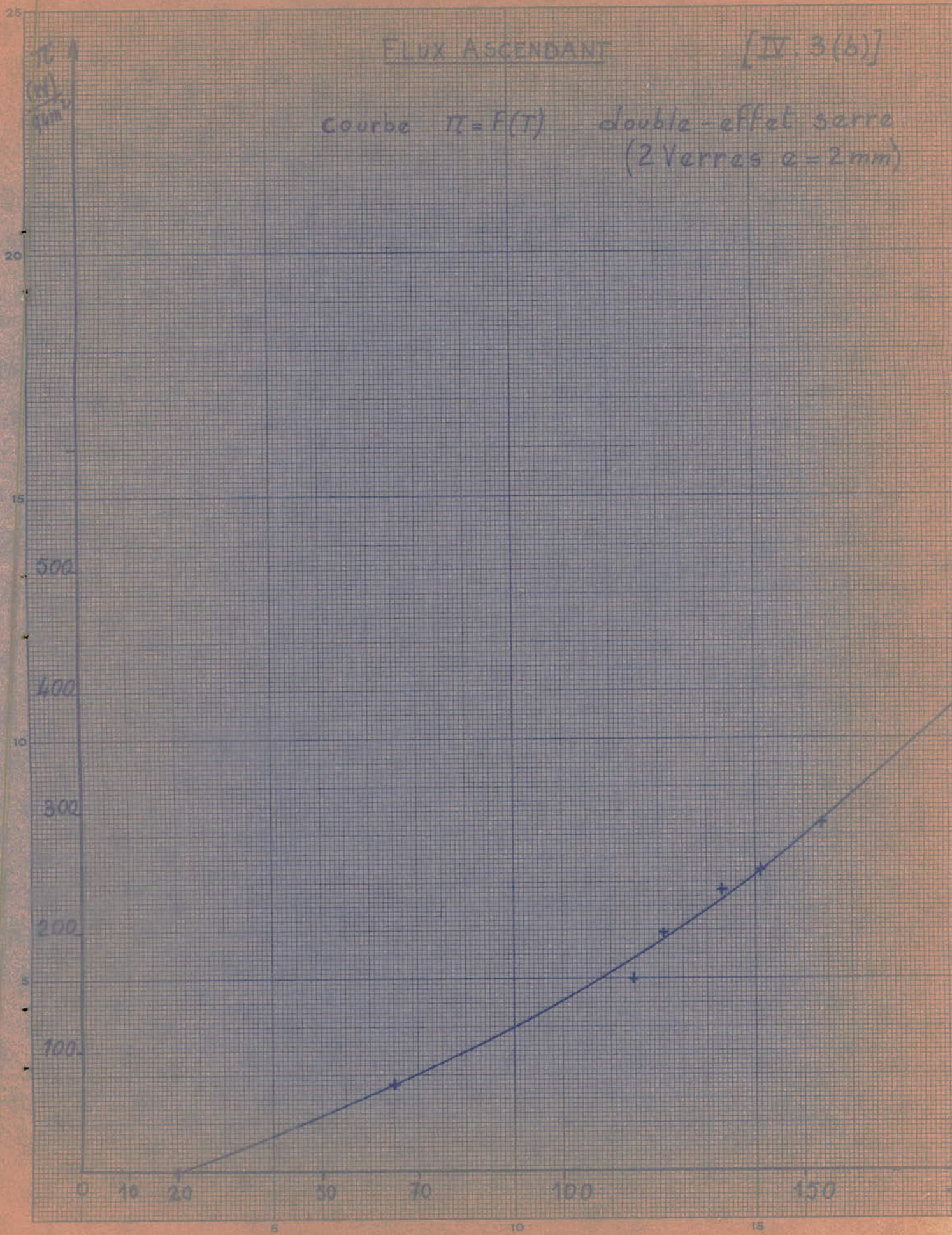
$T_n$ $\pi$ (w/96ms) $(^\circ\text{C})$	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
72	64	66	67	60	68	33	29	66	65	33	26
160	113	117	120	105	120	49	40	117	115	50	32
198	120	125	126	108	128	49	40	124	121	50	32
234	132	137	139	121	140	53	42	136	133	54	32
250	139	145	146	129	148	55	44	144	141	56	33
290	153	159	160	140	162	61	47	158	154	61	35

Tab. IV. 3(a)

FLUX ASCENDANT

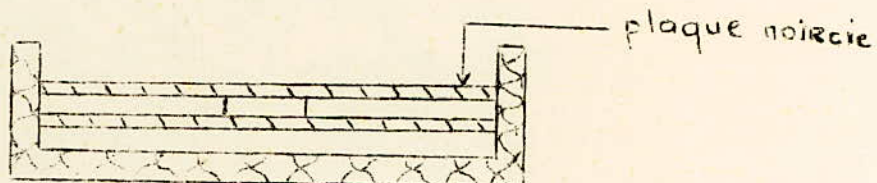
[IV. 3(b)]

Courbe  $\pi = F(T)$  double-effet verre  
(2 Verres  $e = 2\text{mm}$ )



4.2 FLUX DESCENDANT .

4.2.1 Sans effet-serre :



Pour cette position nous avons pris des valeurs allant de 70W à 900W .Le tableau de mesures IV.4(a) nous donne les valeurs des couples ( , T ) et la courbe =f(T) n°IV.4(b) leur tracé .

FLUX DESCENDANT - SANS EFFET-SECRE.

$\pi$ (W/0,4m <sup>2</sup> ) $T_n$ (°C)	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
72	41	43	43	39	44	27	26	43	42	27	26
162	53	58	59	47	59	30	28	58	56	30	28
250	69	75	76	64	76	34	30	75	72	34	32
360	84	92	94	77	93	38	31	92	87	37	34
515	104	117	118	94	116	41	33	116	109	43	35
723	126	141	143	118	139	47	36	141	131	50	39
903	144	161	161	138	158	53	39	161	149	56	42

Tab. IV. 4 (a)

25  
10  
5  
0  
500  
1000

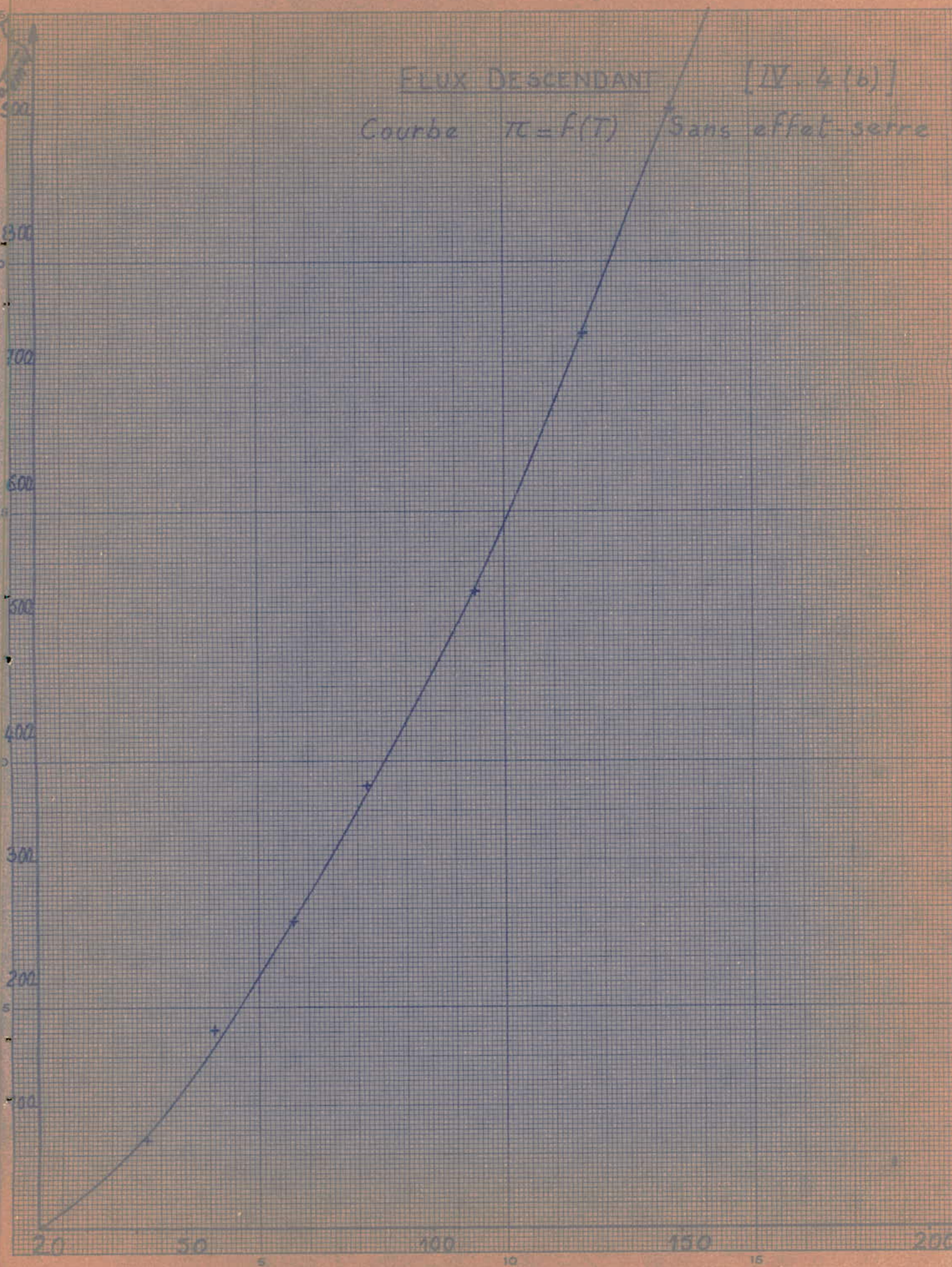
FLUX DESCENDANT

[IV. 4 (b)]

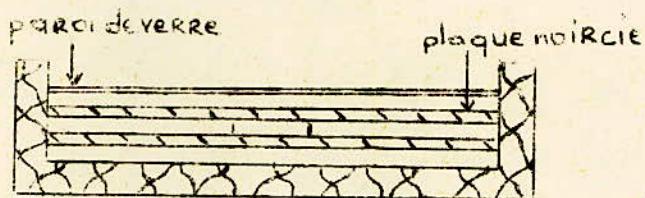
Courbe  $\pi = f(T)$

Sans effet-serre

20  
15  
10  
5  
0  
5  
10  
15  
20  
25



4.2.2 Avec simple effet-serre :



Pour éviter la détérioration du verre, nous avons fait varier la puissance électrique de 60 à 700 W environ.

Les valeurs des couples ( , T) sont consignées dans le tableau IV.5(a) . La représentation graphique de ces couples est donné par la courbe  $\tau = f(T)$  n° IV.5(b).



FLUX DESCENDANT - SIMPLE EFFET-SERRE  
1 Verre ( $e = 2 \text{ mm}$ )

$T_n$ (°C) $\tau_c$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
60	48	50	51	44	51	28	26	50	49	28	26
157	75	81	84	66	83	33	27	81	79	32	28
250	100	108	111	86	110	40	32	107	104	40	33
360	125	136	140	111	139	45	34	135	132	46	37
388	131	142	146	116	145	48	36	142	137	50	39
490	153	166	168	137	167	55	41	166	159	57	44
693	190	205	203	165	198	59	50	206	196	61	53

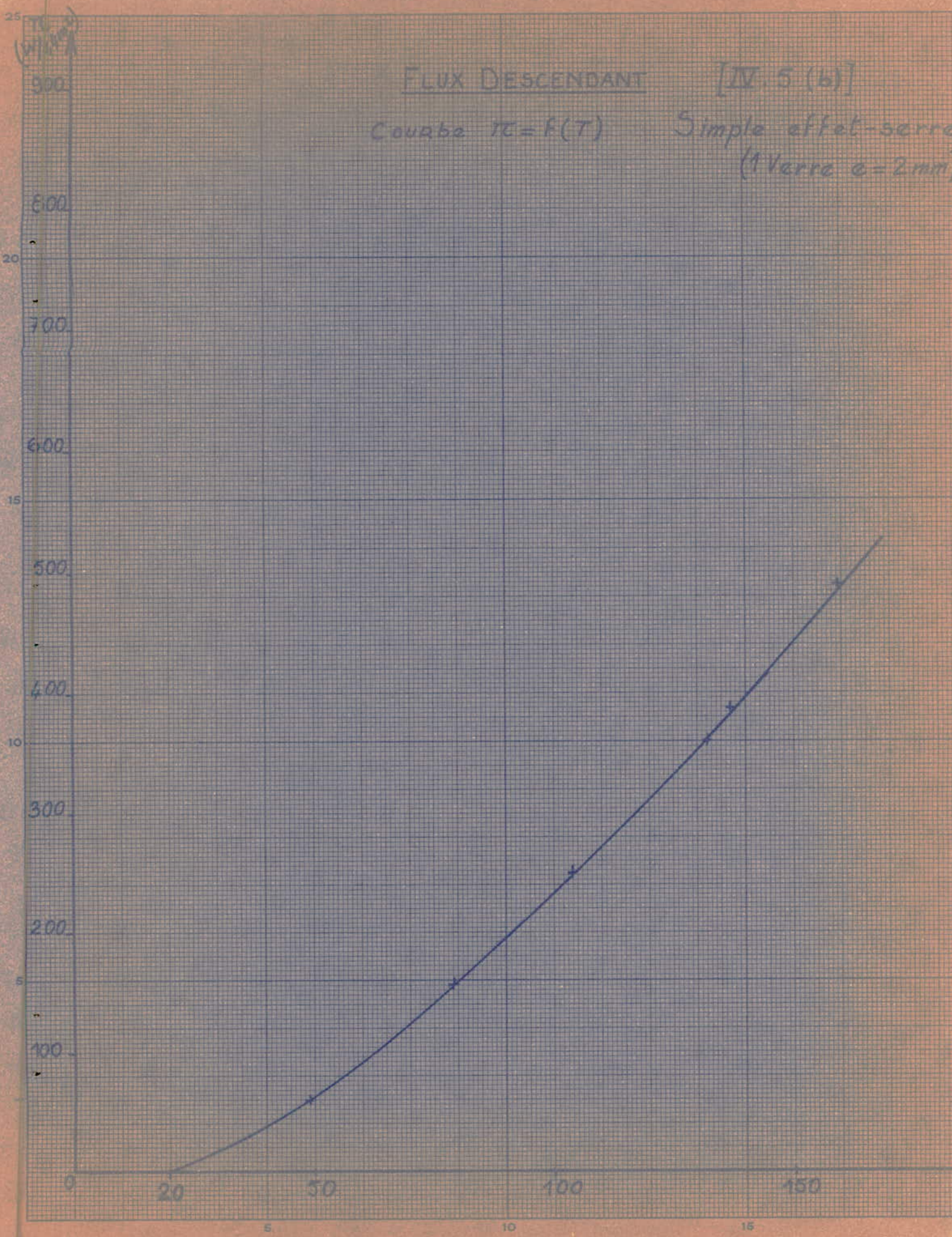
Tab. IV. 5 (a)

FLUX DESCENDANT

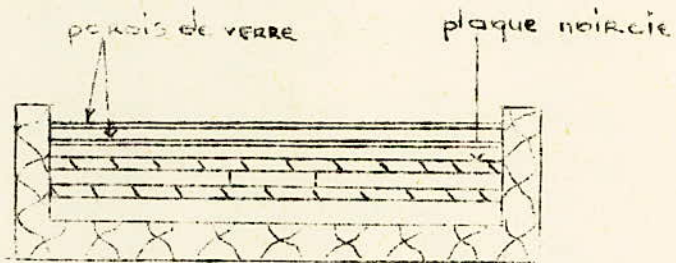
[IV.5 (b)]

Courbe  $\pi = f(T)$

Simple effet-serre  
(1 Verre e = 2mm)



4.2.3 Avec double effet-serre :



Une variation de la puissance électrique de 60 W à 250 W nous a permis d'établir le tableau de mesures IV.6(a) des couples ( , T ) et de représenter graphiquement =f(T) par la courbe n° IV.6(b) .

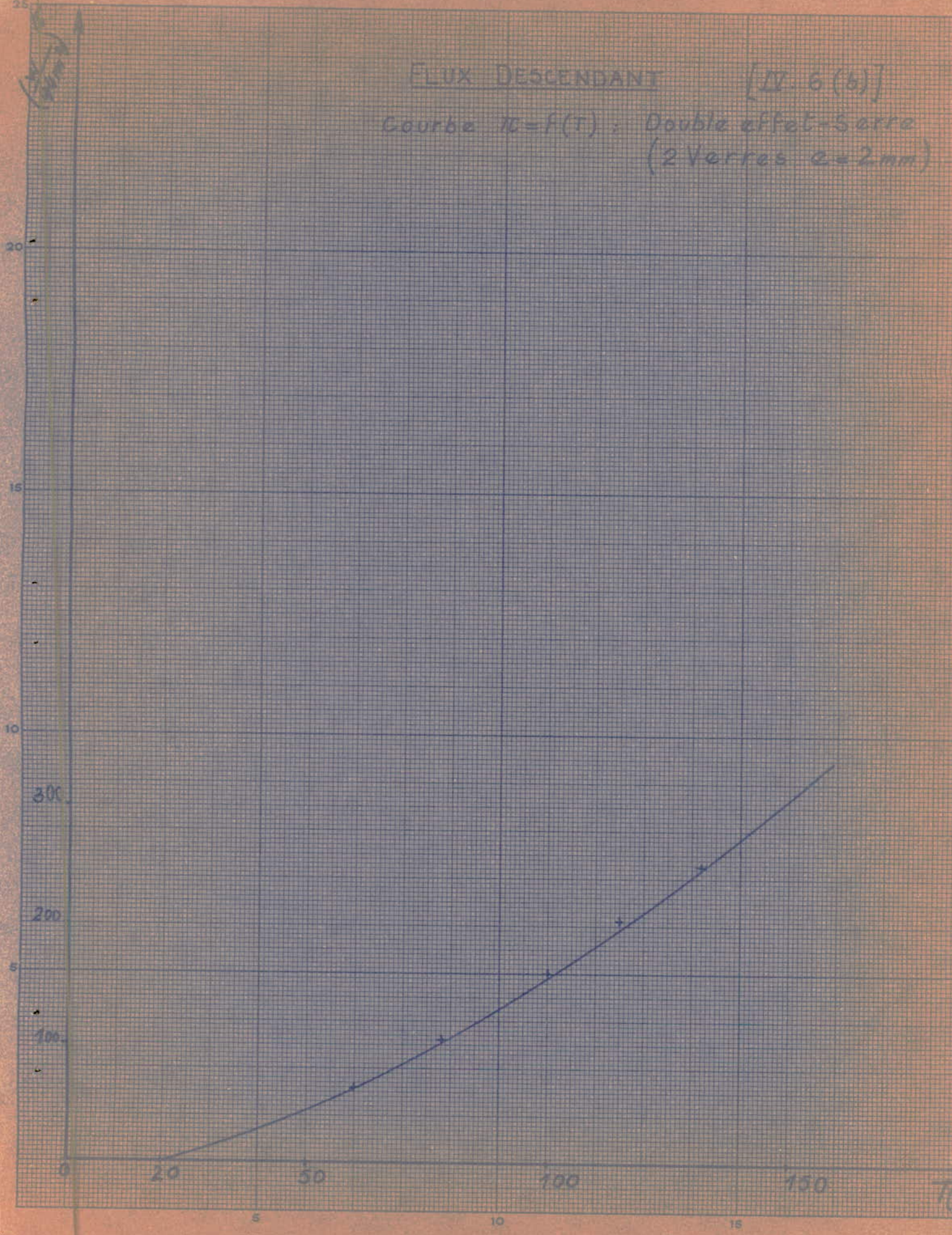
FLUX DESCENDANT - DOUBLE EFFET-SERRE  
2 Verres ( $e=2\text{mm}$ )

$T_n$ (°C) $\pi$ (W/0,4m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
64	59	61	64	52	63	33	29	61	60	32	30
104	75	80	83	67	82	36	30	79	78	35	31
160	96	102	106	83	105	40	34	102	100	39	33
203	109	117	122	94	121	44	34	117	115	43	36
250	126	135	142	109	137	49	38	135	132	48	41

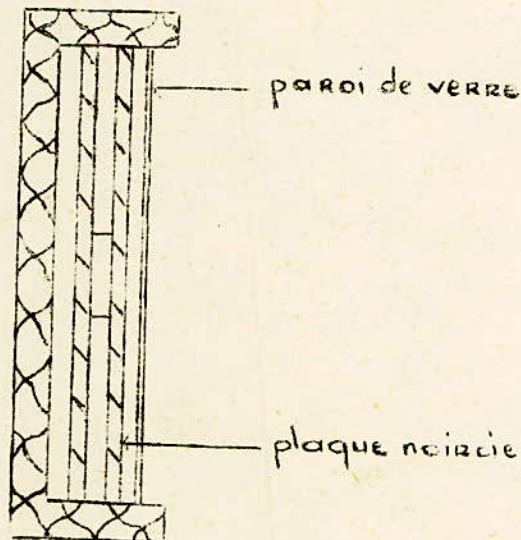
Tab. IV.6(9)

FLUX DESCENDANT [IV. 6 (b)]

Courbe  $\tau_0 = f(T)$  : Double effet-Sarra  
(2 Verres  $e = 2\text{mm}$ )



#### 4.3 POSITION VERTICALE .



Par analogie avec un mur d'habitation recueillant directement le flux solaire sans concentration préalable, nous avons utilisé une puissance maximale de 420 W qui, rapportée à une surface de captage de  $1 \text{ m}^2$ , ferait environ une puissance de  $1 \text{ kW/m}^2$  (rayonnement solaire maximum au niveau du sol).

Le tableau IV.7(a) nous fournit les valeurs des couples ( , T ) qui nous ont permis de tracer la courbe  $=f(T)$  n° IV.7(b) .

POSITION VERTICALE - Simple effet-serre  
1 Verre ( $e = 3 \text{ mm}$ )

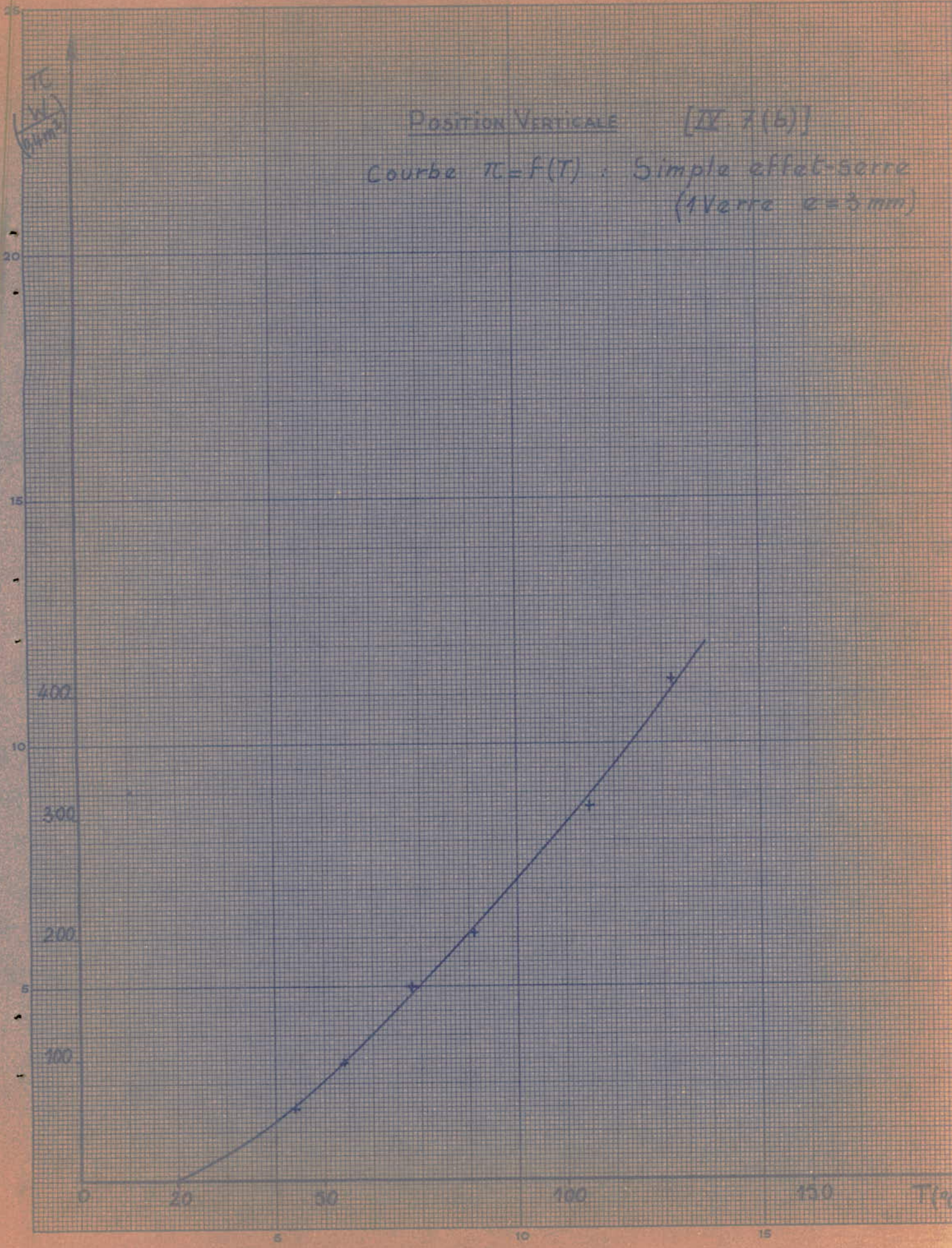
$T_n$ (°C) $\pi (W/m^2)$	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
60	43	45	43	40	40	27	26	44	44	25	25
98	53	57	58	47	46	30	27	55	54	28	25
160	66	72	73	61	60	33	29	69	68	31	26
203	78	85	88	72	69	38	32	81	81	33	28
308	100	109	114	93	87	45	37	103	105	42	32
416	122	131	134	112	98	46	40	124	122	46	32

Tab. IV. 7 (a)

POSITION VERTICALE [IX. 7(b)]

Courbe  $\pi = f(T)$  : Simple effet-serre  
(1 Verre  $e = 3 \text{ mm}$ )

$\frac{\pi}{(W/\text{min}^2)}$





### EXPERIENCES ANNEXES

L'utilisation du capteur en position " flux ascendant " n'est possible qu'avec un concentrateur ; c'est dans le souci d'une plus grande approche de la réalité que nous avons tenu à faire deux expériences supplémentaires :

- L'une utilisant le capteur dans la position " flux ascendant " avec la plaque noircie en regard d'une feuille d'acier ( cf. tab. IV.8(a) et courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.8(b)).

- L'autre en remplaçant la feuille d'acier par une feuille d'aluminium polie ( cf. tab. IV.9(a) et courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.9(b) ) .

- Dans le cas des positions " flux ascendant " et " flux descendant " avec simple et double effet-serre nous avons effectué les mêmes mesures que précédemment avec des verres d'épaisseur  $e = 3$  mm .

a) Flux ascendant :

- Simple effet-serre (  $e = 3$  mm ) .

Mesures : cf. tab. IV.10(a)

Courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.10(b) .

- Double effet-serre (  $e = 3$  mm )

Mesures : cf. tab. IV.11(a)

Courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.11(b) .

b) Flux descendant :

- Simple effet-serre (  $e = 3$  mm ) .

Mesures : cf. tab. IV.12(a)

Courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.12(b) .

- Double effet-serre (  $e = 3$  mm )

Mesures : cf. tab. IV.13(a)

Courbe  $\mathcal{N} = f(T)$  n° IV.13(b) .

FLUX ASCENDANT - Simple effet-serre (1 Verre  $e=2$ )  
 Paroi de Verre en regard d'une plaque d'Acier

$T_n$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $\tau_c$ ( $\text{W}/0,4\text{m}^2$ )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
63	50	56	56	56	53	27	26	56	55	26	24
101	67	72	70	73	70	30	28	72	71	29	27
154	88	93	90	93	88	33	29	93	91	32	29
223	121	127	126	126	124	42	37	127	125	39	34
255	135	142	140	140	136	47	40	142	139	43	37

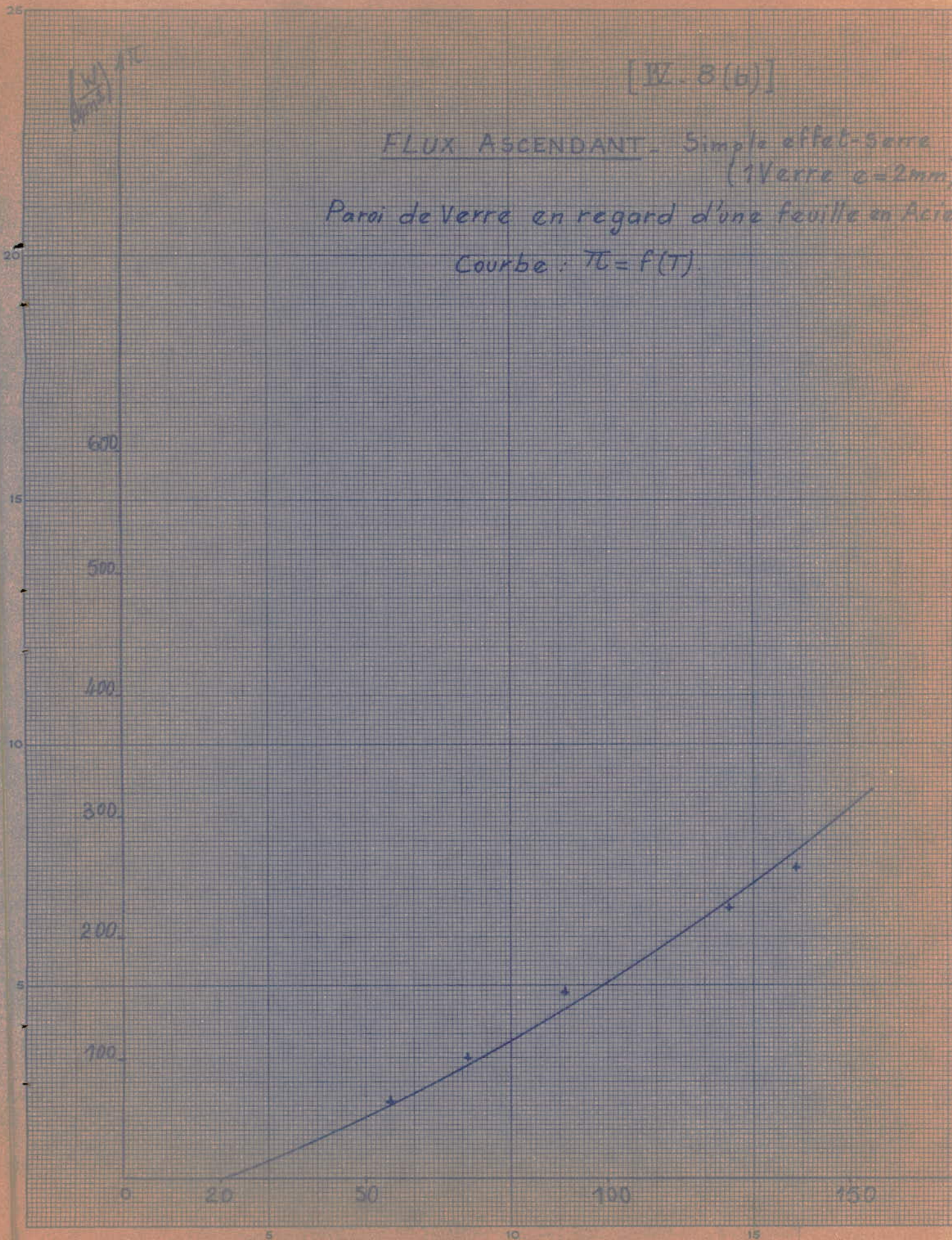
Tab. IV-8 (a)

[W. 8(b)]

FLUX ASCENDANT - Simple effet-serre  
(1 Verre  $e=2\text{mm}$ )

Paroi de verre en regard d'une feuille en Ac

Courbe :  $\tau_c = f(T)$



FLUX ASCENDANT - Simple effet-serre (1 Verre  $\alpha=2\text{mm}$ )  
 Paroi de Verre en regard d'une feuille d'Aluminium.

$T_L$ (°C) $T_n$ (W/0,4m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
60	57	59	58	58	59	30	25	58	58	30	24
107	82	85	83	85	85	38	30	85	84	38	27
207	122	129	127	128	128	50	37	129	127	51	32
308	153	163	161	161	161	60	40	163	160	62	35
436	197	208	199	201	202	75	48	208	203	78	39
538	222	234	222	223	228	82	52	235	228	89	43
664	241	255	241	241	242	92	57	256	248	98	46
819	269	287	271	270	277	105	65	288	279	113	51

Tab. IV. 9(a)

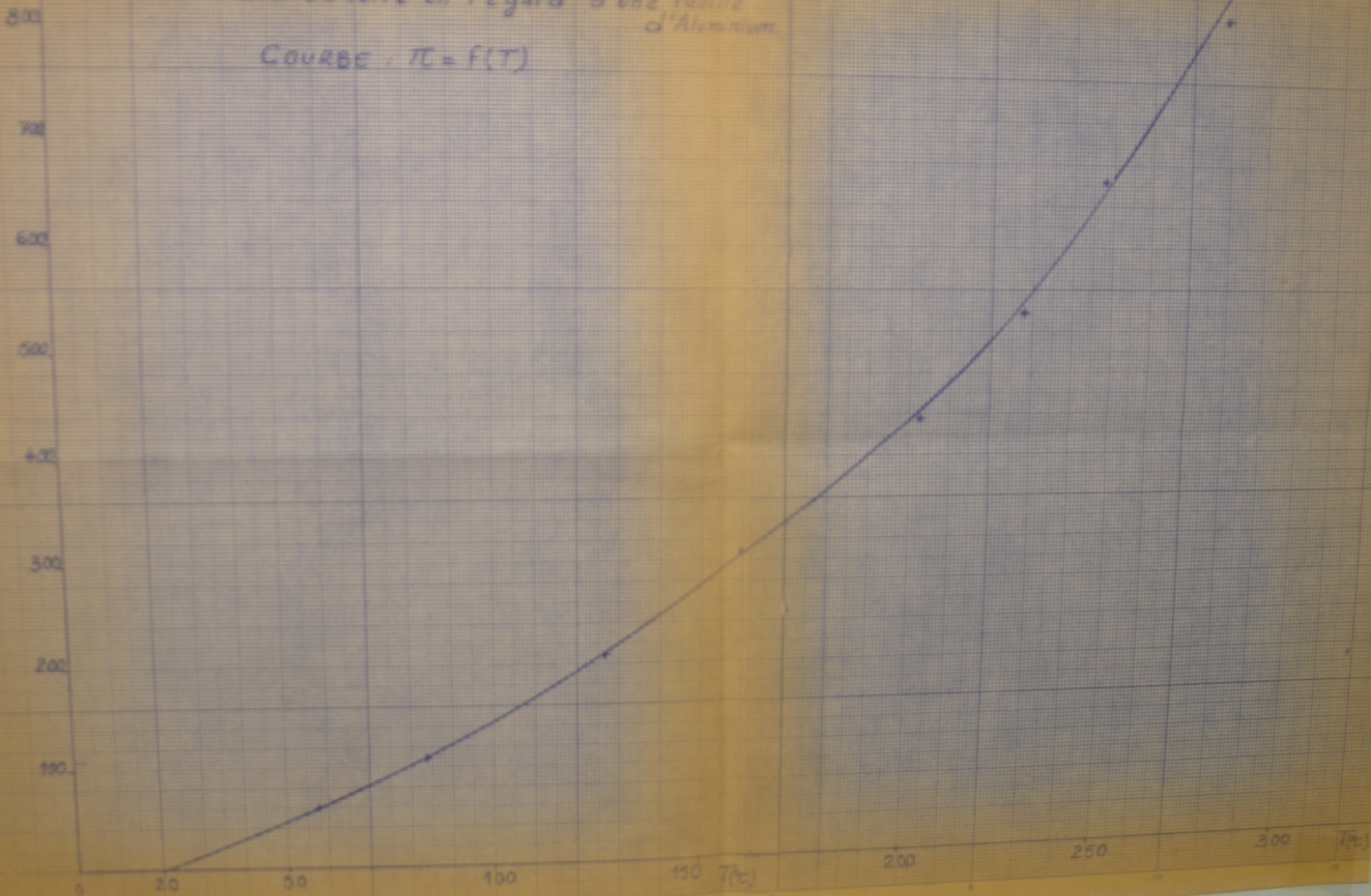
[II. 9(b)]

1100-296  
ADANT Tab II. 10(a)

FLUX ASCENDANT - Simple effet-serre  
(1 Verre  $a=2\text{mm}$ )

Paroi de verre en regard d'une feuille  
d'Aluminium.

COURBE :  $\pi = f(T)$



FLUX ASCENDANT - SIMPLE EFFET-SERRE  
1 Verre ( $e = 3\text{ mm}$ )

$T_n$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) $\pi$ ( $\text{W}/0,4\text{m}^2$ )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
72	60	61	62	56	63	33	30	61	60	30	27
163	98	101	102	91	103	46	40	100	98	46	32
198	109	114	115	101	116	49	42	114	111	50	34
234	121	126	128	115	129	52	44	125	123	53	34
290	136	142	143	126	132	57	48	141	138	58	36
416	166	174	156	156	176	67	56	174	168	69	41
926	261	276	267	241	272	107	99	278	265	113	90

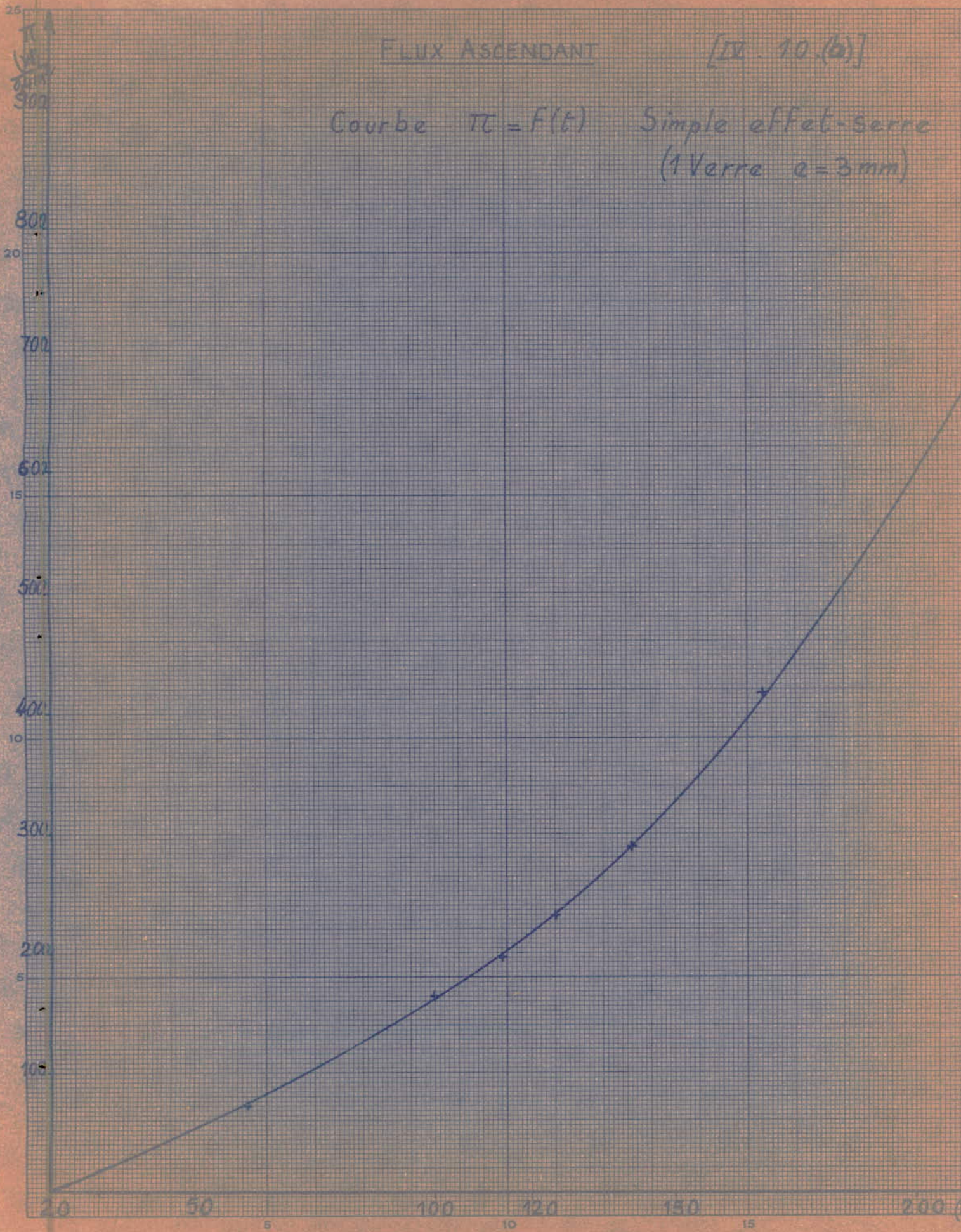
Tab. IV. 10 (a)

FLUX ASCENDANT

[IX. 10 (b)]

Courbe  $\pi = f(t)$

Simple effet-serre  
(1 Verre  $e=3\text{mm}$ )



FLUX ASCENDANT - DOUBLE EFFET-SERRE  
 2 VERRES ( $e = 3 \text{ mm}$ )

$T_n$ (°C) $\pi$ (W/0,4 m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
77	66	68	69	62	70	34	30	67	66	34	27
165	108	111	123	99	114	48	40	111	109	49	42
198	121	125	127	110	129	52	43	125	123	76	34
228	131	136	138	123	140	83	62	136	133	83	37
240	139	144	156	131	147	59	48	143	140	60	37
286	155	161	162	144	164	64	51	160	157	65	39
388	185	193	191	174	195	76	59	192	187	78	44

Tab. IV. 11 (a).

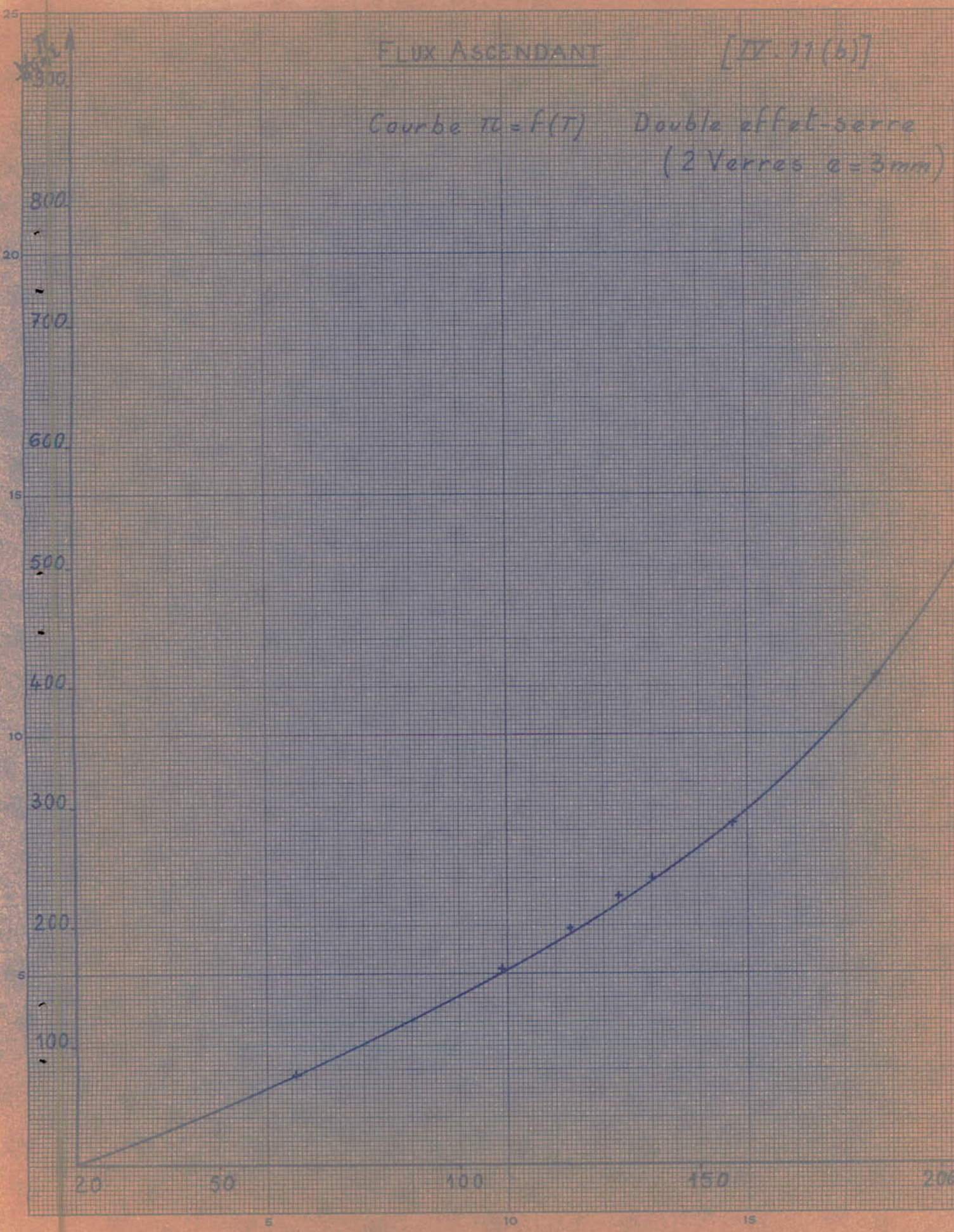


FLUX ASCENDANT

[IV. 91 (b)]

Courbe  $\tau_0 = f(T)$

Double effet-serre  
(2 Verres  $e = 3\text{mm}$ )



FLUX DESCENDANT - SIMPLE EFFET-SERRE  
1 Verre ( $e = 3 \text{ mm}$ )

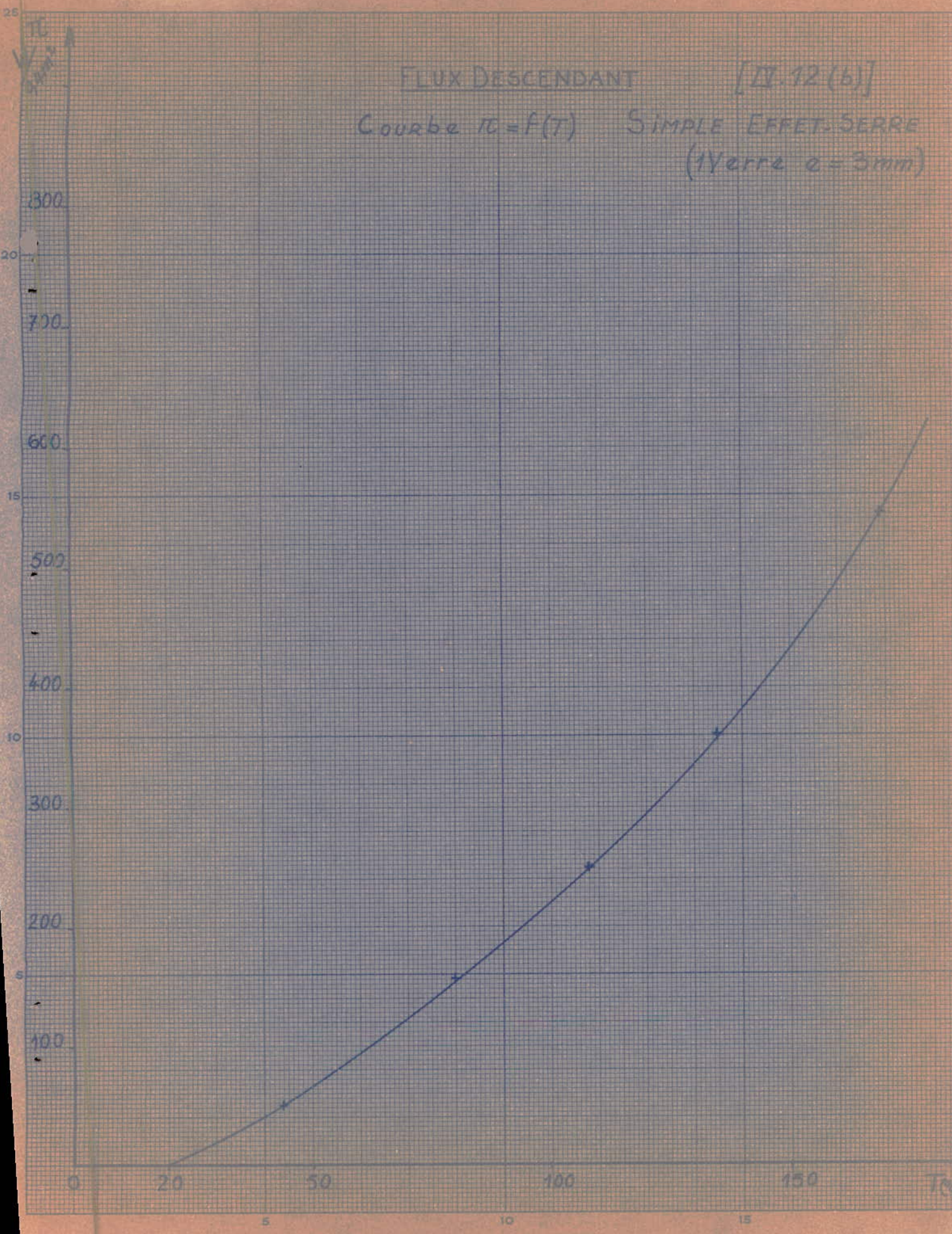
Tab. IV. 12 (a)

$T_n$ (°C) $\pi$ (W/m <sup>2</sup> )	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
50	44	45	46	40	46	27	25	45	44	27	25
157	77	83	86	66	85	36	31	83	80	35	31
250	104	111	115	92	114	42	34	111	108	42	35
360	129	140	144	114	144	50	39	140	135	50	41
544	162	177	179	143	176	58	42	177	169	59	45
714	190	206	206	166	199	59	50	206	197	80	53

FLUX DESCENDANT

[II.12(b)]

Courbe  $\tau = f(T)$  SIMPLE EFFET-SERRE  
(1 Verre  $e = 3\text{mm}$ )



FLUX DESCENDANT - Double effet-Serre  
2 Verres ( $e=3\text{ mm}$ )

$\pi$ (W/0.4mm <sup>2</sup> ) \ $T_h$ (°C)	$T_1$	$T_3$	$T_5$	$T_7$	$T_9$	$T_{11}$	$T_{13}$	$T_{15}$	$T_{16}$	$T_{14}$	$T_{12}$
60	58	61	62	51	62	32	29	61	60	32	29
104	72	77	80	63	79	34	29	77	76	34	30
160	93	99	102	79	101	41	34	99	97	40	34
203	111	119	122	96	121	45	36	119	116	45	37
250	126	135	138	111	137	49	38	134	131	49	40

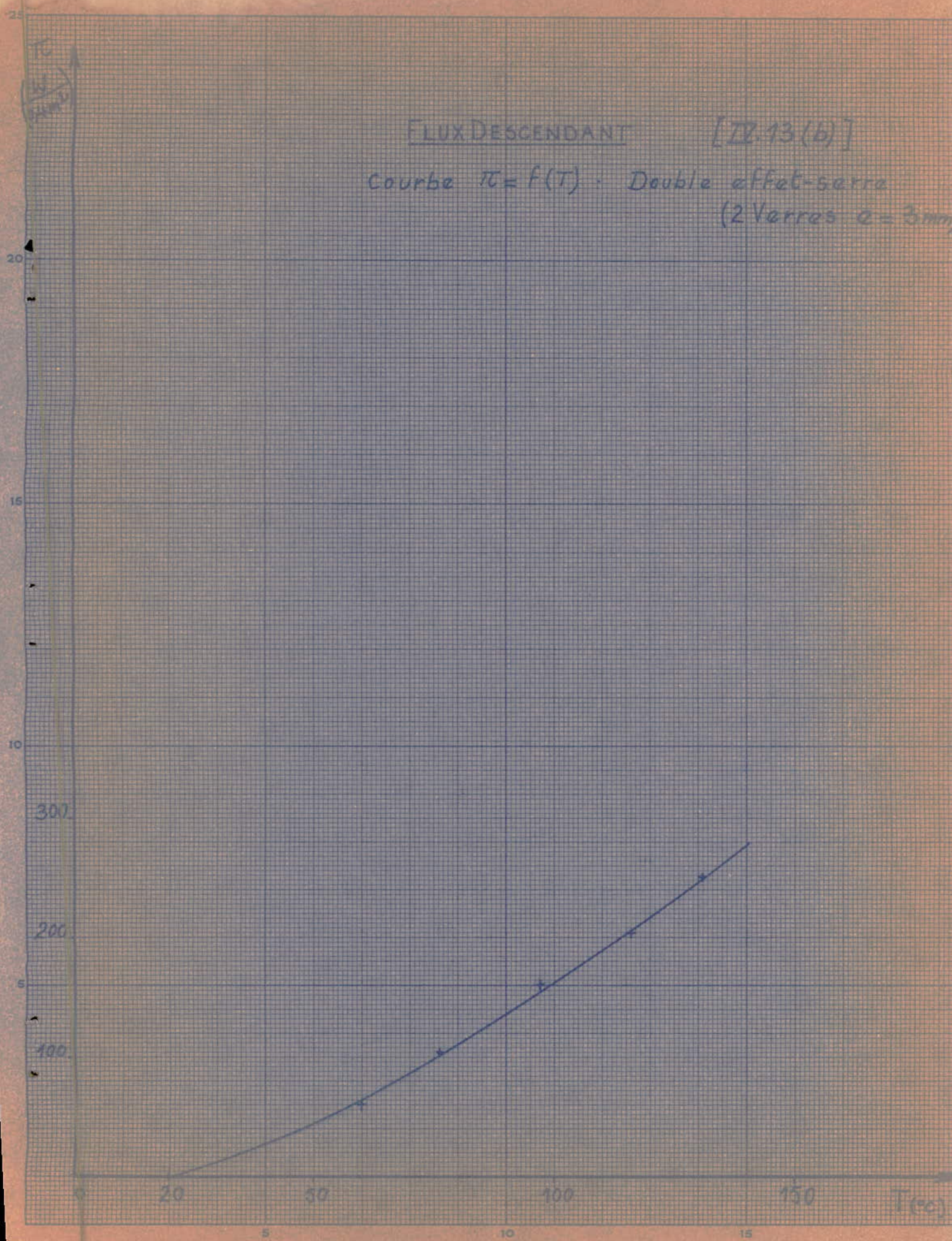
Tab. IV. 13 (a).

FLUX DESCENDANT

[12.13(b)]

Courbe  $\pi = f(T)$  : Double effet-serre

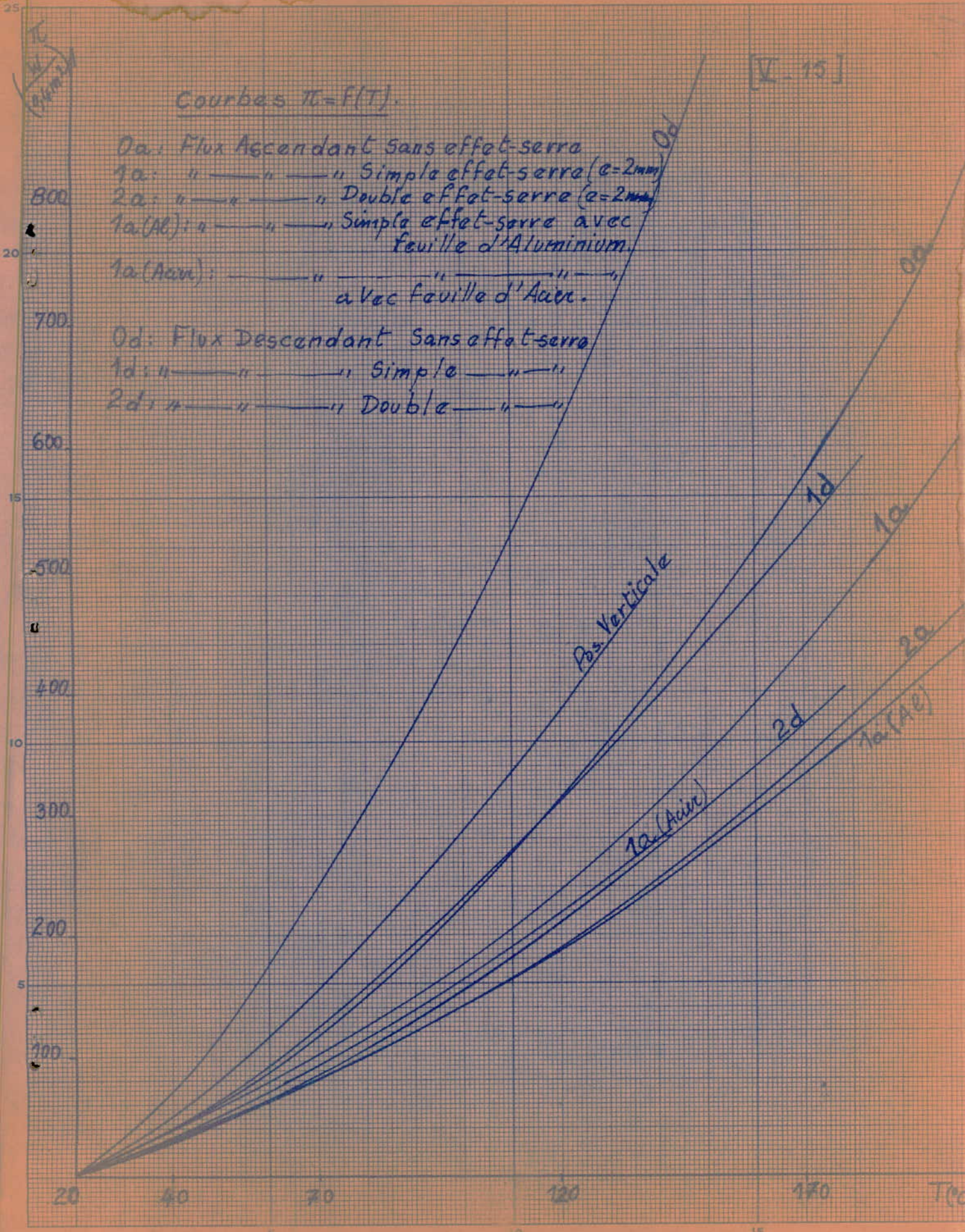
(2 Verres  $e = 3m$ )



Courbes  $\pi = F(T)$ .

[V-15]

- 0a: Flux Ascendant sans effet-serre
- 1a: " " " Simple effet-serre (e=2mm)
- 2a: " " " Double effet-serre (e=2mm)
- 1a(Al): " " " Simple effet-serre avec feuille d'Aluminium.
- 1a(Ac): " " " " " avec feuille d'Acier.
- 0d: Flux Descendant sans effet-serre
- 1d: " " " Simple " "
- 2d: " " " Double " "



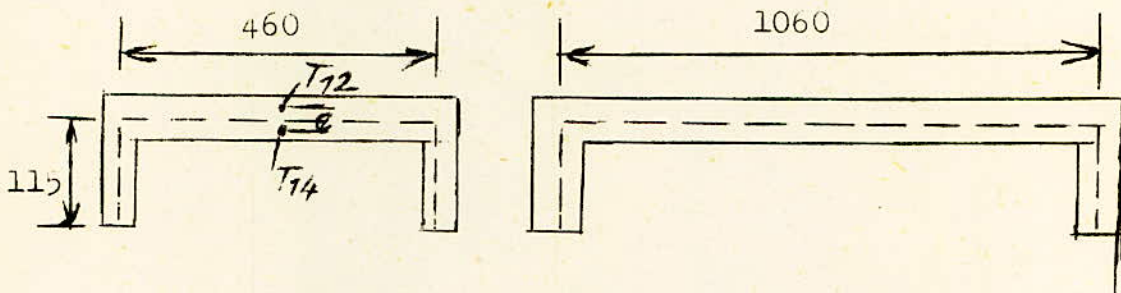
Estimation des pertes par calorifuge :

Nous avons constaté que, pour des puissances voisines, la température du caisson extérieur est plus élevée dans la position " flux ascendant " que dans les autres .

Cette constatation se justifie parfaitement par le fait que, dans cette position, la convection au niveau du caisson intérieur est nettement plus accentuée .

Nous pouvons affirmer que, relativement à cette position, les pertes par calorifuge représentent une portion importante des pertes totales enregistrées .

Nous avons jugé utile de faire un calcul des pertes par calorifuge dans la position " flux ascendant " pour les températures maximales de plaque atteintes .



$$\pi_{\text{cal.}} = S_{\text{moy.}} \cdot \frac{\lambda_L}{e} \Delta T$$

$$\pi_{\text{cal.}} = (460 \times 1060 + 2 \times 430 \times 115 + 2 \times 115 \times 1060) \text{ mm}^2$$

$$e = 15 \text{ mm}$$

$$\lambda_L = 35 \cdot 10^{-6} \text{ W/mm} \cdot ^\circ\text{C}$$

Nous aurons donc :

$$S_{\text{moy.}} \cdot \frac{\lambda_L}{e} = 1,94 \text{ W/}^\circ\text{C} .$$

Le tableau suivant donne les pertes par calorifuge ainsi que le % qu'elle représente vis-a-vis du bilan

total des pertes pour les températures de plaque maximales atteintes .

" FLUX ASCENDANT "	Procédé de captage	T ( °C )	$\pi$ (Watts)	$\pi_{cal.}$ (Watts)	%
	Sans effet-serre	215	926	87	9,4
	Simple effet-serre	238	735	105	14,3
	Double effet-serre	154	290	50	17,2
	simple effet-serre avec feuille d'Al.	279	819	120	14,6







PM002/76

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

ex

Recyclage.

DETERMINATION DES PERTES  
DANS UN CAPTEUR SOLAIRE  
EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

II

Proposé et dirigé par :

Mr. G. D'ALBON

Pr. Dr. Ingénieur

Étudié par :

BENKHEROUROU Ouahab

SALEM L. Farid

BETAYEB Smail

Promotion 1976



UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

DETERMINATION DES PERTES  
DANS UN CAPTEUR SOLAIRE  
EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

*Proposé et dirigé par :*  
Mr. G. D'ALBON  
Pr. Dr. Ingénieur

*Etudié par :*  
BENKHEROUROU Ouahab  
SALEM L. Farid  
BETAYEB Smail

Promotion 1976

( C H A P I T R E - V -

0  
/ / I N T E R P R E T A T I O N    D E S    R E S U L T A T S  
-----

5.1 HYPOTHESES DE TRAVAIL .

Premiere hypothèse :

Le flux incident solaire sur notre capteur est supposé indépendant de la température de celui-ci .

Nous justifions cette hypothèse de la manière suivante: le soleil et la plaque réceptrice d'un capteur solaire étant considérés comme des corps noirs parfaits portés respectivement aux températures  $T_s$  et  $T$ , la relation de la puissance rayonnante échangée par unité de surface entre ces deux corps contient le terme  $\sigma ( T_s^4 - T^4 )$  .

La température  $T_s$  étant de très loin supérieure à la température  $T$  , on peut donc assimiler avec une excellente approximation le terme  $\sigma ( T_s^4 - T^4 )$  avec le terme  $\sigma T_s^4$  . Ce dernier terme étant indépendant de la température de plaque  $T$  , notre hypothèse se trouve donc parfaitement justifiée .

Seconde hypothèse :

Cette hypothèse concerne uniquement les cas d'utilisation de parois de verre ( effet-serre ) .

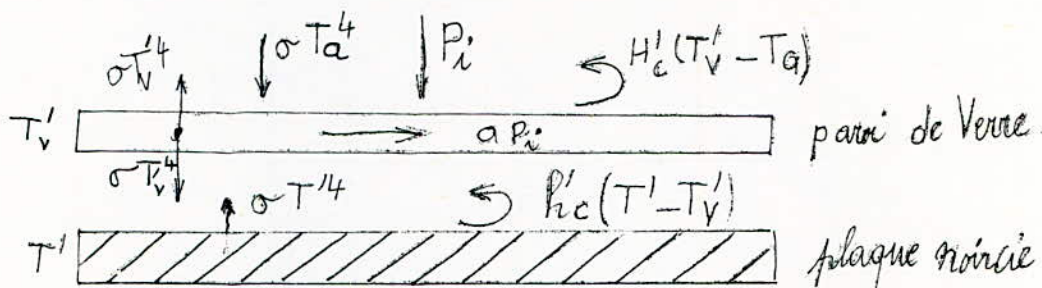
a) Calcul théorique des pertes relatif au simple effet de serre :

On considère que :

- Le verre possède un coefficient d'émission-absorption en infra-rouge lointain voisin de 1 , un coefficient de transmissivité  $t$  et un coefficient d'absorption  $a$  pour le spectre solaire à incidence normale .

- Le parquet en regard de la paroi de verre ( ceci dans le cas de la position " flux ascendant " ) possède un coefficient d'émission-absorption pour l'infra-rouge voisin de 1 .

- La plaque noircie a un coefficient d'émission- absorption pour le spectre solaire voisin de 1 .



Equilibre thermique de la paroi de verre :

$$a P_i + \sigma ( T'^4 - T'^4_V ) - \sigma ( T'^4_V - T^4_a ) + h'_c ( T' - T'_V ) - H'_c ( T'_V - T_a ) = 0$$

Cette relation nous montre que  $T'_V$  dépend ( à  $T_a$  Cste ) de  $T'$  et  $P_i$  :

$$T'_V = T'_V ( T' , P_i ) \quad (1)$$

A l'équilibre la relation donnant les pertes sera :

$$\mathcal{K} = 5\sigma ( T'^4 - T'^4_V ) + 5h'_c ( T' - T'_V )$$

$S$  : Surface de la plaque noircie.

$T_a$  : Température de l'air ambiant .

$T'_V$  : Température au verre .

$T'$  : Température de la plaque .

$\sigma$  : Constante de Stéphan-Boltzmann .

$h'_c$  : Coefficient de convection entre la plaque et la paroi de verre ( dépend de  $(T' - T'_V)$  ) .

$H'_c$  : Coefficient de convection entre la paroi de verre et l'air ambiant ( dépend de  $(T'_V - T_a)$  ) .

Les pertes dépendent des deux températures  $T'$  et  $T'_V$  .

$$\mathcal{K} = \mathcal{K} ( T' , T'_V ) \quad (2)$$

D'après les relations (1) et (2), on voit qu'en définitive, les pertes dépendent de la température de la plaque  $T'$  et de la puissance incidente  $P_i$  ( ceci dans le cas d'utilisation de l'effet-serre ) .

$$\mathcal{K} = \mathcal{K} ( T' , P_i )$$

Etant donné que, dans notre cas, nous avons utilisé une puissance calorifique comme moyen de chauffe, le verre réceptionnera, à température de plaque égale, une puissance moindre que dans le cas de l'utilisation d'une puissance rayonnante .

Donc, si dans notre cas, nous avons une température de plaque  $T = T'$ , nous aurons une température de verre  $T_v < T'_v$  et le gradient  $\frac{dT}{dx}$  entre la plaque et le verre sera plus important, donc les pertes aussi .

Cependant, il est légitime de penser que l'absorption de la paroi de verre n'a une influence sensible sur la valeur des pertes que pour les hautes puissances incidentes ( flux solaire concentré ) .

Troisième hypothèse :

Nous avons adopté pour le coefficient de transmissivité de la paroi de verre d'épaisseur  $e = 2$  mm la valeur 0,88 qui est supérieure à la valeur réelle .

Dans le cas du double effet-serre nous avons adopté un coefficient de transmissivité totale des deux parois de verre employées  $t^2$  en négligeant la réflexion du verre qui augmente avec l'angle d'incidence .

Quatrième hypothèse :

Dans la position " flux ascendant " , la plaque d'aluminium noircie ou, dans le cas d'utilisation de l'effet-serre, la paroi de verre sont en regard du parquet qui possède un coefficient d'émission-absorption assez élevé. Or, dans le cas réel, le capteur dans cette position est supposé recevoir le flux incident par l'intermédiaire d'un concentrateur ayant un coefficient d'absorption faible ( généralement la face réfléchissante du concentrateur est en aluminium poli ) .

Nous aurons donc, à température égale, des pertes par rayonnement nettement plus accentuées dans notre cas que



dans le cas réel . De même, dans la position "flux descendant", la face réceptrice du capteur est en regard du plafond blanchi à la chaux ( coefficient d'émission voisin de 0,90 ) . Ce coefficient d'émission est voisin du coefficient d'émission du ciel . Les résultats trouvés dans cette position sont donc voisins de la réalité .

Cinquième hypothèse :

Etant donné que nous avons été limité dans l'élévation de température par divers facteurs ( risque de détérioration du verre, puissance de chauffe des résistances ) nous avons jugé utile d'extrapoler les courbes des pertes obtenues vers des températures élevées .

Les courbes des pertes n'ayant pas une allure linéaire nous avons, par analogie avec la méthode des calculs des radiateurs de chauffage, représenté la courbe :

$\log \pi = f(\log T)$  . La courbe obtenue, ayant dans l'intervalle de puissances fournies correspondant à chaque position du capteur, une allure linéaire, nous l'avons utilisée comme moyen d'extrapolation . Les valeurs données par cette extrapolation sont à prendre sous une certaine réserve .

Sixième hypothèse :

L'espace libre entre les arêtes de la paroi de verre et le caisson intérieur favorise la convection au niveau de la plaque et laisse supposer que nous aurons, dans le cas d'une bonne isolation, des pertes légèrement moindres que dans notre cas .

Cette hypothèse concerne spécialement la position verticale où la ventilation de la plaque par brassage de l'air sera très nettement accentuée .

Septième hypothèse :

Dans l'expérience annexe, position " flux ascendant " avec simple effet-serre ( paroi de verre en regard d'une feuille d'aluminium ) nous avons adopté une faible distance

( 10 cm ) entre la paroi de verre et la feuille d'aluminium . Ceci nous fournit un angle solide sous lequel est vue la feuille d'aluminium par la paroi de verre relativement grand et dépassant tous ceux prévus dans les cas d'utilisation réelle . Les pertes enregistrées, a température égale, seront donc inférieures aux pertes réelles dans les mêmes conditions avec une distance d'écartement plus grande .

## 5.2 INTERPRELATION DES RESULTATS .

### 5.2.1 "Flux ascendant" :

Les calculs d'échange thermiques classiques montrent que, dans cette position, les pertes par convection au niveau de la plaque sont les plus faibles d'autant plus que le rebord extérieur constitue un obstacle efficace vis-a-vis de tout déplacement d'air éventuel .

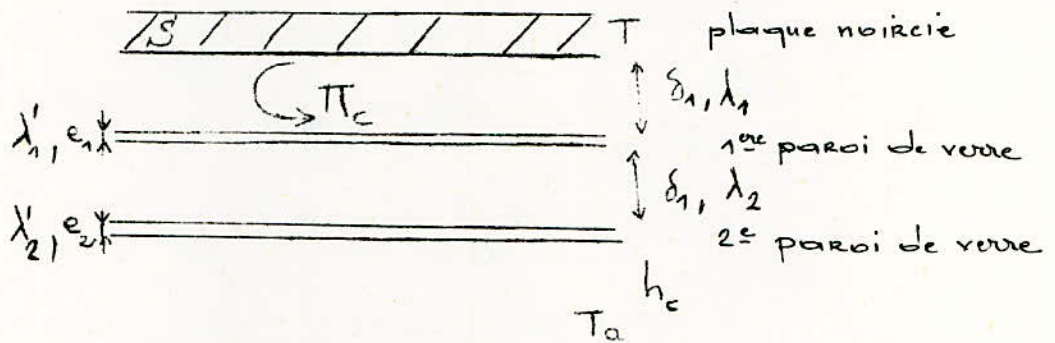
L'interposition d'une paroi de verre entre la plaque chauffée et le milieu extérieur atténue nettement les pertes par rayonnement .

La faible distance adoptée ( 1 cm ) entre la paroi de verre et la plaque fait que les pertes autres que par rayonnement au niveau de la plaque se font surtout par conduction .

L'interposition d'une deuxième paroi de verre entre la première et le milieu extérieur permet, a puissance égale, une élévation de la température de plaque par atténuation des pertes au niveau du premier verre .

Dans le domaine de températures utilisées, les résistances thermiques  $\delta_1/\lambda_1$ ,  $\delta_2/\lambda_2$  sont largement supérieures aux résistances thermiques  $e_1/\lambda_1$ ,  $e_2/\lambda_2$ ,  $1/h_c$  . Ceci nous amène a affirmer que, dans le cas d'utilisation de deux parois de verre les pertes par convection sont négligea-

bles par rapport aux pertes par conduction et que, pour des épaisseurs de verre voisines et à température égale, les pertes sont pratiquement constantes .



$$\frac{\pi_c}{S} \approx \frac{T - T_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{e_1}{\lambda'_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{e_2}{\lambda'_2} + \frac{1}{h_c}}$$

$$\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \gg \frac{e_1}{\lambda'_1} + \frac{e_2}{\lambda'_2} + \frac{1}{h_c}$$

### 5.2.2 "Flux descendant" :

Dans cette position, la convection est tres accentuée si le capteur n'utilise pas l'effet de serre . Ceci se remarque facilement si nous comparons les courbes  $\pi = f ( T )$  obtenues dans ce cas et le cas précédent .

L'interposition d'une paroi de verre atténue la convection dans des proportions dépassant largement celles

enregistrées dans le premier cas .

Nous déduisons donc que l'utilisation de l'effet-serre est indispensable dans ce cas plus que dans le premier.

L'interposition d'une seconde paroi de verre entre la première et le milieu ambiant diminue encore plus la convection en diminuant la variation de température entre le verre et l'air extérieur . Cette dernière considération et en très bon accord avec notre expérience .

Dans cette position, le capteur est supposé travailler sans concentration de flux solaire (sauf dans des cas très limités d'utilisation de loupes ). Le double effet-serre sera très efficace d'autant plus que les pertes par absorption du verre seront négligeables .

#### 5.2.3 Position verticale avec simple effet-serre:

Dans cette position, le brassage de l'air est très accentué le long de la paroi de verre et, vu le défaut d'étanchéité au niveau des arêtes de celle-ci, de la plaque réceptrice .

Le calcul des échanges thermiques montre, et notre expérience le prouve, que les pertes dans ce cas sont supérieures à celles enregistrées dans les deux premières positions utilisant l'effet de serre .

Etant donné que le capteur est placé tel que sa dimension la plus grande soit verticale, nous sommes dans le cas le plus favorable en ce qui concerne les pertes . Cette considération est donc à prendre en ligne de compte dans l'emplacement des capteurs verticaux.

#### 5.2.4 "Flux ascendant" avec simple effet-serre: paroi de verre en regard d'une feuille d'aluminium.

Les pertes enregistrées sont nettement inférieures à celles relevées dans les précédents cas utilisant l'effet de serre . Cette diminution des pertes concerne

exclusivement les pertes par rayonnement car la feuille d'aluminium poli possède un coefficient d'émission-absorption très faible par rapport à celui du parquet.

5.2.5 "Flux ascendant avec simple effet-serre: paroi de verre en regard d'une plaque d'acier .

Dans ce cas, les pertes relevées sont inférieures à celles enregistrées dans le cas du "flux ascendant avec simple effet-serre ". Cette diminution des pertes est assez faible car le coefficient d'émission de l'acier est légèrement inférieur à celui du parquet .

5.2.6 Définition de certains termes introduits :

-Puissance incidente ( notée  $P_i$  ) :

C'est la puissance rayonnante réceptionnée par unité de surface du capteur .

-Pertes (notées  $\mathcal{N}$ ) :

Pertes totales enregistrées par unité de surface du capteur pour une température d'équilibre  $T$  .

-Puissance utile ( notée  $P_u$  ) :

C'est la puissance calorifique réellement disponible à la température d'équilibre  $T$  par unité de surface du capteur .

$$P_u = P_i - \mathcal{N}$$

-Exergie ( notée  $P_m$  ) :

C'est la puissance disponible susceptible d'être transformée en énergie mécanique, ceci dans le cas d'une utilisation thermo-énergétique .

$$P_m = P_u \times \theta_e$$

-Rendement exergetique ( noté  $\theta_e$  ) :

$$\theta_e = 1 - \frac{T_a}{T}$$

avec :  $T_a$  : température du milieu extérieur ( en °K )  
 $T$  : température d'équilibre de la plaque ( en °K )

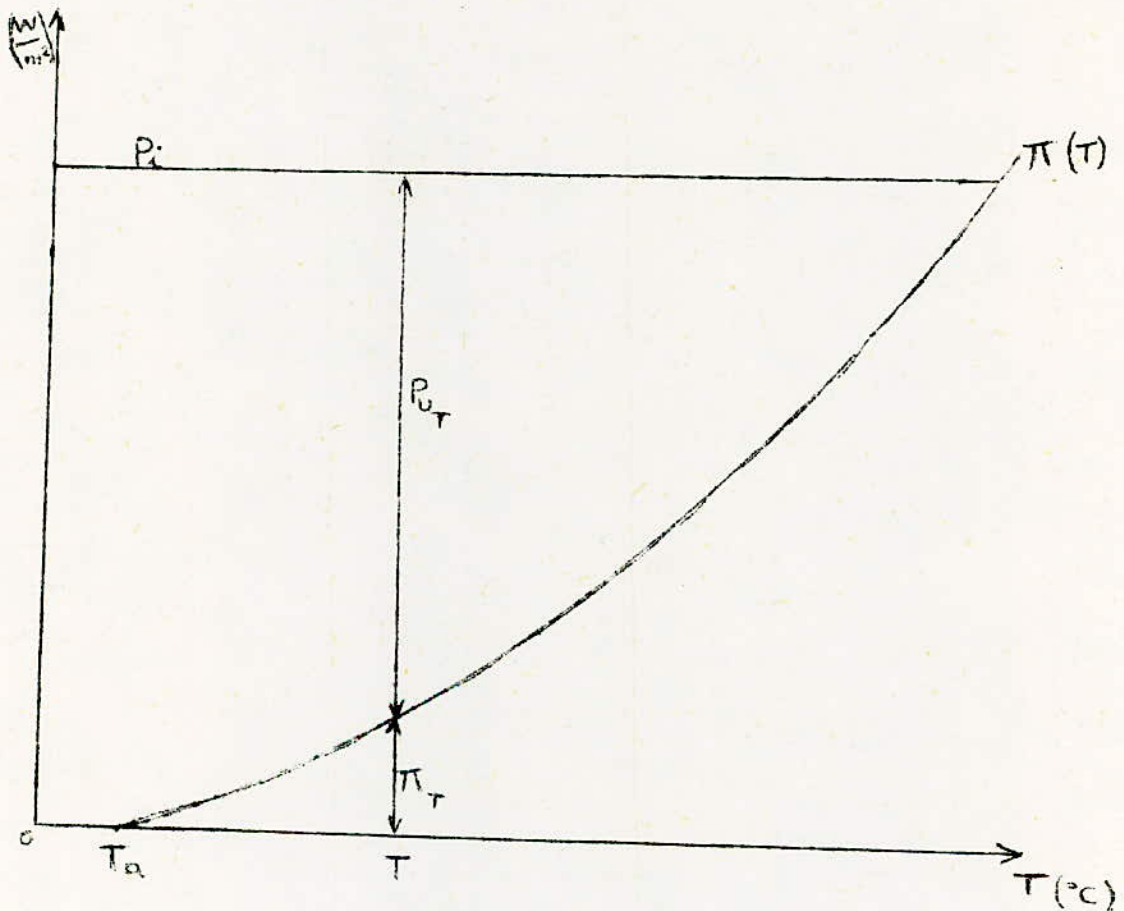
- Rendement de captage ( noté  $\eta$  ) :

C'est le rapport de la puissance utile (  $P_u$  ) à la puissance incidente  $P_i$  :  $\eta = \frac{P_u}{P_i}$  .

### 5.2.7 Puissance utile :

En regard de la première et deuxième hypothèse ( énoncées précédemment ) nous avons  $\pi = \pi ( T )$  , c'est-à-dire que les pertes ne dépendent que de la température  $T$  de la plaque, et que la puissance incidente sur le capteur (  $P_i$  ) est indépendante de cette même température  $T$  .

La puissance utile s'écrivant :  $P_u = P_i - \pi ( T )$  , nous en déduisons qu'elle dépend des deux paramètres  $P_i$  et  $T$  .



A puissance incidente fixée, la puissance utile  $P_u$  ne dépend que de la valeur des pertes à une température donnée  $T$ . De la relation  $P_u = P_i - \mathcal{N}(T)$  nous déduisons que, à  $P_i$  constante,  $P_u$  varie en sens inverse de  $\mathcal{N}$  et par conséquent de  $T$ . Cela parce que les pertes  $\mathcal{N}(T)$  varient dans le même sens que la température  $T$ .

A pertes égales, c'est-à-dire à température  $T$  constante, la même relation liant  $P_u$ ,  $P_i$  et  $\mathcal{N}(T)$  montre que  $P_u$  et  $P_i$  augmentent dans le même sens.

Dans le cas d'utilisation du simple effet-serre, la valeur de  $P_u$  devient :

$$P_u = t \times P_i - \mathcal{N} \quad (0 < t < 1)$$

$t$  : Coefficient de transmissivité moyen de la paroi de verre.

Dans le cas d'utilisation du double effet-serre, la valeur de  $P_u$  sera :

$$P_u = t^2 \times P_i - \mathcal{N}$$

En regard des trois relations donnant  $P_u$ , nous pouvons affirmer que, à  $P_i$  constante, chacun des trois procédés de captage relatif à une position du capteur possède un domaine d'utilisation optimal.

#### 2.2.8 Exergie disponible :

Nous avons défini l'exergie comme étant le produit de la puissance utile  $P_u$  et du rendement exergétique  $\theta_e$ . Nous avons aussi vu que, à  $P_i = \text{Constante}$ ,  $P_u$  et  $T$  varient en sens inverse. En outre, le rendement exergétique  $\theta_e$  et la température  $T$  varient dans le même sens. Ces deux considérations nous emmènent à affirmer que, à  $P_i = \text{Cste}$ , le produit  $P_u \times \theta_e = P_m$  passe par un maximum pour une valeur donnée de la température  $T$ .

Comme à  $T = \text{Cste}$ ,  $\theta_e$  est Cste et  $P_u$  augmente dans le même sens que  $P_i$ , le produit  $P_u \times \theta_e = P_m$  varie aussi dans le même sens que  $P_i$ .

### 5.2.9 Rendement de Captage :

La relation  $\eta = \frac{P_u}{P_i} = \frac{P_i - \mathcal{N}(T)}{P_i}$  , montre que  $\eta$  dépend de la température  $T$  et de la puissance incidente  $P_i$  . A  $P_i = \text{Cste}$ ,  $\eta$  varie en sens inverse de  $\mathcal{N}(T)$ , donc de la température  $T$  .

A température  $T = \text{Cste}$ ,  $\eta$  varie dans le même sens que la puissance incidente .

### 5.2.10 Courbes tracées :

Après avoir tracer la courbe  $\mathcal{N}(T)$ , nous avons, pour  $P_i$  variant de 1000 en 1000 W/m<sup>2</sup> de 1000 à 20000 W/m<sup>2</sup>, tracé pour chacune de ces valeurs les courbes  $P_u(T)$  et  $P_m(T)$  ( voir référence ci-apres ) .

Les courbes obtenues présentent une nette discontinuité entre les portions obtenues par expérience et celles extrapolées .

Dans l'intervalle d'extrapolation les courbes décroissent beaucoup plus rapidement que ne le laisse prévoir l'allure des courbes obtenues par expérience . Ceci nous amène à affirmer que les courbes des pertes varient moins rapidement pour des températures supérieures à celles atteintes dans notre expérience ; les droites  $\log T = f(\log T)$  présenteront alors une pente moins importante .

Les courbes  $P_m(T)$  nous ont permis de relever pour chaque valeur de  $P_i$  les maxima de l'exergie  $P_m$  et la température correspondante . Ces valeurs sont consignées dans les tableaux V.7 et V.8 . Cependant, la majorité des maxima de  $P_m$  obtenus l'ont été grâce à l'extrapolation et sont à prendre uniquement à titre indicatif .

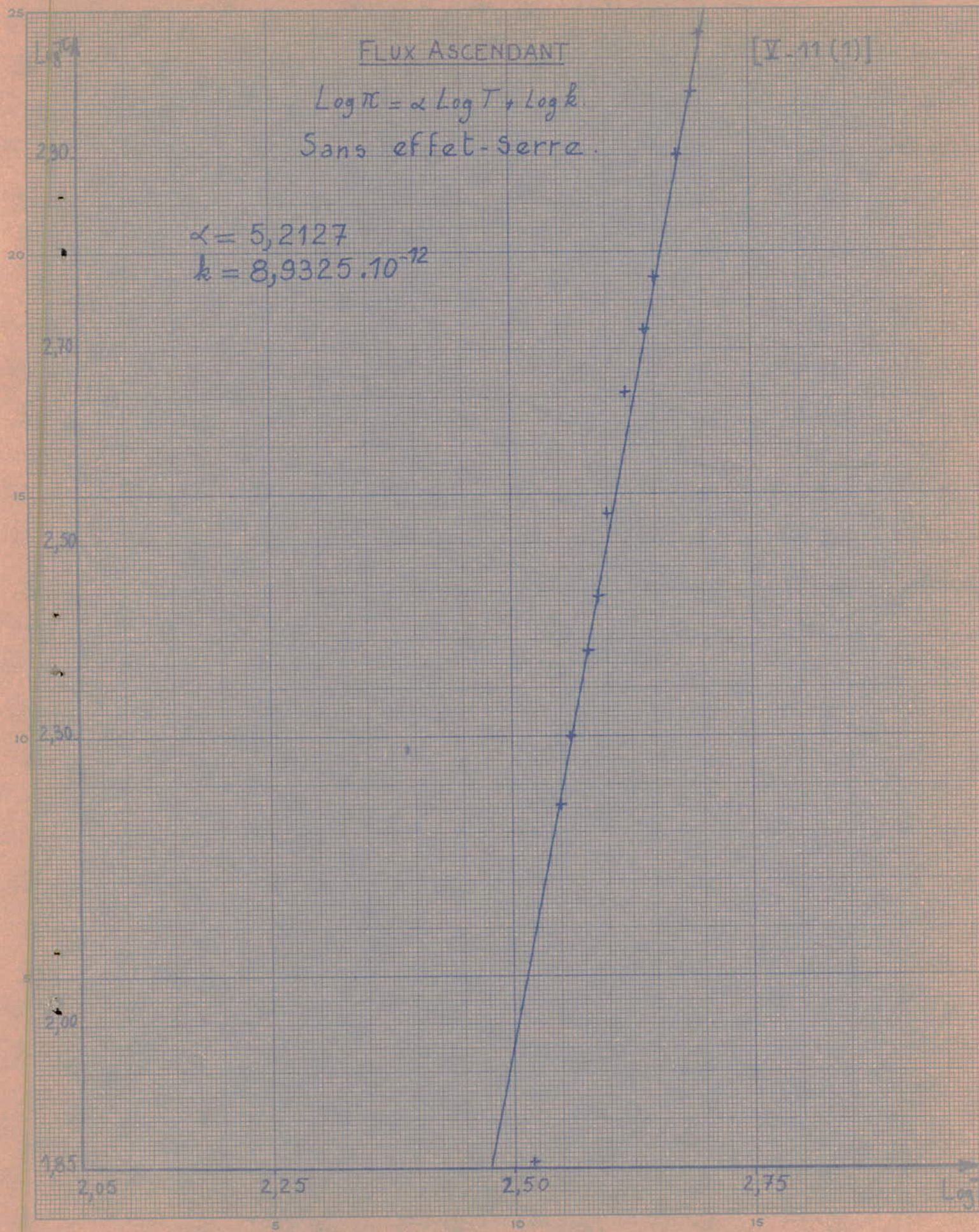


FLUX ASCENDANT

[V.11(1)]

$\text{Log } \pi = \alpha \text{ Log } T + \text{Log } k.$   
Sans effet-serre.

$\alpha = 5,2127$   
 $k = 8,9325 \cdot 10^{-12}$

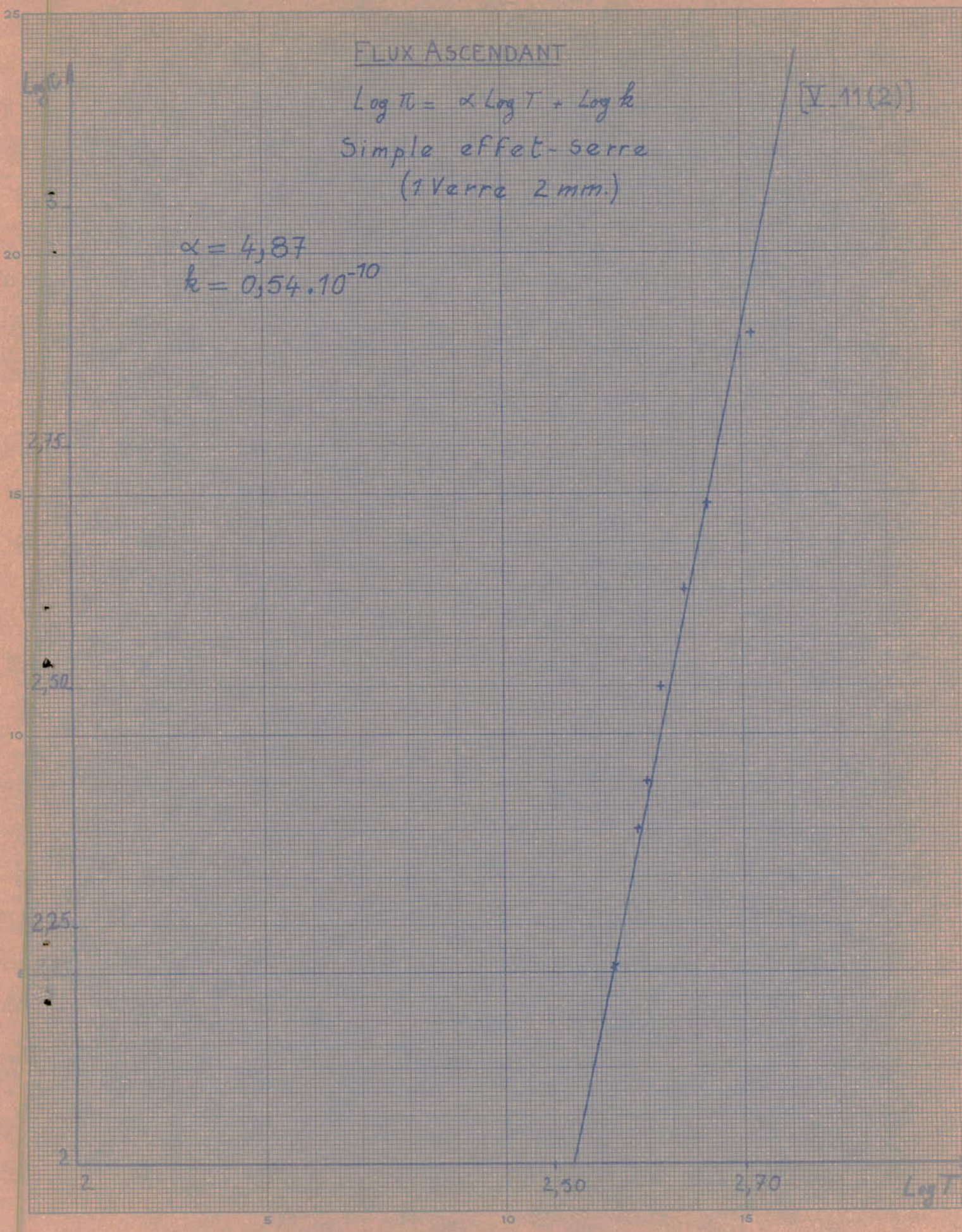


# FLUX ASCENDANT

$\text{Log } \pi = \alpha \text{ Log } T + \text{Log } k$   
Simple effet-serre  
(1 Verre 2 mm.)

[V. 11(2)]

$\alpha = 4,87$   
 $k = 0,54 \cdot 10^{-10}$



FLUX ASCENDANT

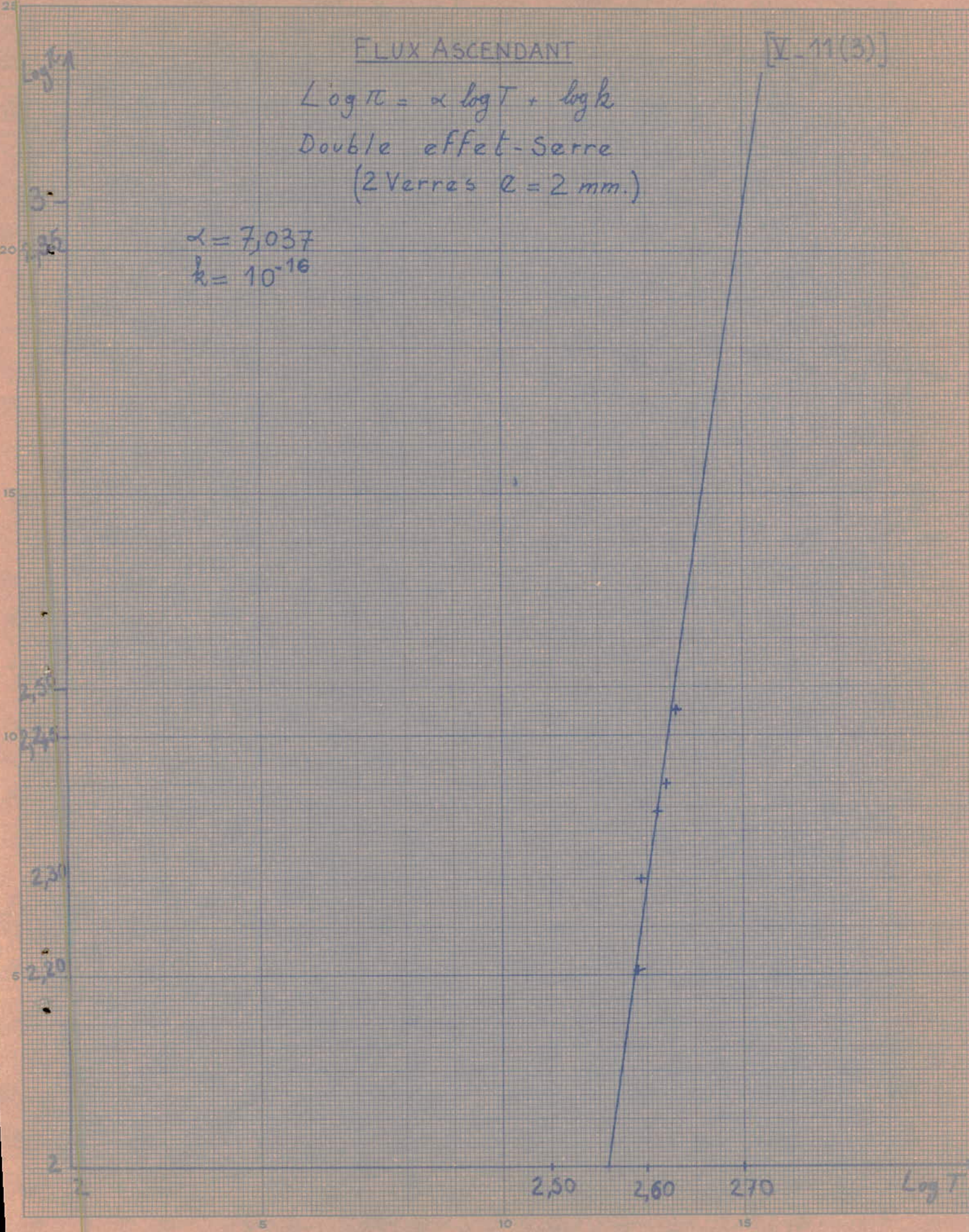
$$\text{Log } \pi = \alpha \text{ log } T + \text{log } k$$

Double effet-Serre  
(2 Verras  $\varnothing = 2 \text{ mm.}$ )

[V. 11(3)]

$$\alpha = 7,037$$

$$k = 10^{-16}$$



[X.12(1)]

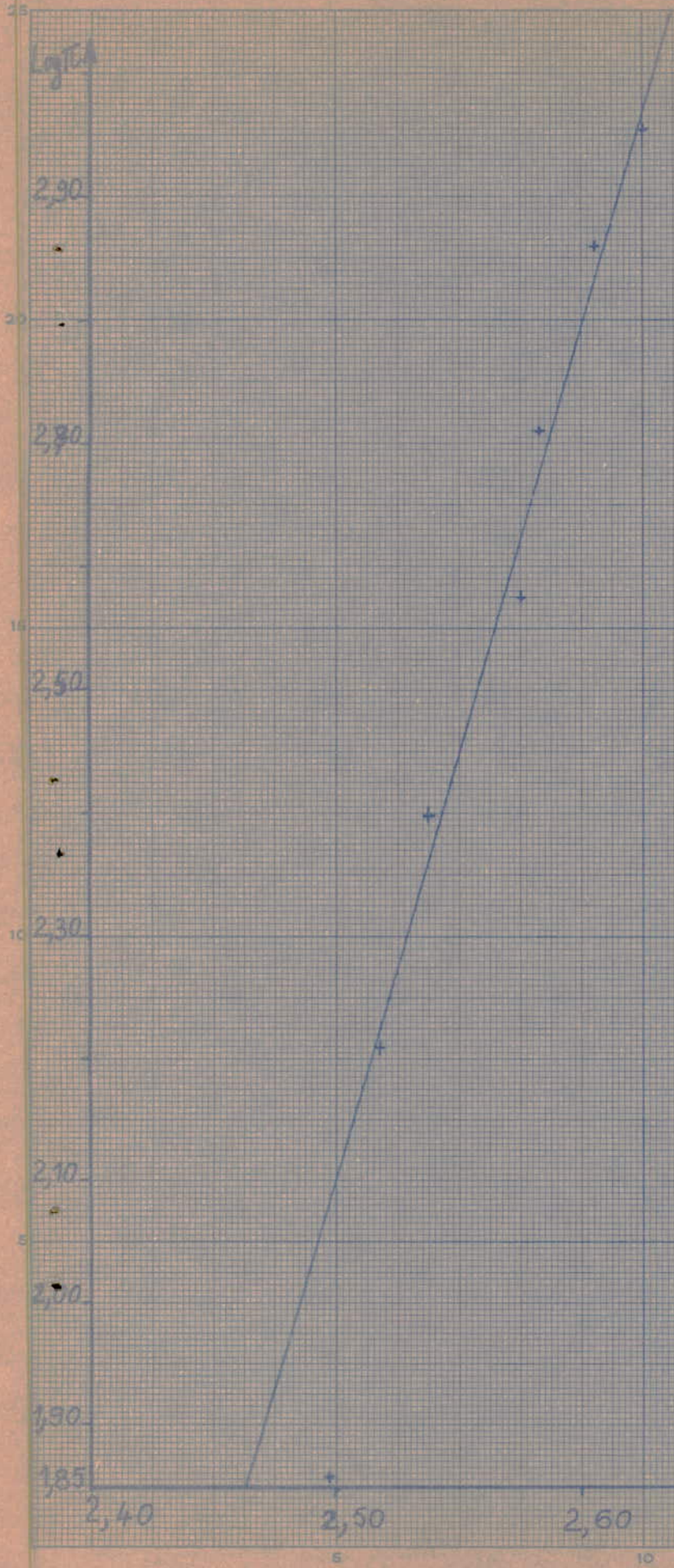
FLUX DESCENDANT

SANS effet-serre

$$\text{Log } \pi = \alpha \text{ Log } T + \text{Log } k.$$

$$\alpha = 6,8615$$

$$k = 8,986 \cdot 10^{-16}$$



Log

FLUX DESCENDANT

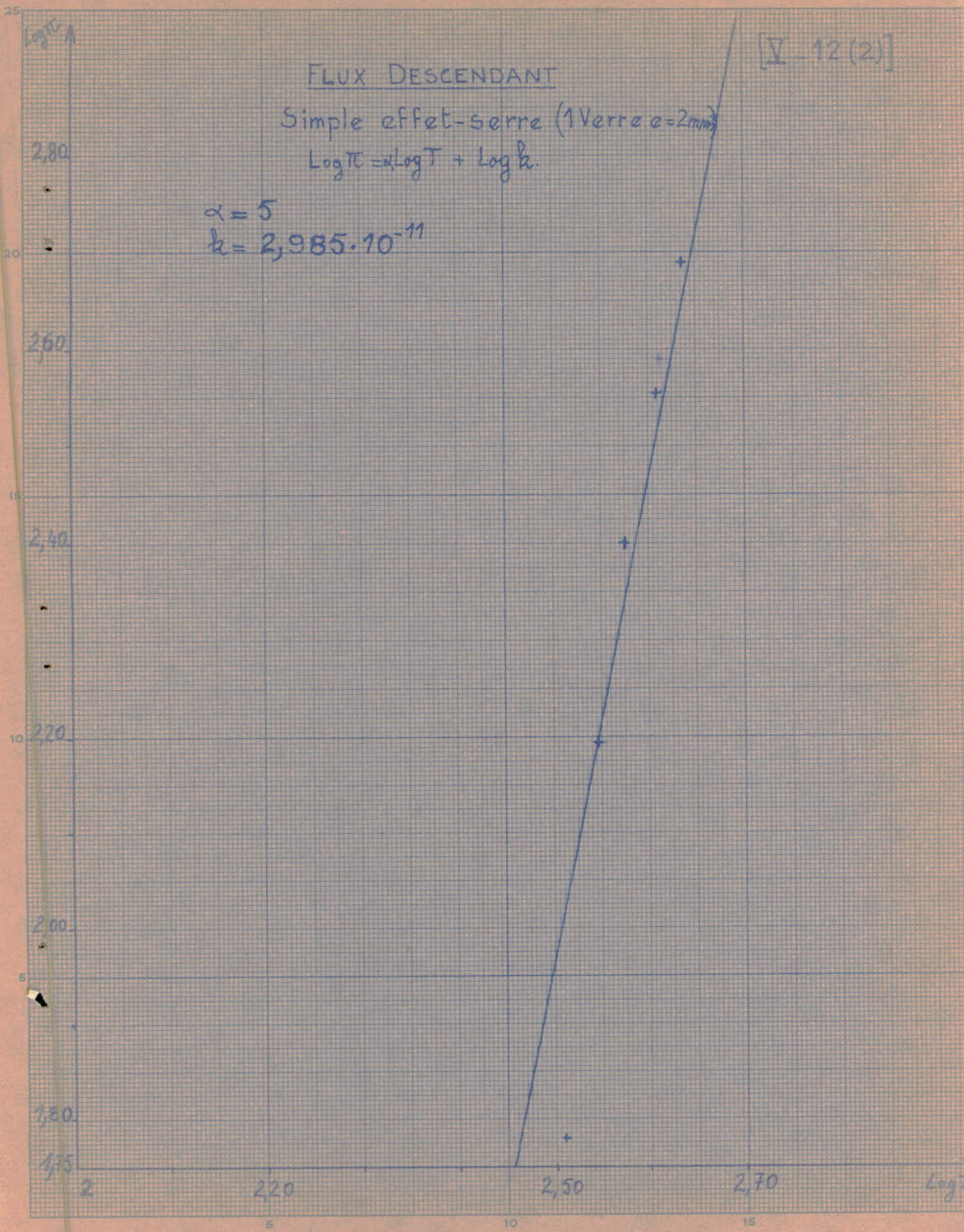
Simple effet-serre (1 Verra  $a=2mm$ )

$$\text{Log } \pi = \alpha \text{Log } T + \text{Log } k$$

$$\alpha = 5$$

$$k = 2,985 \cdot 10^{-11}$$

[V-12(2)]

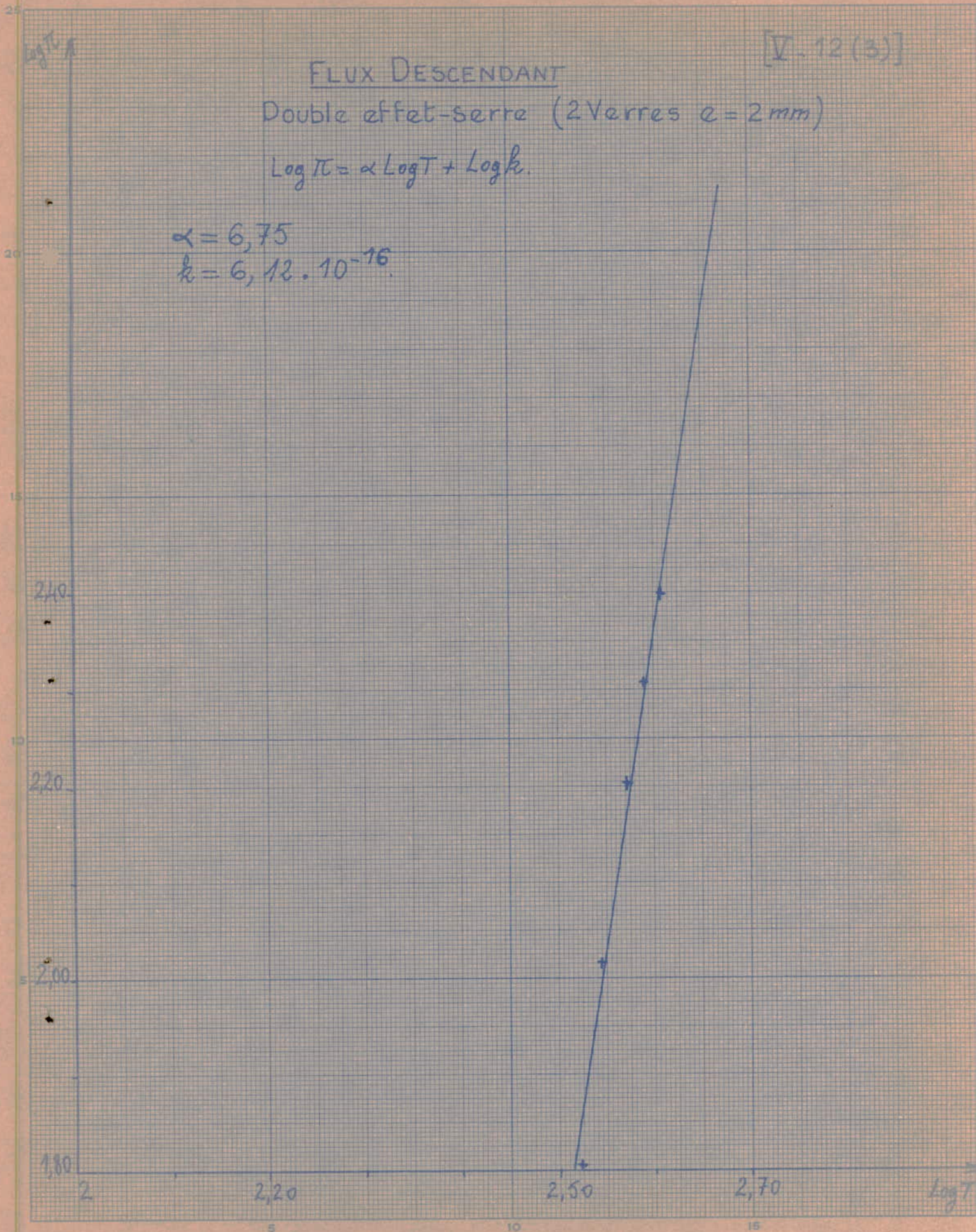


FLUX DESCENDANTDouble effet-serre (2 Verres  $e = 2 \text{ mm}$ )

$$\text{Log } \pi = \alpha \text{ Log } T + \text{Log } k.$$

$$\alpha = 6,75$$

$$k = 6,12 \cdot 10^{-16}$$



[V. 7]

EXERGIE MAXIMALE [ $P_m$ ] ET TEMPÉRATURES CORRESPONDANTES  
POUR DIFFÉRENTES PUISSANCES INCIDENTES.

		$P_i$	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
FLUX ASCENDANT.	Sans Effet-Serre.	T	80	114	126	156	170	184	198	204	212	216
		$P_m$	120	320	580	950	1200	1530	1900	2300	2700	3080
	Simple Effet-Serre (1 Verre 2mm)	T	98	125	160	180	200	215	230	238	238	238
		$P_m$	500	290	540	825	1160	1510	1860	2222	2600	2974
	Double Effet-Serre (2 Verres 2mm)	T	115	120	154	155	157	166	172	176	184	192
		$P_m$	92	290	502	750	990	1250	1500	1760	2040	2340
FLUX DESCENDANT	Simple Effet-Serre (1 Verre 2mm)	T	70	106	130	152	170	186	194	204	210	220
		$P_m$	100	310	490	770	1030	1370	1660	2000	2330	2680
	Double Effet-Serre (2 Verres 2mm)	T	89	134	140	145	160	170	175	180	190	195
		$P_m$	93	258	474	701	943	1198	1460	1733	2008	2293
	Sans Effet-Serre.	T	56	72	109	112	126	136	149	150	151	152
		$P_m$	65	208	399	632	880	1150	1450	1760	2060	2330

$T$  en ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;  $P_m(\text{max})$  en ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

[V-8]

EXERGIE MAXIMALE [ $P_m$ ] ET TEMPÉRATURES CORRESPONDANTES  
POUR DIFFÉRENTES PUISSANCES INCIDENTES.

		$P_i$	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000
FLUX ASCENDANT.	Sans Effet-Serre.	T	218	224	228	236	242	246	250	254	258	260
		$P_m$	3460	3880	4300	4720	5170	5590	6030	6450	6900	7360
	Simple Effet-Serre (1 Verre 2mm)	T	240	240	245	250	250	258	260	264	275	276
		$P_m$	3355	3730	4120	4480	4870	5280	5650	6020	6430	6855
	Double Effet-Serre (2 Verres 2mm)	T	196	200	204	208	210	214	218	224	230	234
		$P_m$	2610	2900	3210	3500	3820	4120	4400	4730	5050	5380
FLUX DESCENDANT	Simple Effet-Serre (1 Verre 2mm)	T	226	232	234	236	242	246	254	260	270	280
		$P_m$	3030	3400	3770	4140	4520	4890	5270	5660	6070	6460
	Double Effet-Serre (2 Verres 2mm)	T	200	205	210	215	220	225	225	225	225	225
		$P_m$	2624	2877	3173	3482	3787	4095	4415	4734	5053	5372
	Sans Effet-Serre.	T	153	155	168	176	178	180	180	182	184	186
		$P_m$	2660	2970	3260	3660	3960	4320	4660	5020	5360	5720

$T$  en ( $^{\circ}\text{C}$ ) :  $P_m$  (max) en ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



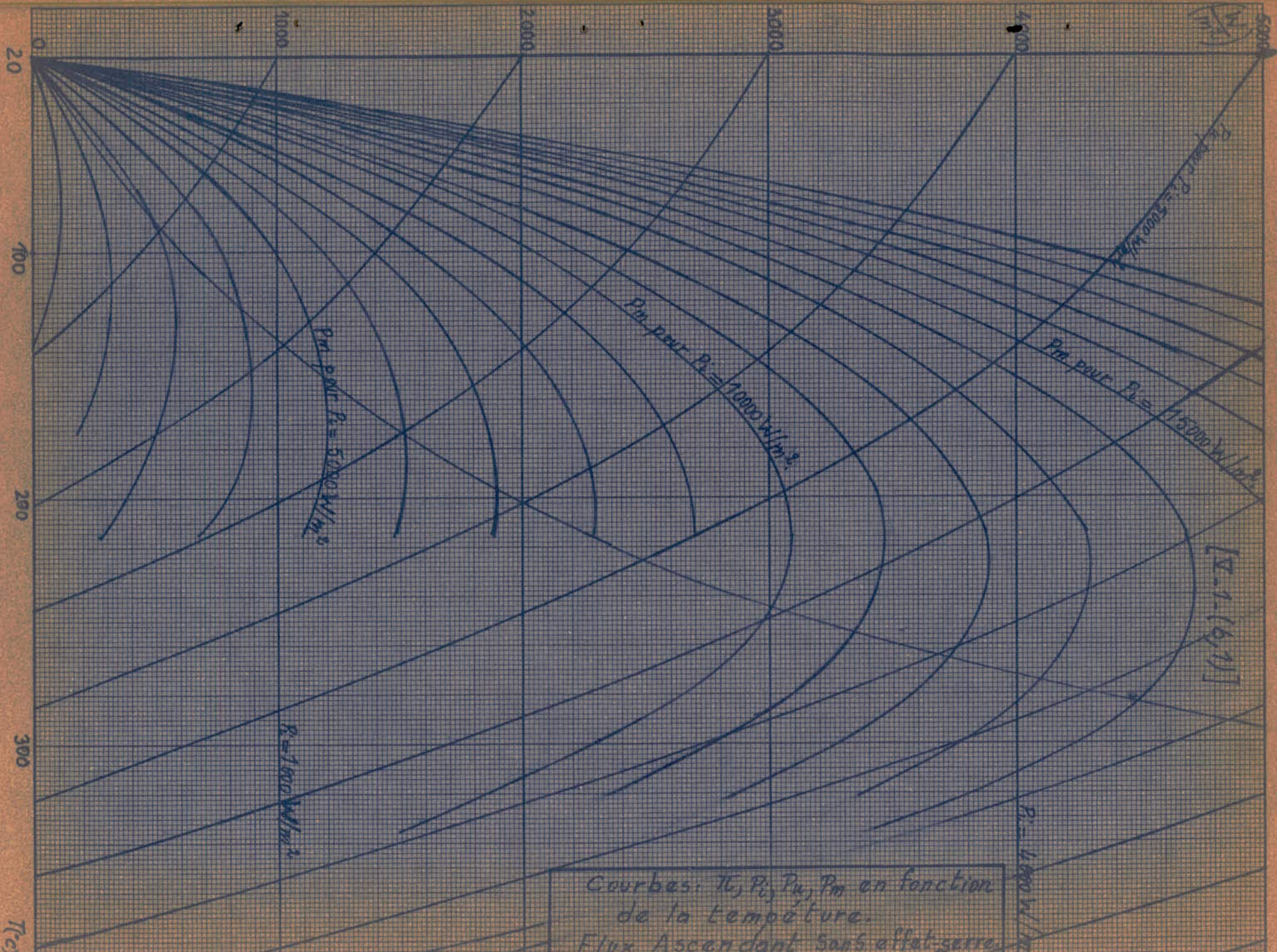
	Procédé de captage	Courbes Ref. n°	Tableau numéro	T°C au delà de laquelle les valeurs sont extrapolées
" FLUX ASCENDANT "	Sans effet-serre	V.1(b , 1)	V.1(a)	215
		V.1(b , 2)		
		V.1(b , 3)		
		V.1(b , 4)		
	Simple effet-serre	V.2(b , 1)	V.2(a)	238
		V.2(b , 2)		
		V.2(b , 3)		
		V.2(b , 4)		
	Double effet-serre	V.3(b , 1)	V.3(a)	154
		V.3(b , 2)		
		V.3(b , 3)		
		V.3(b , 4)		
" FLUX DESCENDANT "	Sans effet-serre	V.4(b , 1)	V.4(a)	149
		V.4(b , 2)		
		V.4(b , 3)		
		V.4(b , 4)		
	Simple effet-serre	V.5(b , 1)	V.5(a)	196
		V.5(b , 2)		
		V.5(b , 3)		
		V.5(b , 4)		
	Double effet-serre	V.6(b , 1)	V.6(a)	132
		V.6(b , 2)		
		V.6(b , 3)		
		V.6(b , 4)		

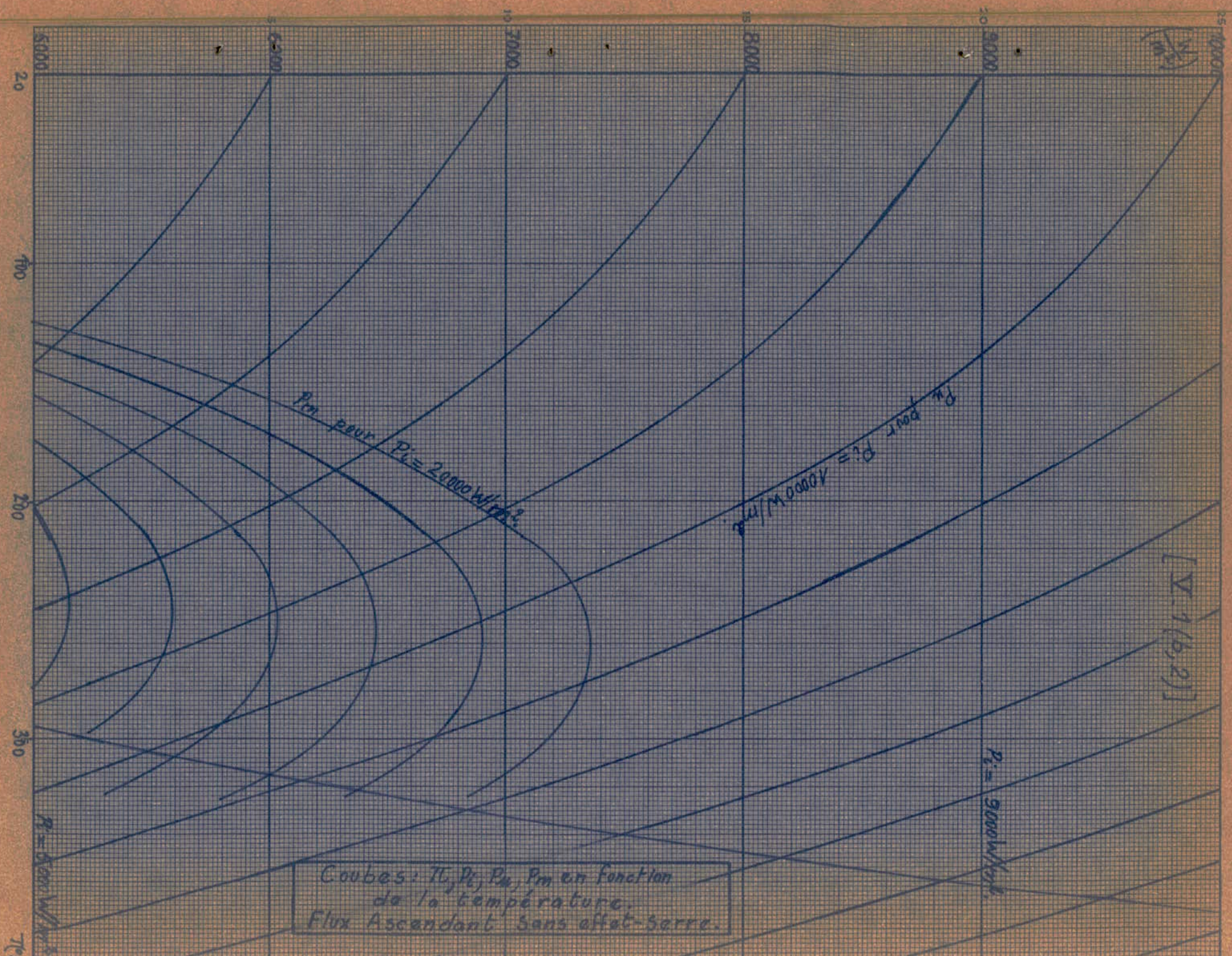
PM00 276

FLUX ASCENDANT [Y-(a)]  
 Sans Effet-Serre

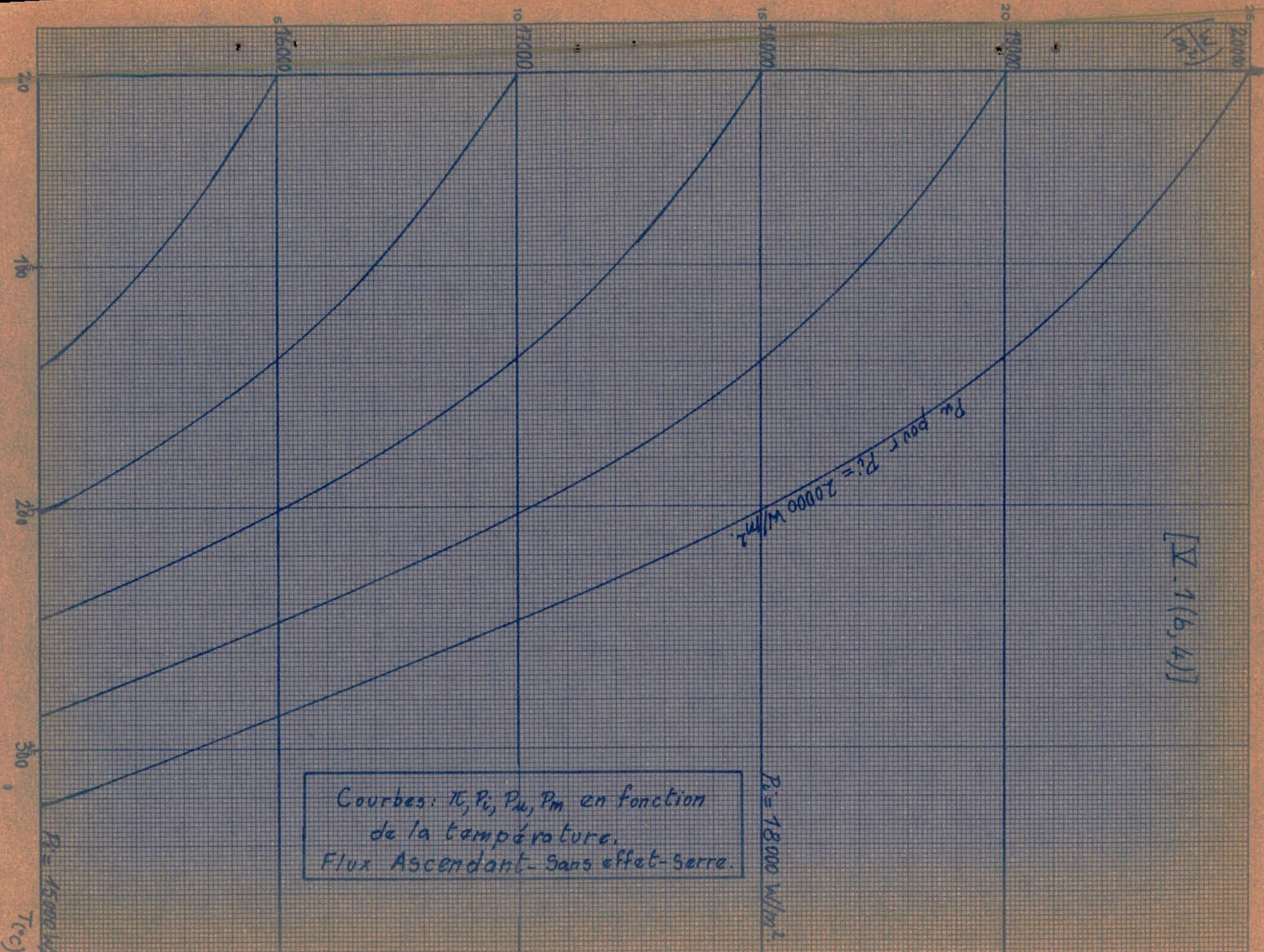
APRO P. 77  
 T. 2

T (°C)	293	327	354	362	382	388	401	416	434	446	475	488
$\theta_{00} = 1 - T_0/T$	0	0,104	0,172	0,190	0,233	0,245	0,269	0,295	0,325	0,343	0,383	0,399
TC(W/m²)	0	180	422	487	642	702	845	1130	1322	1490	1987	2315
$P_0 = 1000$ $\frac{P_m}{P_m}$	1000 0	820 85	577 100	512 97	387 90	297 72	155 42	/	/	/	/	/
$P_0 = 2000$ $\frac{P_m}{P_m}$	2000 0	1820 189	1577 272	1512 287	1387 322	1297 317	1155 310	870 257	677 220	510 175	12 5	/
$P_0 = 3000$ $\frac{P_m}{P_m}$	3000 0	2820 293	2577 445	2512 477	2387 555	2297 562	2155 582	1870 552	1677 545	1510 517	1012 387	685 272
$P_0 = 4000$ $\frac{P_m}{P_m}$	4000 0	3820 397	3577 617	3512 667	3387 787	3297 807	3155 847	2870 847	2677 870	2510 860	2012 770	1685 672
$P_0 = 5000$ $\frac{P_m}{P_m}$	5000 0	4820 501	4577 790	4512 857	4387 1020	4297 1052	4155 1115	3870 1142	3677 1195	3510 1202	3012 1152	2685 1072
$P_0 = 6000$ $\frac{P_m}{P_m}$	6000 0	5820 605	5577 962,5	5512 1047	5387 1252	5297 1297	5155 1382	4870 1437	4677 1520	4510 1545	4012 1535	3685 1472
$P_0 = 7000$ $\frac{P_m}{P_m}$	7000 0	6820 709	6577 1135	6512 1237	6387 1485	6297 1542	6155 1640	5870 1732	5677 1845	5510 1887	5012 1917	4685 1872
$P_0 = 8000$ $\frac{P_m}{P_m}$	8000 0	7820 813	7577 1307	7512 1427	7387 1717	7297 1787	7155 1917	6870 2027	6677 2170	6510 2230	6012 2300	5685 2272
$P_0 = 9000$ $\frac{P_m}{P_m}$	9000 0	8820 917	8577 1480	8512 1617	8387 1950	8297 2032	8155 2185	7870 2322	7677 2495	7510 2572	7012 2682	6685 2672
$P_0 = 10000$ $\frac{P_m}{P_m}$	10000 0	9820 1021	9577 1652	9512 1807	9387 2182	9297 2277	9155 2452	8870 2617	8677 2820	8510 2915	8012 3065	7685 3072
$P_0 = 11000$ $\frac{P_m}{P_m}$	11000 0	10820 1125	10577 1825	10512 1997	10387 2415	10297 2522	10155 2720	9870 2912	9677 3145	9510 3257	9012 3447	8685 3465
$P_0 = 12000$ $\frac{P_m}{P_m}$	12000 0	11820 1229	11577 1997	11512 2187	11387 2647	11297 2767	11155 2987	10870 3207	10677 3470	10510 3600	10012 3840	9685 3872
$P_0 = 13000$ $\frac{P_m}{P_m}$	13000 0	12820 1333	12577 2170	12512 2377	12387 2880	12297 3012	12155 3255	11870 3502	11677 3795	11510 3942	11012 4212	10685 4272
$P_0 = 14000$ $\frac{P_m}{P_m}$	14000 0	13820 1437	13577 2342	13512 2567	13387 3113	13297 3257	13155 3524	12870 3797	12677 4120	12510 4285	12012 4595	11685 4671
$P_0 = 15000$ $\frac{P_m}{P_m}$	15000 0	14820 1541	14577 2514	14512 2757	14387 3346	14297 3502	14155 3793	13870 4092	13677 4445	13510 4628	13012 4978	12685 5070
$P_0 = 16000$ $\frac{P_m}{P_m}$	16000 0	15820 1645	15577 2686	15512 2947	15387 3579	15297 3747	15155 4062	14870 4387	14677 4770	14510 4971	14012 5361	13685 5468
$P_0 = 17000$ $\frac{P_m}{P_m}$	17000 0	16820 1749	16577 2858	16512 3137	16387 3812	16297 3992	16155 4331	15870 4682	15677 5095	15510 5314	15012 5744	14685 5868
$P_0 = 18000$ $\frac{P_m}{P_m}$	18000 0	17820 1853	17577 3030	17512 3327	17387 4045	17297 4237	17155 4600	16870 4977	16677 5420	16510 5657	16012 6127	15685 6267
$P_0 = 19000$ $\frac{P_m}{P_m}$	19000 0	18820 1957	18577 3202	18512 3517	18387 4278	18297 4482	18155 4869	17870 5272	17677 5745	17510 6000	17012 6510	16685 6666
$P_0 = 20000$ $\frac{P_m}{P_m}$	20000 0	19820 2061	19577 3374	19512 3707	19387 4541	19297 4727	19155 5138	18870 5567	18677 6070	18510 6343	18012 6893	17685 7065







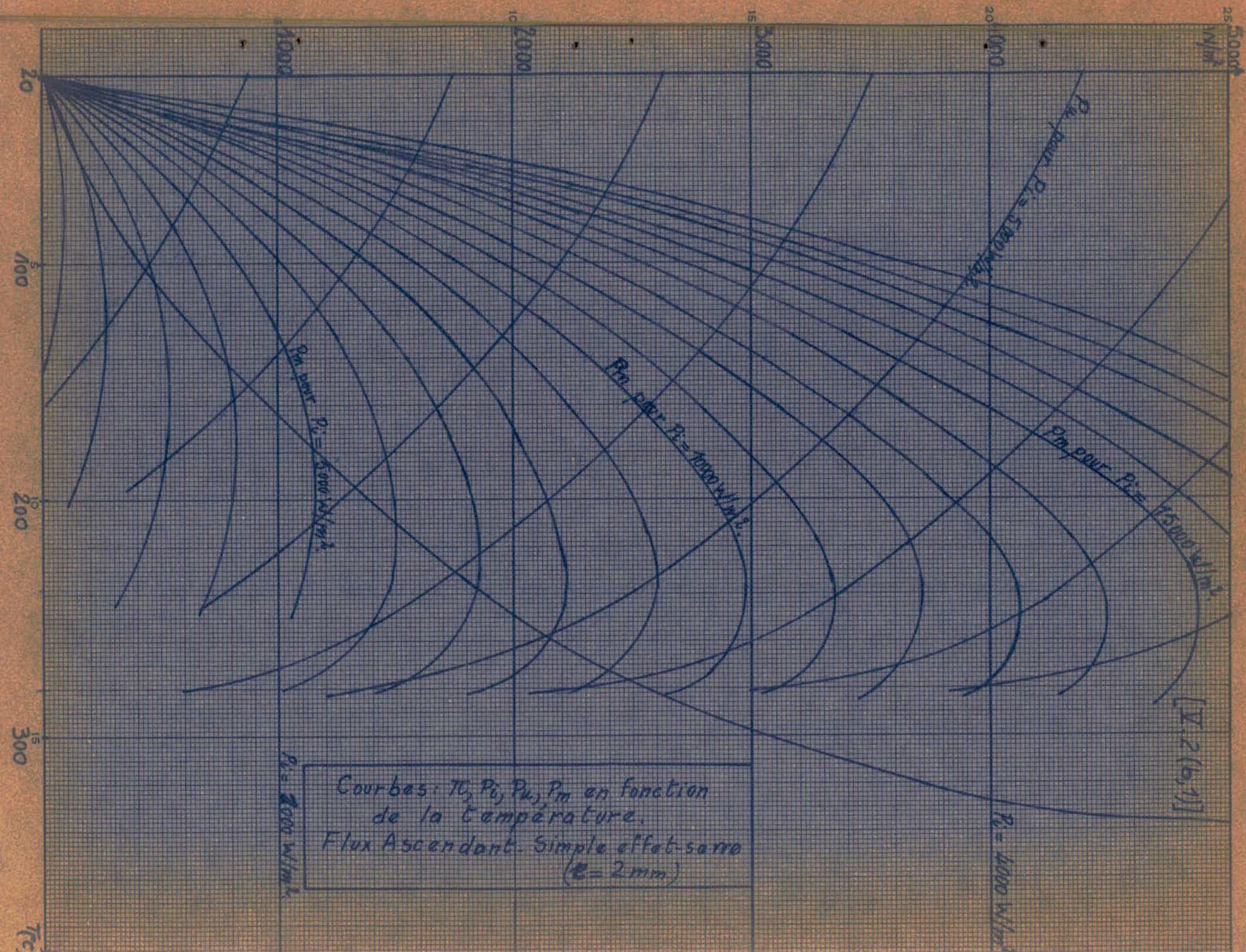


[Σ. 1(b, 4)]

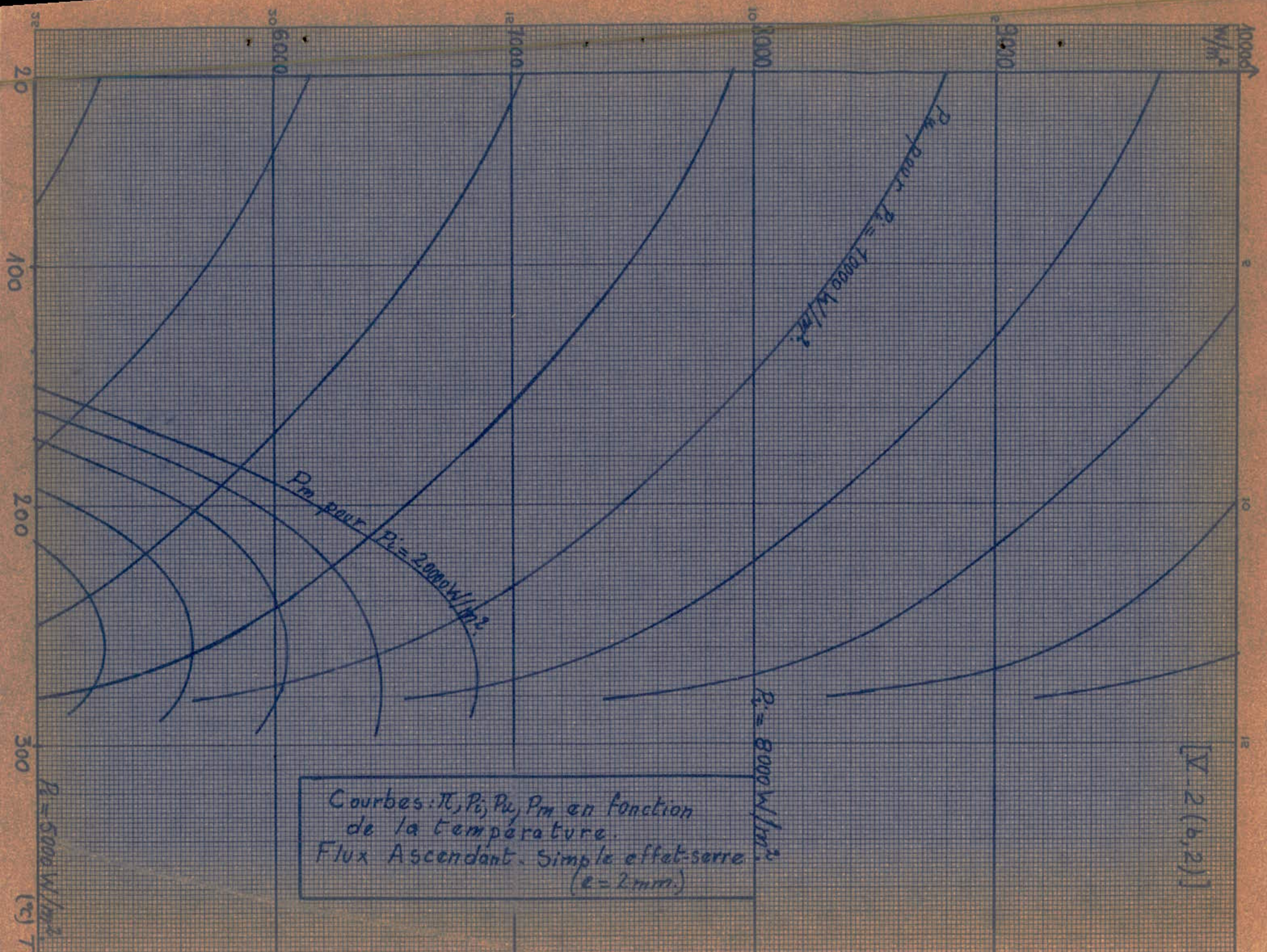
FLUX ASCENDANT

Simple effet-serre (1 Verre e=2mm)

T(°K)		293	333	369	388	398	412	437	456	511
$\theta_e = 1 - T_o/T$		0	0,120	0,206	0,245	0,264	0,289	0,330	0,358	0,427
$\Pi(W/m^2)$		0	180	400	560	625	788	988	1225	1838
$P_i=1000$	$P_{u_i}$	880	700	480	320	255	92			
	$P_{m_i}$	0	84	99	78	67	26			
$P_i=2000$	$P_{u_i}$	1760	1580	1360	1200	1135	972	772	535	
	$P_{m_i}$	0	190	280	294	299	280	255	192	
$P_i=3000$	$P_{u_i}$	2640	2460	2240	2080	2015	1852	1652	1415	802
	$P_{m_i}$	0	296	461	510	531	534	545	507	342
$P_i=4000$	$P_{u_i}$	3520	3340	3120	2960	2895	2732	2532	2295	1682
	$P_{m_i}$	0	402	642	726	763	788	835	822	718
$P_i=5000$	$P_{u_i}$	4400	4220	4000	3840	3775	3612	3412	3175	2562
	$P_{m_i}$	0	508	823	942	995	1042	1125	1137	1094
$P_i=6000$	$P_{u_i}$	5280	5100	4880	4720	4655	4492	4292	4055	3442
	$P_{m_i}$	0	614	1004	1158	1227	1296	1415	1452	1470
$P_i=7000$	$P_{u_i}$	6160	5980	5760	5600	5535	5372	5172	4935	4322
	$P_{m_i}$	0	720	1185	1374	1459	1550	1705	1767	1846
$P_i=8000$	$P_{u_i}$	7040	6860	6640	6480	6415	6252	6052	5815	5202
	$P_{m_i}$	0	826	1366	1590	1691	1804	1995	2082	2222
$P_i=9000$	$P_{u_i}$	7920	7740	7520	7360	7295	7132	6932	6695	6082
	$P_{m_i}$	0	932	1547	1806	1923	2058	2285	2397	2598
$P_i=10000$	$P_{u_i}$	8800	8620	8400	8240	8175	8012	7812	7575	6962
	$P_{m_i}$	0	1038	1728	2022	2155	2312	2575	2712	2974
$P_i=11000$	$P_{u_i}$	9680	9500	9280	9120	9055	8892	8692	8455	7842
	$P_{m_i}$	0	1144	1909	2238	2387	2565	2865	3027	3350
$P_i=12000$	$P_{u_i}$	10560	10380	10160	10000	9935	9772	9572	9335	8722
	$P_{m_i}$	0	1250	2090	2454	2619	2820	3155	3342	3726
$P_i=13000$	$P_{u_i}$	11440	11260	11040	10880	10815	10652	10452	10215	9602
	$P_{m_i}$	0	1356	2271	2670	2851	3074	3445	3972	4102
$P_i=14000$	$P_{u_i}$	12320	12140	11920	11760	11695	11532	11332	11095	10482
	$P_{m_i}$	0	1462	2452	2886	3083	3328	3735	4287	4478
$P_i=15000$	$P_{u_i}$	13200	13020	12800	12640	12575	12412	12212	12055	11442
	$P_{m_i}$	0	1568	2633	3102	3315	3582	4025	4602	4854
$P_i=16000$	$P_{u_i}$	14080	13900	13680	13520	13455	13292	13092	12935	12322
	$P_{m_i}$	0	1674	2814	3318	3547	3836	4315	4917	5230
$P_i=17000$	$P_{u_i}$	14960	14780	14560	14400	14335	14172	13972	13735	13122
	$P_{m_i}$	0	1780	2995	3534	3779	4090	4605	5287	5606
$P_i=18000$	$P_{u_i}$	15840	15660	15440	15280	15215	15032	14852	14615	14002
	$P_{m_i}$	0	1886	3176	3750	4011	4344	4895	5632	5982
$P_i=19000$	$P_{u_i}$	16720	16540	16320	16160	16095	15932	15732	15495	14882
	$P_{m_i}$	0	1992	3357	3966	4243	4598	5185	5947	6358
$P_i=20000$	$P_{u_i}$	17600	17420	17200	17040	16975	16812	16612	16375	15762
	$P_{m_i}$	0	2098	3538	4182	4475	4852	5475	6262	6734

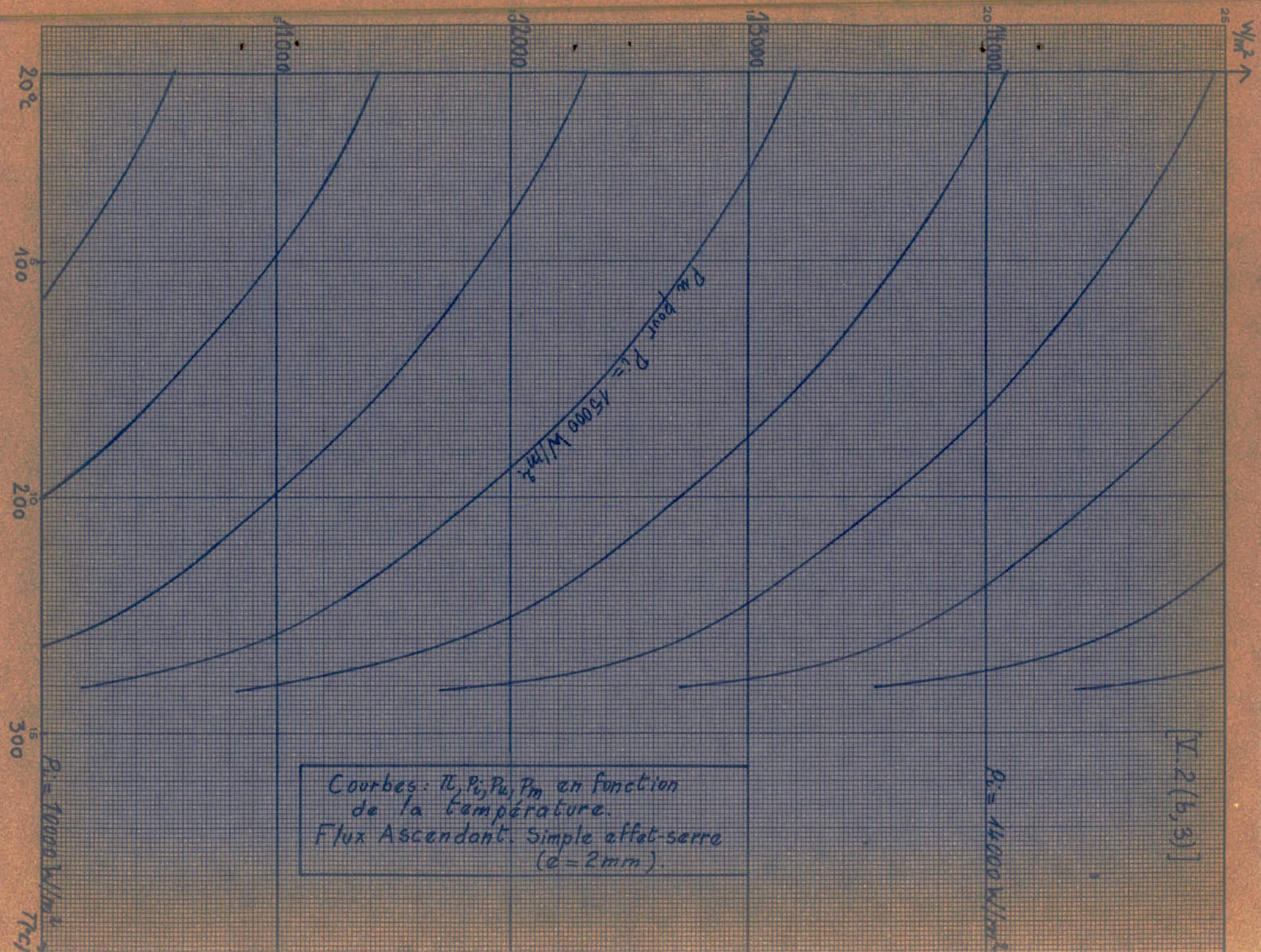


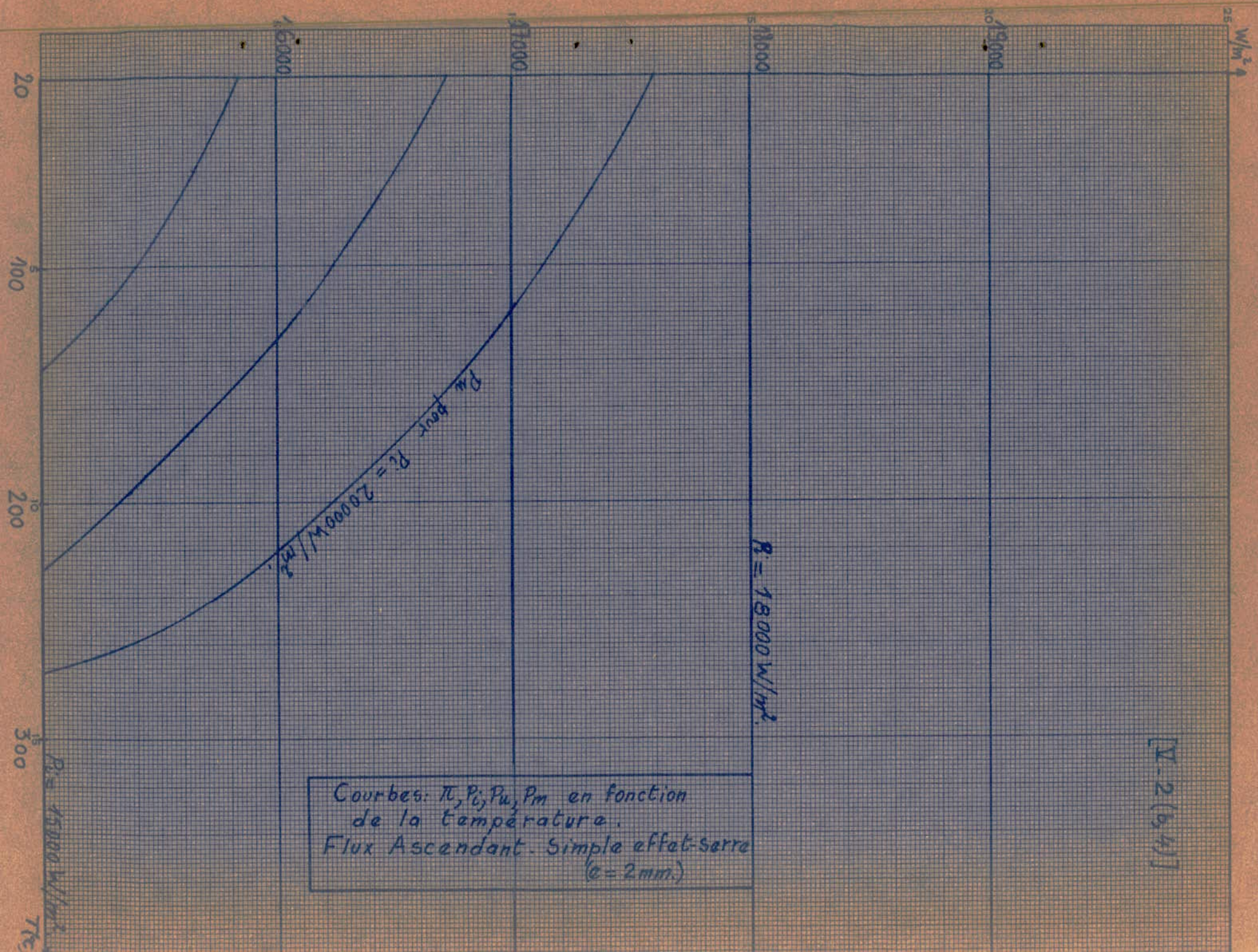




Courbes:  $P_i, P_u, P_m$  en fonction de la température.  
 Flux Ascendant. Simple effet-serre.  
 ( $e = 2mm$ )

[X-2 (6,2)]

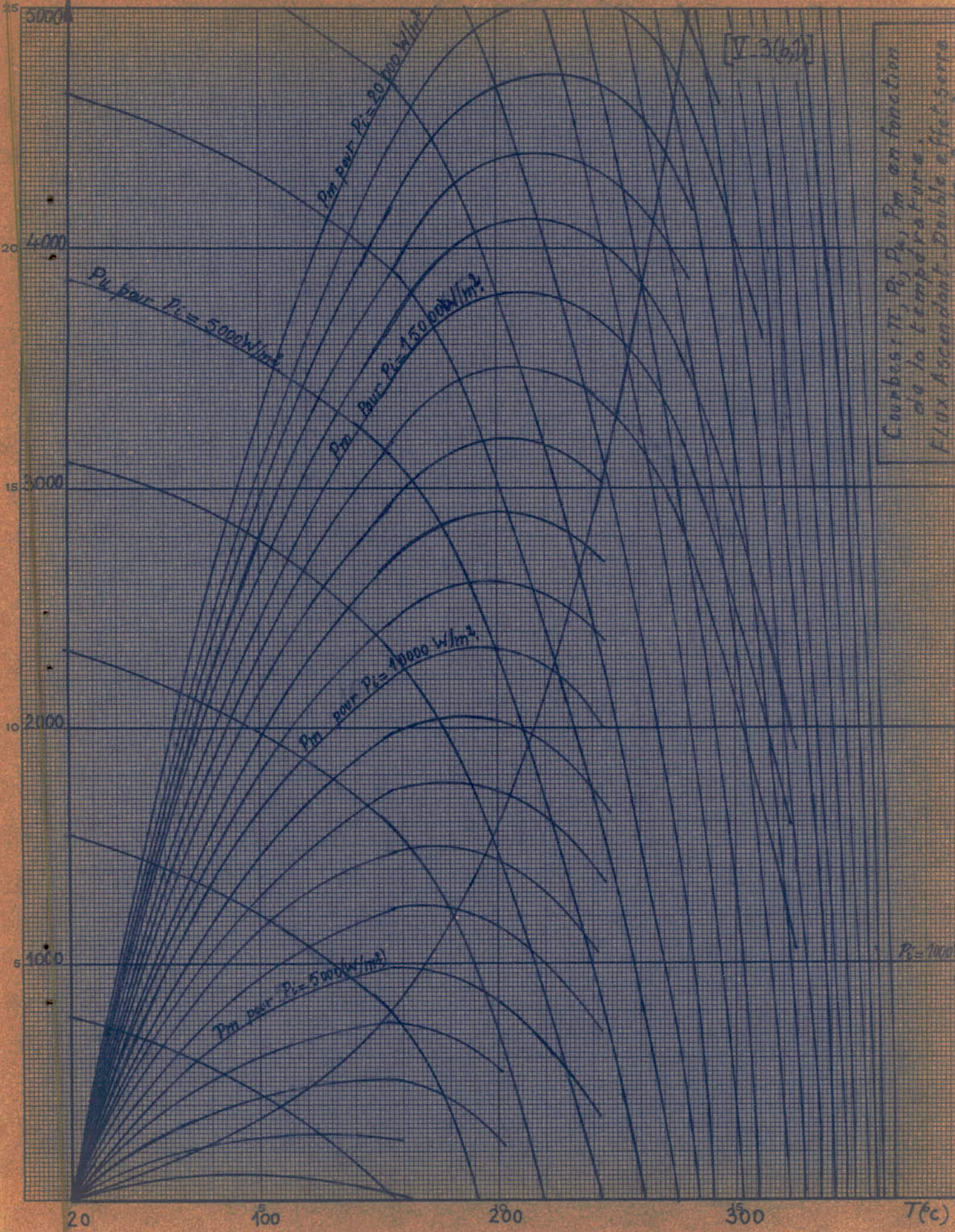




[V-2(b,4)]

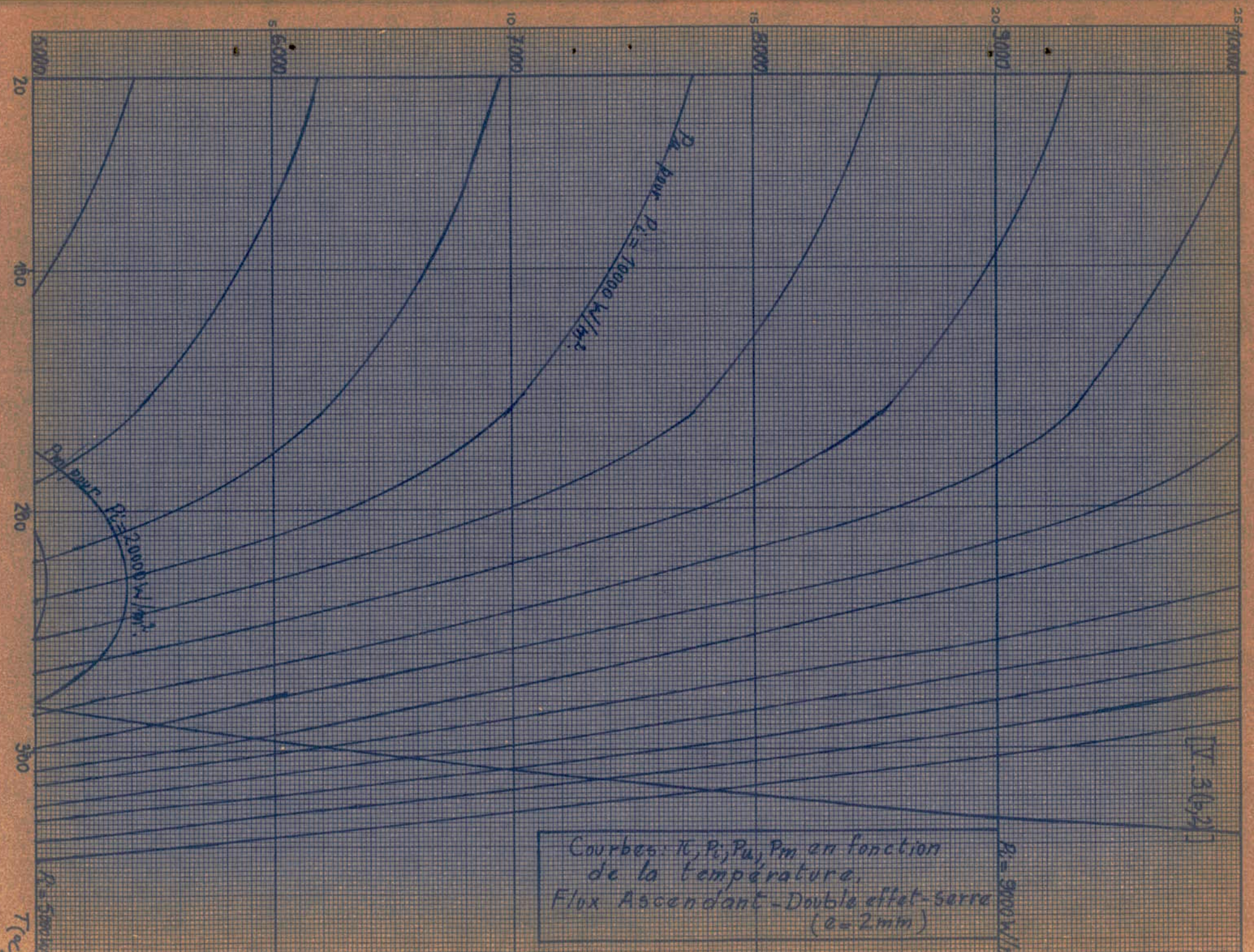
Double effet-serre (2 Verres  $e=2\text{ mm}$ )

T (°K)	293	338	388	394	406	414	427
$\theta_e = 1 - T_g/T$	0	0,133	0,245	0,256	0,278	0,292	0,314
$\tau_c$ (W)	0	180	400	495	585	625	725
$P_i = 1000$	$P_u$	775	595	375	280	190	150
	$P_m$	0	79	92	72	53	44
$P_i = 2000$	$P_u$	1550	1370	1150	1055	965	825
	$P_m$	0	182	282	270	268	259
$P_i = 3000$	$P_u$	2325	2145	1925	1830	1740	1600
	$P_m$	0	285	472	468	483	496
$P_i = 4000$	$P_u$	3100	2920	2700	2605	2515	2375
	$P_m$	0	388	662	666	698	722
$P_i = 5000$	$P_u$	3875	3695	3475	3380	3290	3150
	$P_m$	0	491	852	864	913	948
$P_i = 6000$	$P_u$	4650	4470	4250	4155	4065	3925
	$P_m$	0	594	1042	1062	1128	1174
$P_i = 7000$	$P_u$	5425	5245	5025	4930	4840	4700
	$P_m$	0	697	1232	1260	1343	1400
$P_i = 8000$	$P_u$	6200	6020	5800	5705	5615	5475
	$P_m$	0	800	1422	1458	1558	1626
$P_i = 9000$	$P_u$	6975	6795	6575	6480	6390	6250
	$P_m$	0	903	1612	1656	1773	1852
$P_i = 10000$	$P_u$	7750	7570	7350	7255	7165	7025
	$P_m$	0	1006	1802	1854	1988	2078
$P_i = 11000$	$P_u$	8525	8345	8125	8030	7940	7800
	$P_m$	0	1109	1992	2052	2203	2304
$P_i = 12000$	$P_u$	9300	9120	8900	8805	8715	8575
	$P_m$	0	1212	2182	2250	2418	2530
$P_i = 13000$	$P_u$	10075	9895	9675	9580	9490	9350
	$P_m$	0	1315	2372	2448	2633	2756
$P_i = 14000$	$P_u$	10850	10670	10450	10355	10265	10125
	$P_m$	0	1418	2562	2646	2848	2982
$P_i = 15000$	$P_u$	11625	11445	11225	11130	11040	10900
	$P_m$	0	1521	2752	2844	3063	3208
$P_i = 16000$	$P_u$	12400	12220	12000	11905	11815	11675
	$P_m$	0	1624	2942	3042	3278	3434
$P_i = 17000$	$P_u$	13175	12995	12775	12680	12590	12450
	$P_m$	0	1727	3132	3240	3493	3660
$P_i = 18000$	$P_u$	13950	13770	13550	13455	13365	13225
	$P_m$	0	1830	3322	3438	3708	3886
$P_i = 19000$	$P_u$	14725	14545	14325	14230	14140	14000
	$P_m$	0	1933	3512	3636	3923	4112
$P_i = 20000$	$P_u$	15500	15320	15100	15005	14915	14775
	$P_m$	0	2036	3702	3834	4138	4338



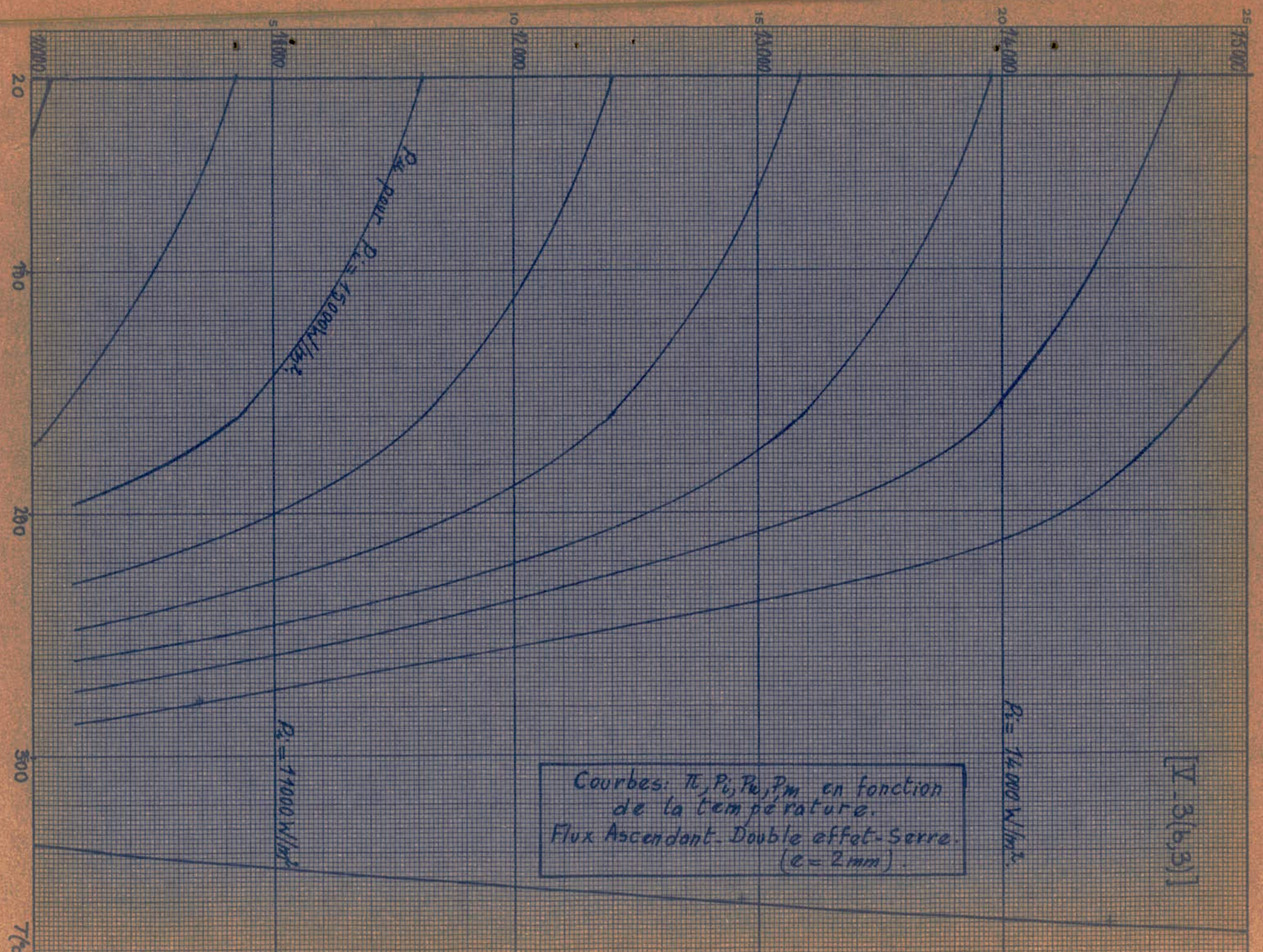
Courbes  $P_i, P_j, P_m$  en fonction de la température.  
Flux Ascendant. Double effet-serre.

$P_i = 10000$



Courbes:  $T, P_i, P_{ax}, P_m$  en fonction de la température.  
 Flux Ascendant - Double effet-serre  
 ( $\phi = 2 \text{ mm}$ )

[IV. 3 (b.2)]



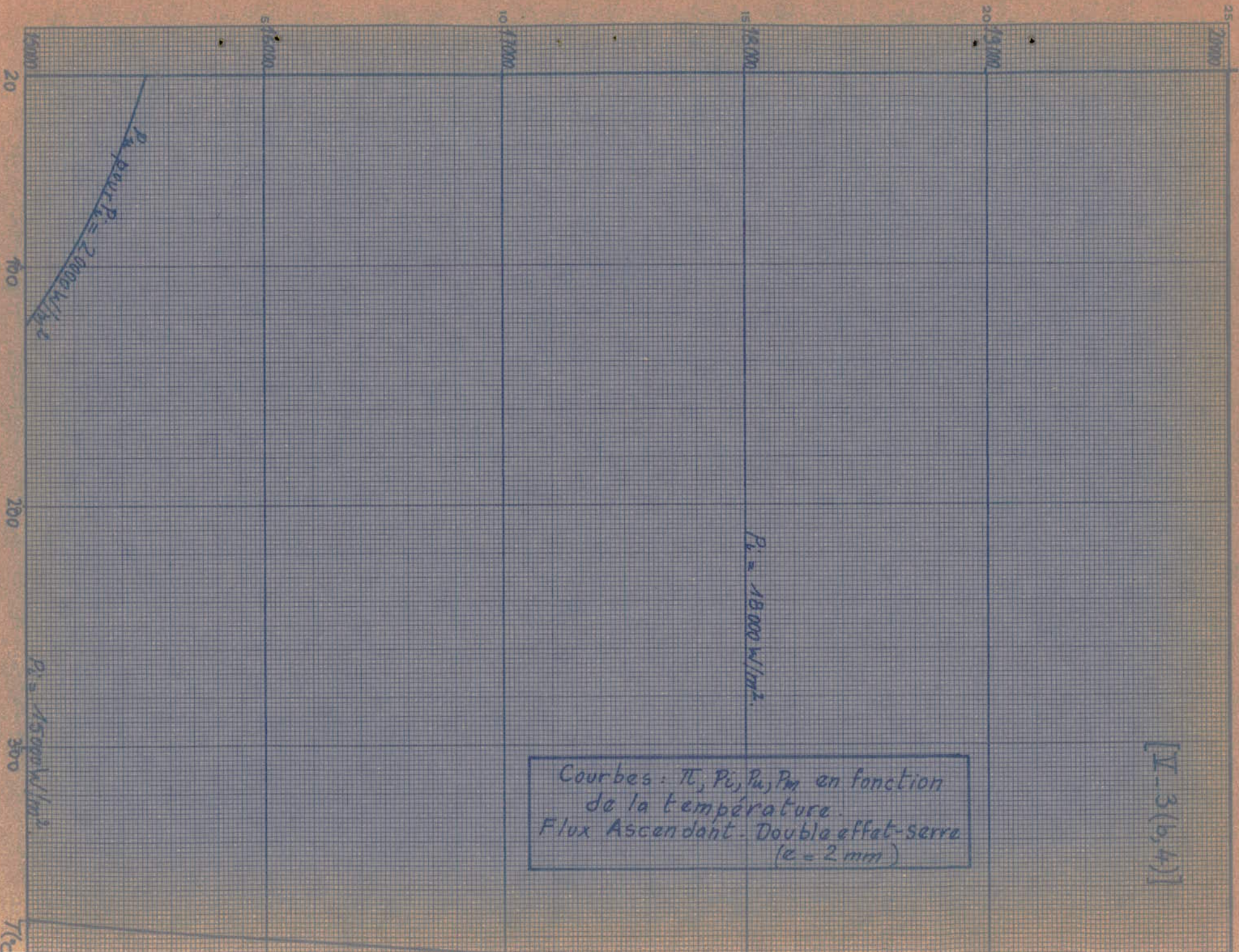
$P_i$  pour  $P_i = 15000 \text{ W/m}^2$

$P_i = 11000 \text{ W/m}^2$

$P_i = 14000 \text{ W/m}^2$

Courbes:  $T_i, P_i, P_0, P_m$  en fonction de la température.  
 Flux Ascendant - Double effet - Serre.  
 ( $e = 2 \text{ mm}$ )

[V-3(b,3)]



Courbes :  $\pi, P_i, P_u, P_m$  en fonction  
 de la température.  
 Flux Ascendant - Double effet-serre  
 ( $e = 2 \text{ mm}$ )

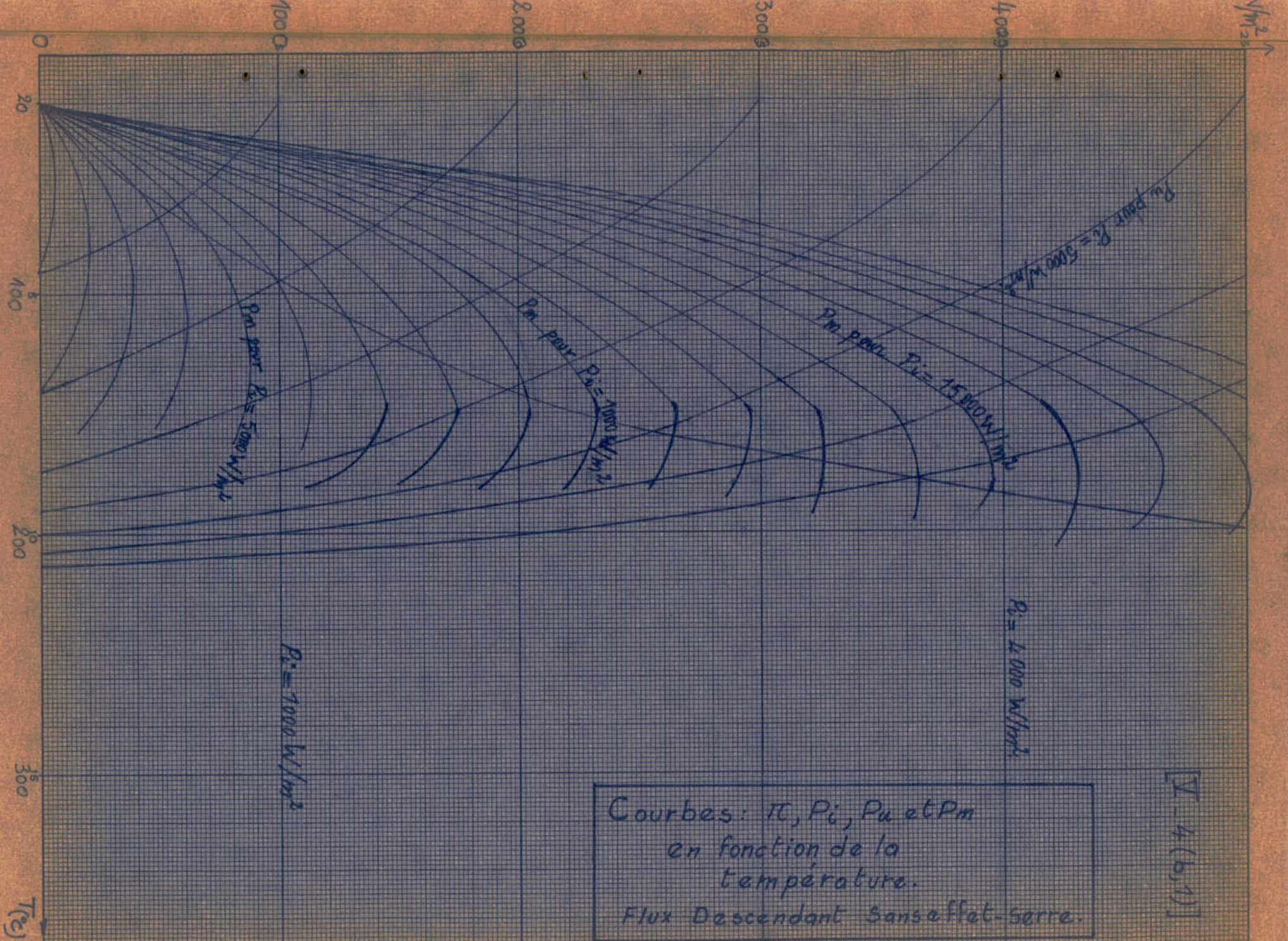
[VI-3(b,4)]

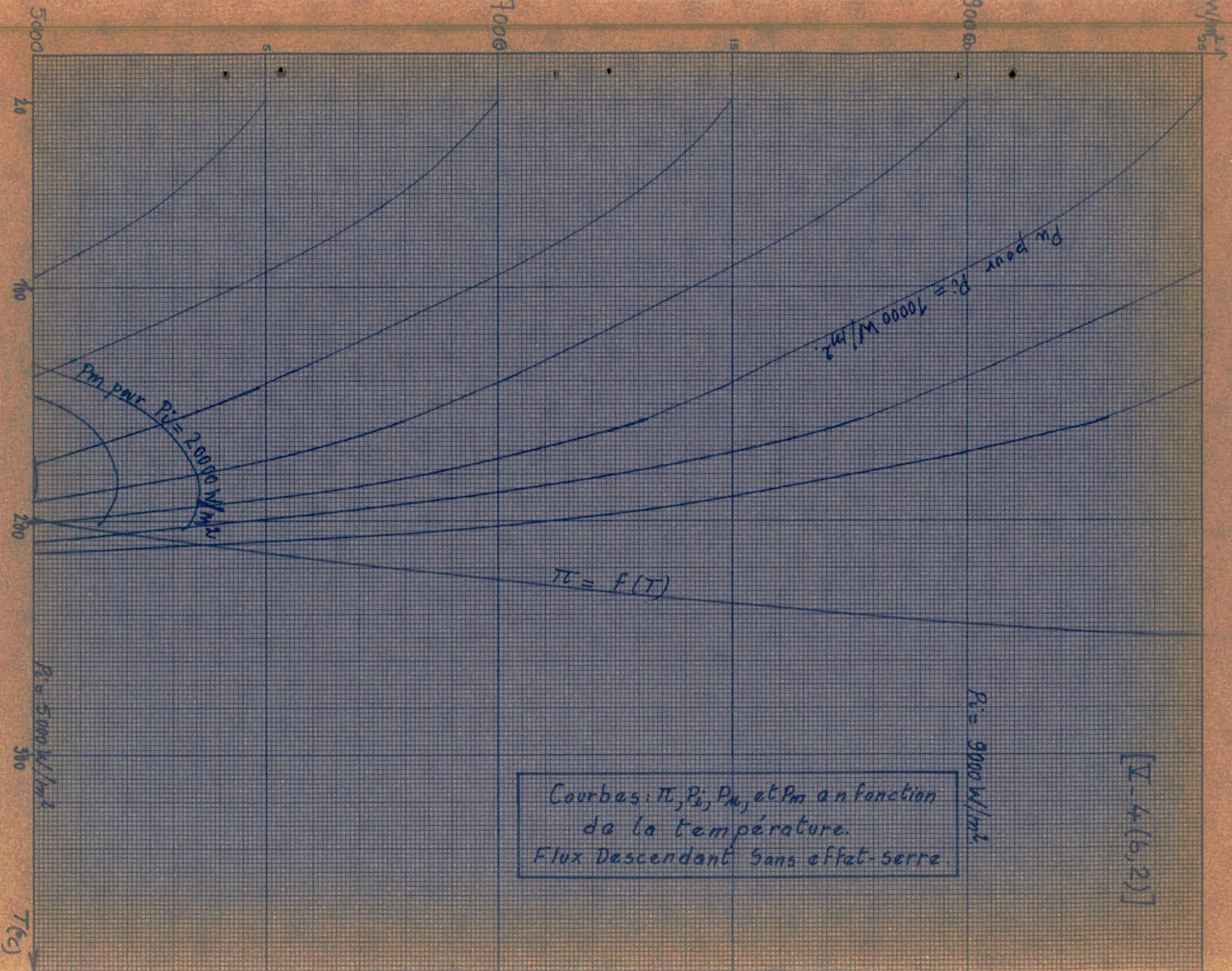


## FLUX DESCENDANT

Sans effet-serre

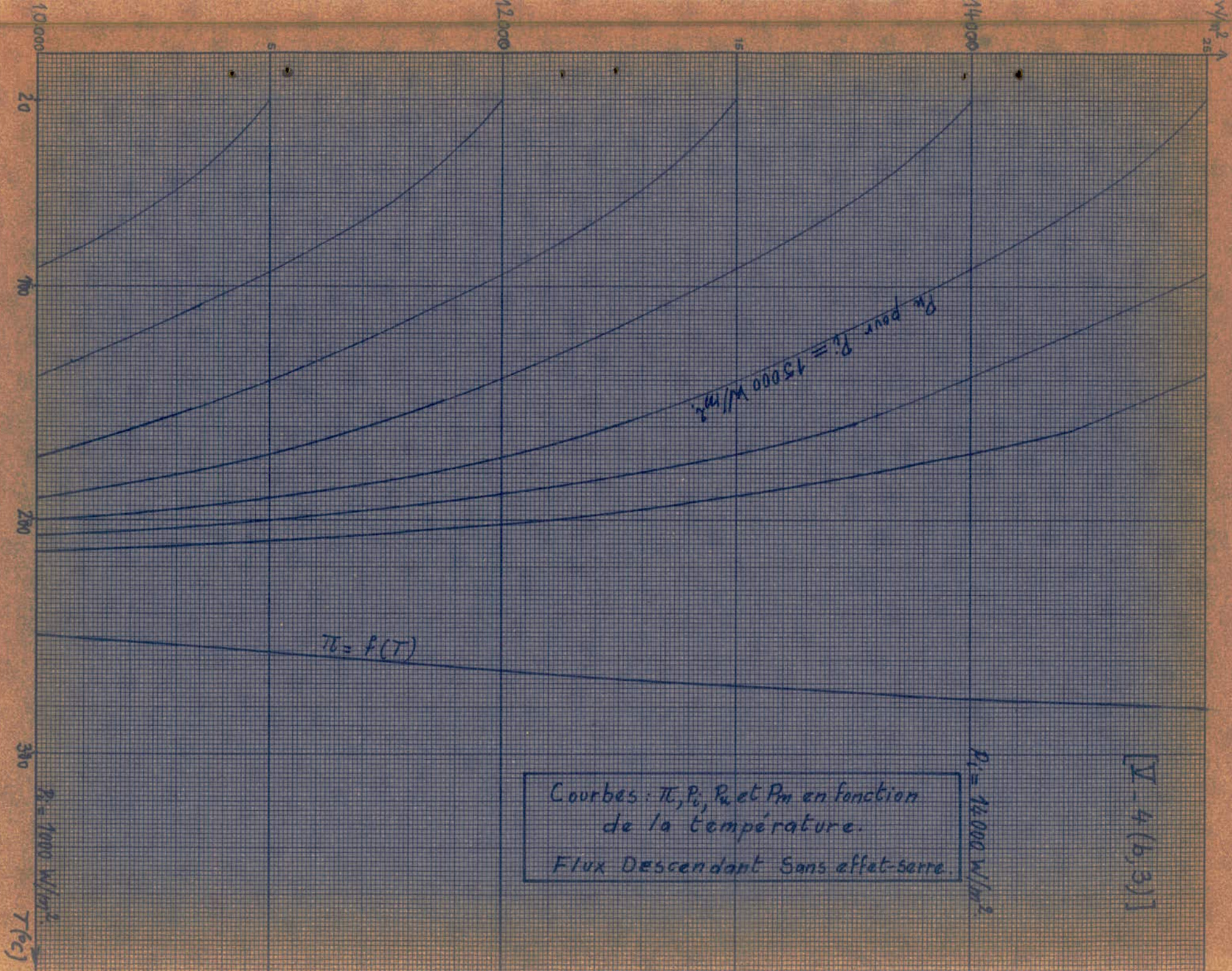
T (°K)	293	315	329	345	360	382	404	422
$\theta_e = 1 - T_0/T$	0	0,07	0,109	0,151	0,186	0,233	0,275	0,306
$\pi (W/m^2)$	0	180	405	625	900	1288	1808	2258
$P_i = 1000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 820 \\ 57 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 595 \\ 65 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 375 \\ 57 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 100 \\ 19 \end{matrix}$	/	/	/
$P_i = 2000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1820 \\ 127 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1595 \\ 174 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1375 \\ 208 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1100 \\ 205 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 712 \\ 166 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 192 \\ 53 \end{matrix}$	/
$P_i = 3000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2820 \\ 197 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2595 \\ 283 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2375 \\ 359 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2100 \\ 391 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1712 \\ 399 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1192 \\ 328 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 742 \\ 227 \end{matrix}$
$P_i = 4000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3820 \\ 267 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3595 \\ 392 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3375 \\ 510 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3100 \\ 577 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2712 \\ 632 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2192 \\ 603 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1742 \\ 533 \end{matrix}$
$P_i = 5000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4820 \\ 337 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4595 \\ 501 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4375 \\ 661 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4100 \\ 763 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3712 \\ 865 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3192 \\ 878 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 2742 \\ 839 \end{matrix}$
$P_i = 6000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5820 \\ 407 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5595 \\ 610 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5375 \\ 812 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5100 \\ 949 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4712 \\ 1098 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4192 \\ 1153 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 3742 \\ 1145 \end{matrix}$
$P_i = 7000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6820 \\ 477 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6595 \\ 719 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6375 \\ 963 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6100 \\ 1135 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5712 \\ 1331 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5192 \\ 1428 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 4742 \\ 1451 \end{matrix}$
$P_i = 8000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7820 \\ 547 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7595 \\ 828 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7375 \\ 1114 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7100 \\ 1321 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6712 \\ 1564 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6192 \\ 1703 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5742 \\ 1757 \end{matrix}$
$P_i = 9000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8820 \\ 617 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8595 \\ 937 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8375 \\ 1265 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8100 \\ 1507 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7712 \\ 1797 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7192 \\ 1978 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6742 \\ 2063 \end{matrix}$
$P_i = 10000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9820 \\ 687 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9595 \\ 1046 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9375 \\ 1416 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9100 \\ 1693 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8712 \\ 2030 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8192 \\ 2253 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7742 \\ 2369 \end{matrix}$
$P_i = 11000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10820 \\ 757 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10595 \\ 1155 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10375 \\ 1567 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10100 \\ 1879 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9712 \\ 2263 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9192 \\ 2528 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8742 \\ 2675 \end{matrix}$
$P_i = 12000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11820 \\ 827 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11595 \\ 1264 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11375 \\ 1718 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11100 \\ 2065 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10712 \\ 2496 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10192 \\ 2803 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 9742 \\ 2981 \end{matrix}$
$P_i = 13000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12820 \\ 897 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12595 \\ 1373 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12375 \\ 1869 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12100 \\ 2251 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11712 \\ 2729 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11192 \\ 3078 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 10742 \\ 3287 \end{matrix}$
$P_i = 14000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13820 \\ 967 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13595 \\ 1482 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13375 \\ 2020 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13100 \\ 2437 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12712 \\ 2962 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12192 \\ 3353 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 11742 \\ 3593 \end{matrix}$
$P_i = 15000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14820 \\ 1037 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14595 \\ 1591 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14375 \\ 2171 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14100 \\ 2623 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13712 \\ 3195 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13192 \\ 3628 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12742 \\ 3899 \end{matrix}$
$P_i = 16000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15820 \\ 1107 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15595 \\ 1700 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15375 \\ 2322 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15100 \\ 2809 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14712 \\ 3428 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14192 \\ 3903 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 13742 \\ 4205 \end{matrix}$
$P_i = 17000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16820 \\ 1177 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16595 \\ 1809 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16375 \\ 2473 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16100 \\ 2995 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15712 \\ 3661 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15192 \\ 4178 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 14742 \\ 4511 \end{matrix}$
$P_i = 18000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17820 \\ 1247 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17595 \\ 1918 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17375 \\ 2624 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17100 \\ 3181 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16712 \\ 3894 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16192 \\ 4453 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 15742 \\ 4817 \end{matrix}$
$P_i = 19000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 19000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18820 \\ 1317 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18595 \\ 2027 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18375 \\ 2775 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18100 \\ 3367 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17712 \\ 4127 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17192 \\ 4728 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 16742 \\ 5123 \end{matrix}$
$P_i = 20000$ $\begin{matrix} P_u \\ P_m \end{matrix}$	$\begin{matrix} 20000 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 19820 \\ 1387 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 19595 \\ 2136 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 19375 \\ 2926 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 19100 \\ 3553 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18712 \\ 4360 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 18192 \\ 5003 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 17742 \\ 5429 \end{matrix}$

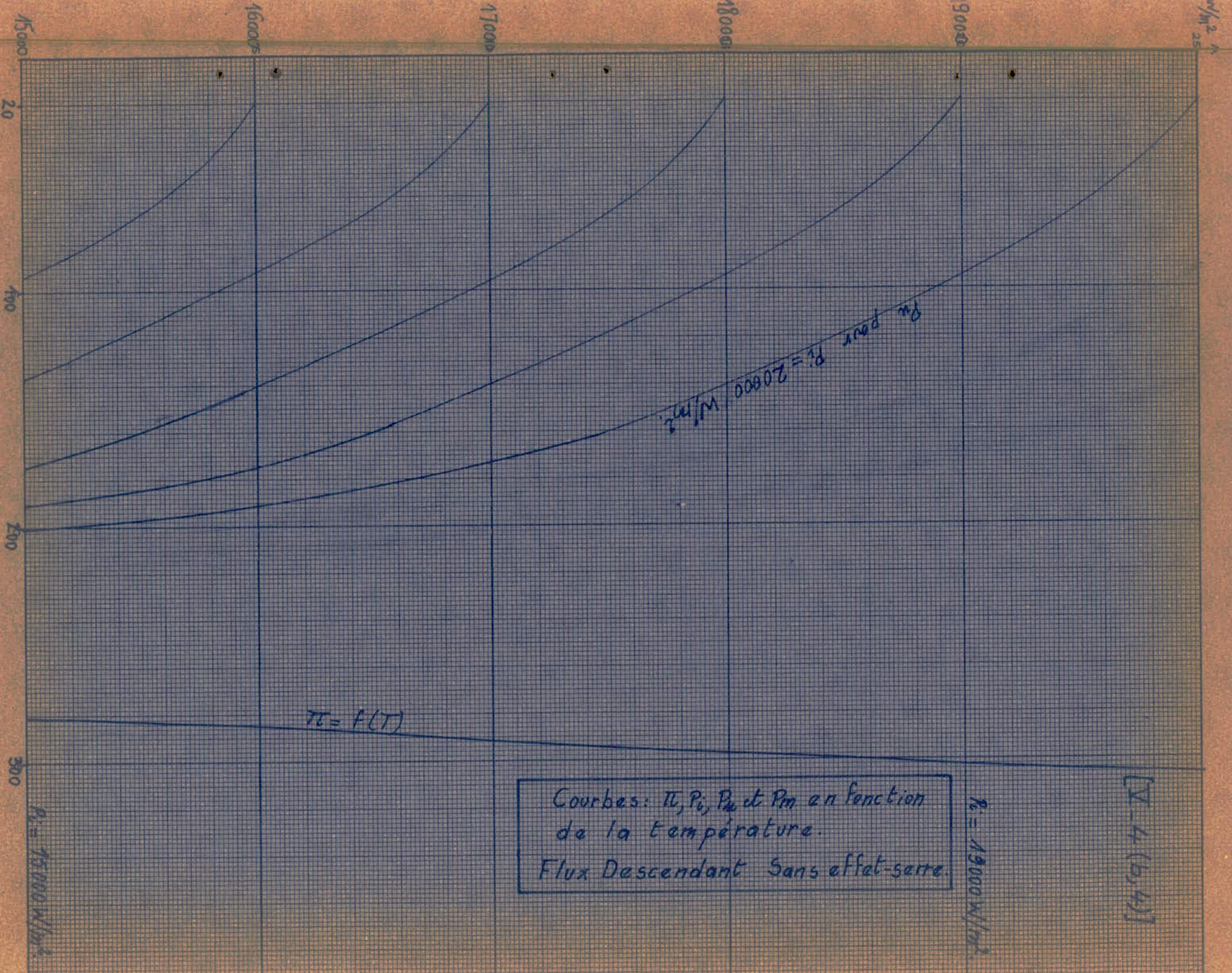




Courbes:  $\pi$ ,  $P_i$ ,  $P_m$ , et  $P_m$  en fonction  
 de la température.  
 Flux descendant sans effet-serre.

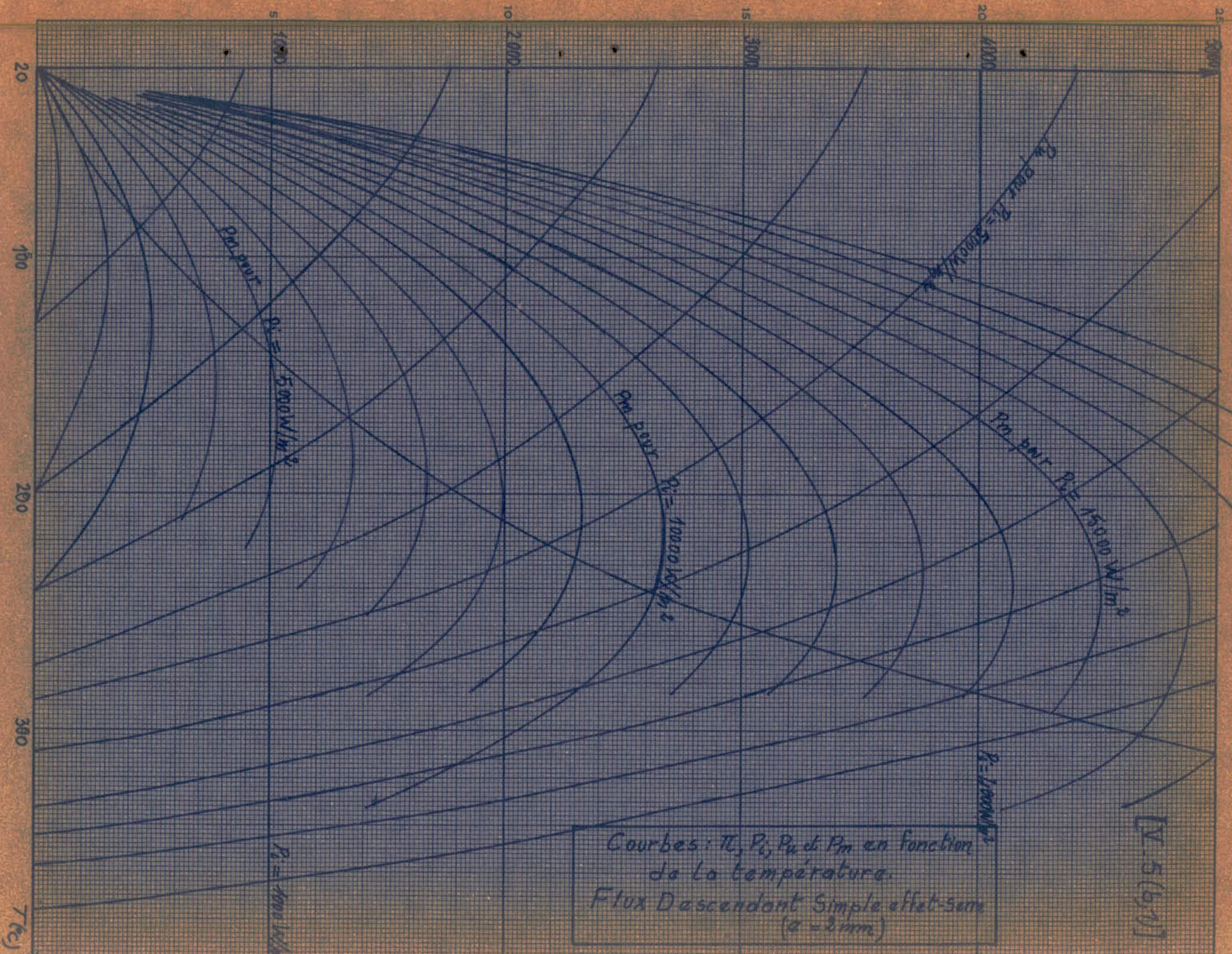
[I-4.(b,2)]





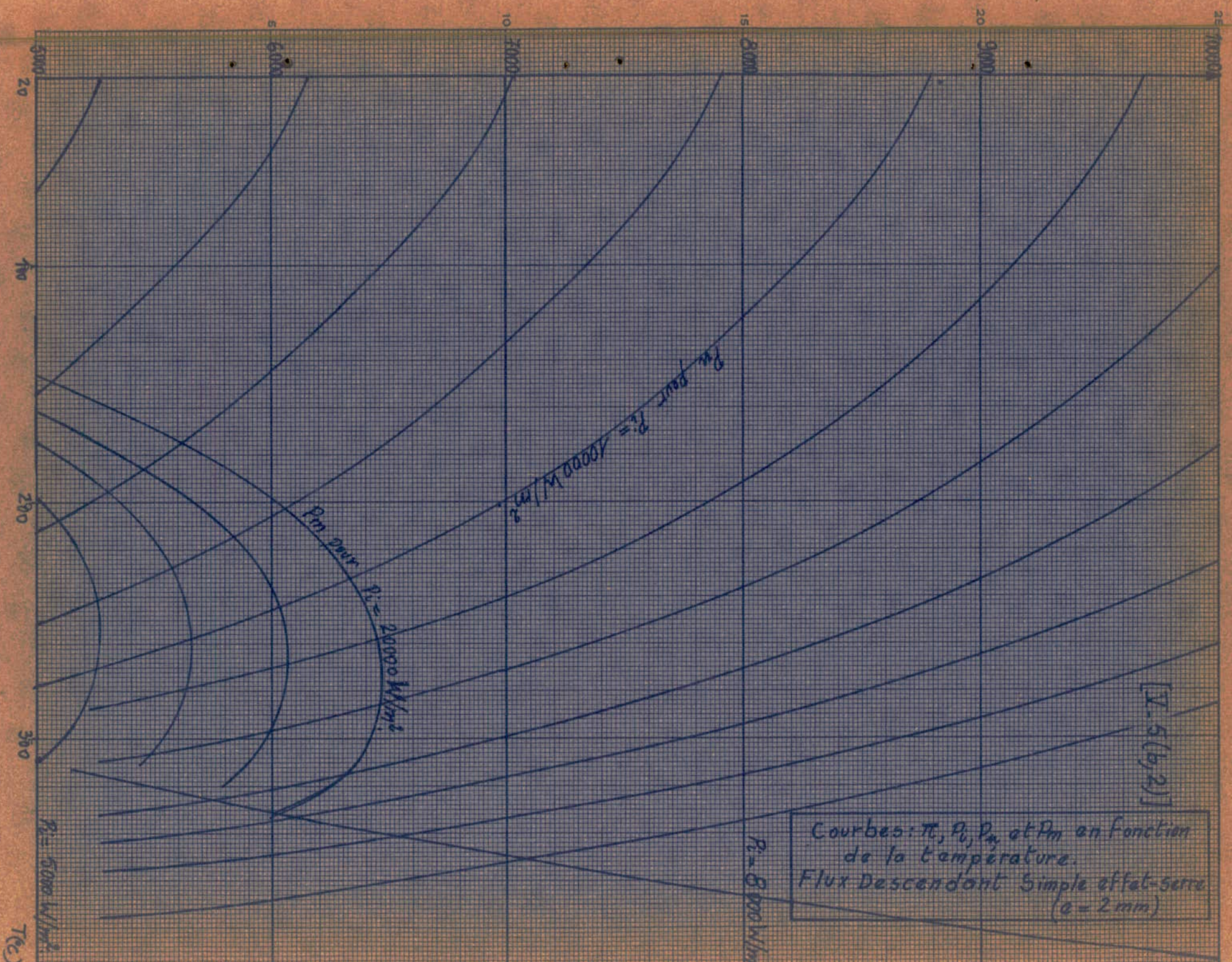
FLUX DESCENDANT  
Simple Effet-Serre (1 Verre de 2mm)

$T$ ( $^{\circ}K$ )	293	322	352	377	405	410	432	469	
$\theta = 1 - T_0/T$	0	0,09	0,168	0,223	0,276	0,285	0,322	0,375	
$\pi$ ( $W/m^2$ )	0	150	393	625	900	970	1225	1733	
$P_i = 1000$	$P_{iw}$ $P_m$	880 0	730 66	487 82	255 57	/	/	/	
$P_i = 2000$	$P_{iw}$ $P_m$	1760 0	1610 145	1367 230	1135 253	860 237	790 225	535 172	27 10
$P_i = 3000$	$P_{iw}$ $P_m$	2640 0	2490 224	2247 378	2015 449	1740 480	1670 476	1415 455	907 340
$P_i = 4000$	$P_{iw}$ $P_m$	3520 0	3370 303	3127 526	2895 645	2620 723	2550 727	2295 738	1787 670
$P_i = 5000$	$P_{iw}$ $P_m$	4400 0	4250 382	4007 674	3775 841	3500 966	3430 978	3175 1021	2667 1000
$P_i = 6000$	$P_{iw}$ $P_m$	5280 0	5130 461	4887 822	4655 1037	4380 1209	4310 1229	4055 1304	3547 1330
$P_i = 7000$	$P_{iw}$ $P_m$	6160 0	6010 540	5767 970	5535 1233	5260 1452	5190 1480	4935 1587	4427 1660
$P_i = 8000$	$P_{iw}$ $P_m$	7040 0	6890 619	6647 1118	6415 1429	6140 1695	6070 1731	5815 1870	5307 1990
$P_i = 9000$	$P_{iw}$ $P_m$	7920 0	7770 698	7527 1266	7295 1625	7020 1938	6950 1982	6695 2153	6187 2320
$P_i = 10000$	$P_{iw}$ $P_m$	8800 0	8650 777	8407 1414	8175 1821	7900 2181	7830 2233	7575 2436	7067 2650
$P_i = 11000$	$P_{iw}$ $P_m$	9680 0	9530 856	9287 1562	9055 2017	8780 2424	8710 2484	8455 2719	7947 2980
$P_i = 12000$	$P_{iw}$ $P_m$	10560 0	10410 935	10167 1710	9935 2213	9660 2667	9590 2735	9335 3002	8827 3310
$P_i = 13000$	$P_{iw}$ $P_m$	11440 0	11290 1014	11047 1858	10815 2409	10540 2910	10470 2986	10215 3285	9707 3640
$P_i = 14000$	$P_{iw}$ $P_m$	12320 0	12170 1093	11927 2006	11695 2605	11420 3153	11350 3237	11095 3568	10587 3970
$P_i = 15000$	$P_{iw}$ $P_m$	13200 0	13050 1172	12807 2154	12575 2801	12300 3396	12230 3488	11975 3851	11467 4300
$P_i = 16000$	$P_{iw}$ $P_m$	14080 0	13930 1251	13687 2302	13455 2997	13180 3689	13110 3739	12855 4134	12347 4630
$P_i = 17000$	$P_{iw}$ $P_m$	14960 0	14810 1330	14567 2450	14335 3193	14060 3882	13990 3990	13735 4417	13227 4960
$P_i = 18000$	$P_{iw}$ $P_m$	15840 0	15690 1409	15447 2598	15215 3389	14940 4125	14870 4241	14615 4700	14147 5305
$P_i = 19000$	$P_{iw}$ $P_m$	16720 0	16570 1488	16327 2746	16095 3585	15820 4368	15760 4492	15495 4983	14987 5620
$P_i = 20000$	$P_{iw}$ $P_m$	17600 0	17450 1567	17207 2894	16975 3781	16700 4611	16630 4743	16375 5266	15867 5950



Courbes:  $T_v$ ,  $P_v$ ,  $P_a$  et  $P_m$  en fonction  
 de la température.  
 Flux Descendant Simple effet-serre  
 ( $a = 2\text{mm}$ )

14.5(63)

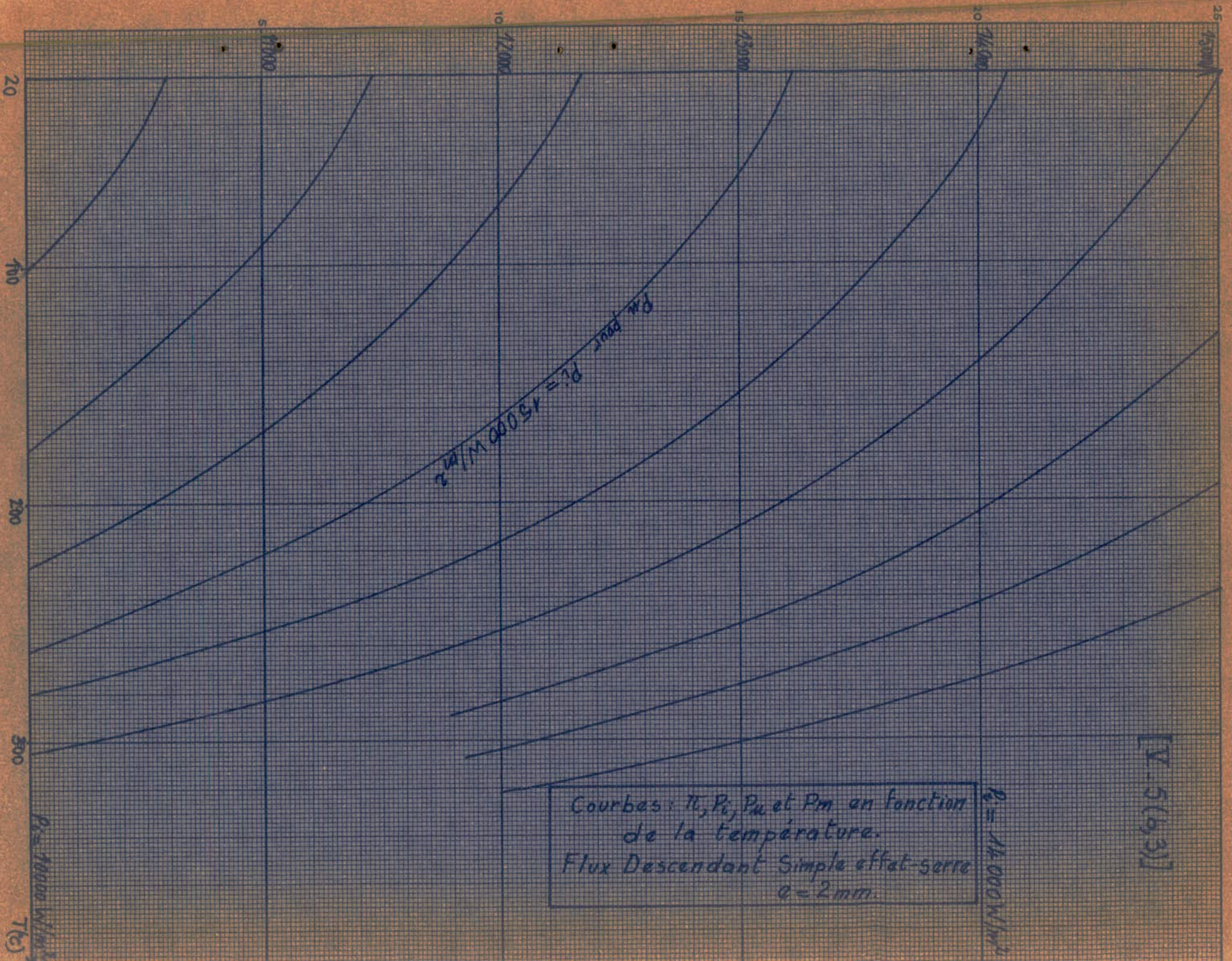


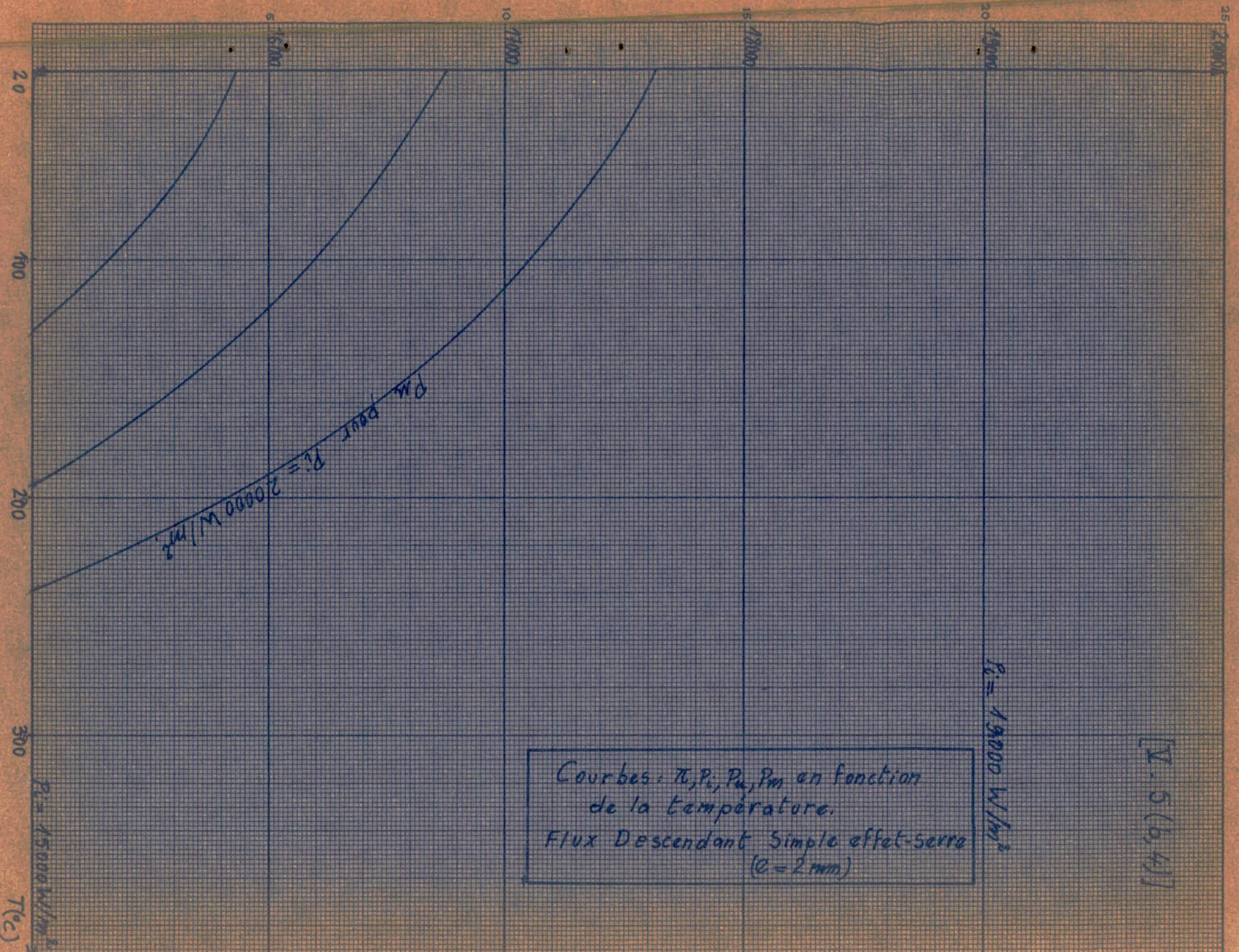
[IX-5(b,2)]

Courbes:  $\pi$ ,  $P_h$ ,  $P_m$  et  $P_m$  en fonction  
 de la température.  
 Flux descendant simple effet-serre  
 ( $a = 2 \text{ mm}$ )

$T(^{\circ}\text{C})$







Courbes:  $\pi, P_i, P_u, P_m$  en fonction de la température.  
 Flux Descendant Simple effet-serre  
 ( $e = 2 \text{ mm}$ )

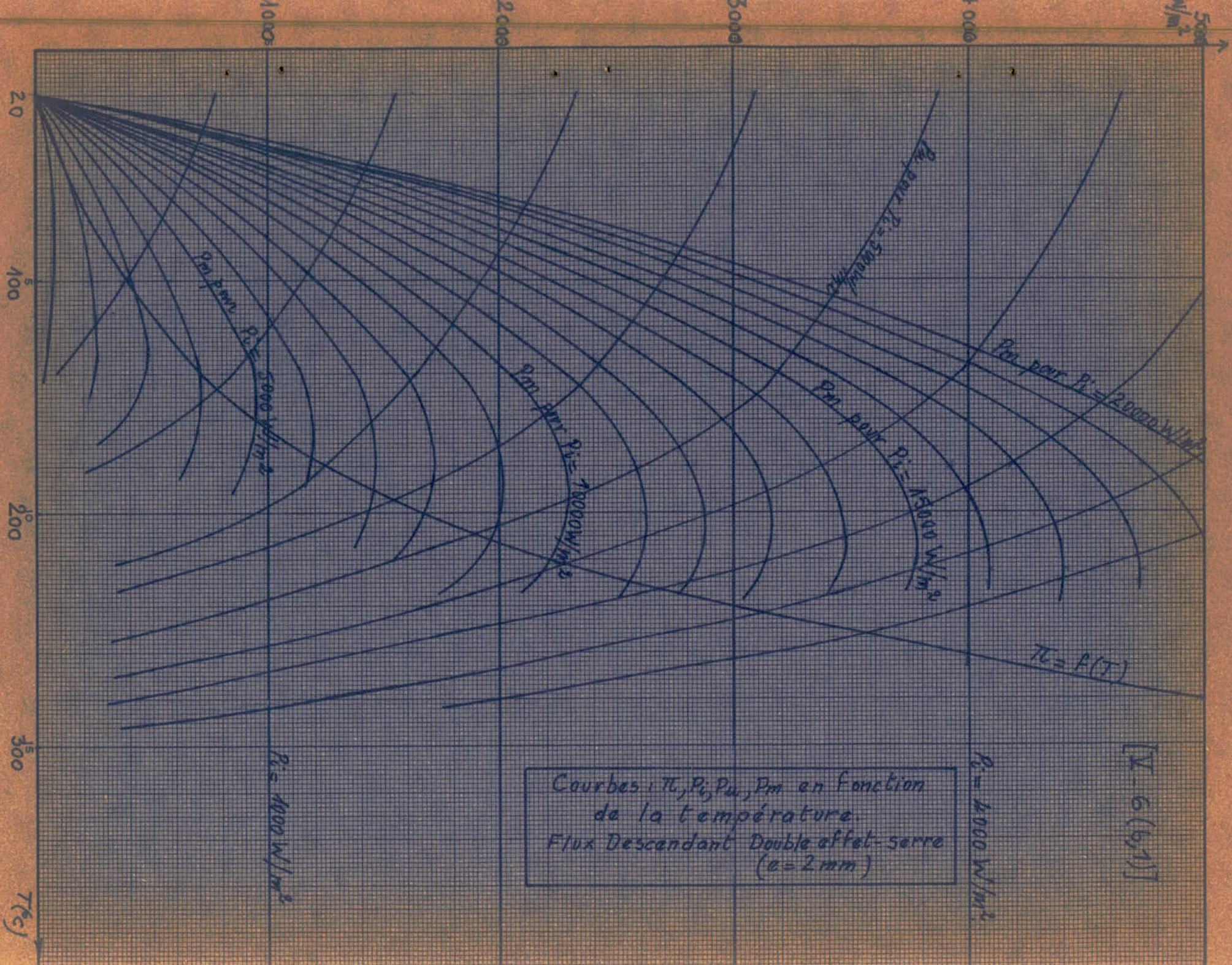
[X. 5 (6,4)]

# FLUX DESCENDANT

## Double effet-Serre (2 Verres $e=2\text{ mm}$ )

T °K		293	333	351	373	388	405		
$\theta_e = 1 - T_o/T$		0	0,120	0,165	0,214	0,245	0,277		
$\Pi \text{ (W/m}^2\text{)}$		0	160	260	400	508	625		
$P_{i:1000}$	$P_{ru}$	775	615	515	375	267	150		
	$P_{rm}$	0	74	85	80	65	42		
$P_{i:2000}$	$P_{ru}$	1550	1390	1290	1150	1042	925		
	$P_{rm}$	0	167	213	246	255	257		
$P_{i:3000}$	$P_{ru}$	2325	2165	2065	1925	1817	1700		
	$P_{rm}$	0	260	341	412	445	472		
$P_{i:4000}$	$P_{ru}$	3100	2940	2840	2700	2592	2475		
	$P_{rm}$	0	353	469	578	635	687		
$P_{i:5000}$	$P_{ru}$	3875	3715	3615	3478	3367	3250		
	$P_{rm}$	0	446	597	744	825	902		
$P_{i:6000}$	$P_{ru}$	4650	4490	4390	4250	4142	4025		
	$P_{rm}$	0	539	725	910	1015	1117		
$P_{i:7000}$	$P_{ru}$	5425	5265	5165	5025	4917	4800		
	$P_{rm}$	0	632	853	1076	1205	1332		
$P_{i:8000}$	$P_{ru}$	6200	6040	5940	5800	5692	5575		
	$P_{rm}$	0	725	981	1242	1395	1547		
$P_{i:9000}$	$P_{ru}$	6975	6815	6715	6575	6467	6350		
	$P_{rm}$	0	818	1109	1408	1585	1762		
$P_{i:10000}$	$P_{ru}$	7750	7590	7490	7350	7242	7125		
	$P_{rm}$	0	911	1236	1574	1775	1977		
$P_{i:11000}$	$P_{ru}$	8625	8365	8265	8125	8017	7900		
	$P_{rm}$	0	1004	1365	1740	1965	2192		
$P_{i:12000}$	$P_{ru}$	9300	9140	9040	8900	8792	8675		
	$P_{rm}$	0	1097	1493	1906	2155	2407		
$P_{i:13000}$	$P_{ru}$	10075	9915	9815	9675	9567	9450		
	$P_{rm}$	0	1190	1621	2072	2345	2622		
$P_{i:14000}$	$P_{ru}$	10850	10690	10590	10450	10342	10225		
	$P_{rm}$	0	1283	1749	2238	2535	2837		
$P_{i:15000}$	$P_{ru}$	11625	11465	11365	11225	11117	11000		
	$P_{rm}$	0	1376	1877	2404	2725	3052		
$P_{i:16000}$	$P_{ru}$	12400	12240	12140	12000	11892	11775		
	$P_{rm}$	0	1469	2005	2570	2915	3267		
$P_{i:17000}$	$P_{ru}$	13175	13015	12915	12775	12667	12550		
	$P_{rm}$	0	1562	2133	2736	3105	3482		
$P_{i:18000}$	$P_{ru}$	13950	13790	13690	13550	13442	13325		
	$P_{rm}$	0	1665	2261	2902	3295	3697		
$P_{i:19000}$	$P_{ru}$	14725	14565	14465	14325	14217	14100		
	$P_{rm}$	0	1748	2389	3068	3485	3912		
$P_{i:20000}$	$P_{ru}$	15500	15340	15240	15100	14992	14875		
	$P_{rm}$	0	1841	2517	3234	3675	4127		

En  $\text{W/m}^2$

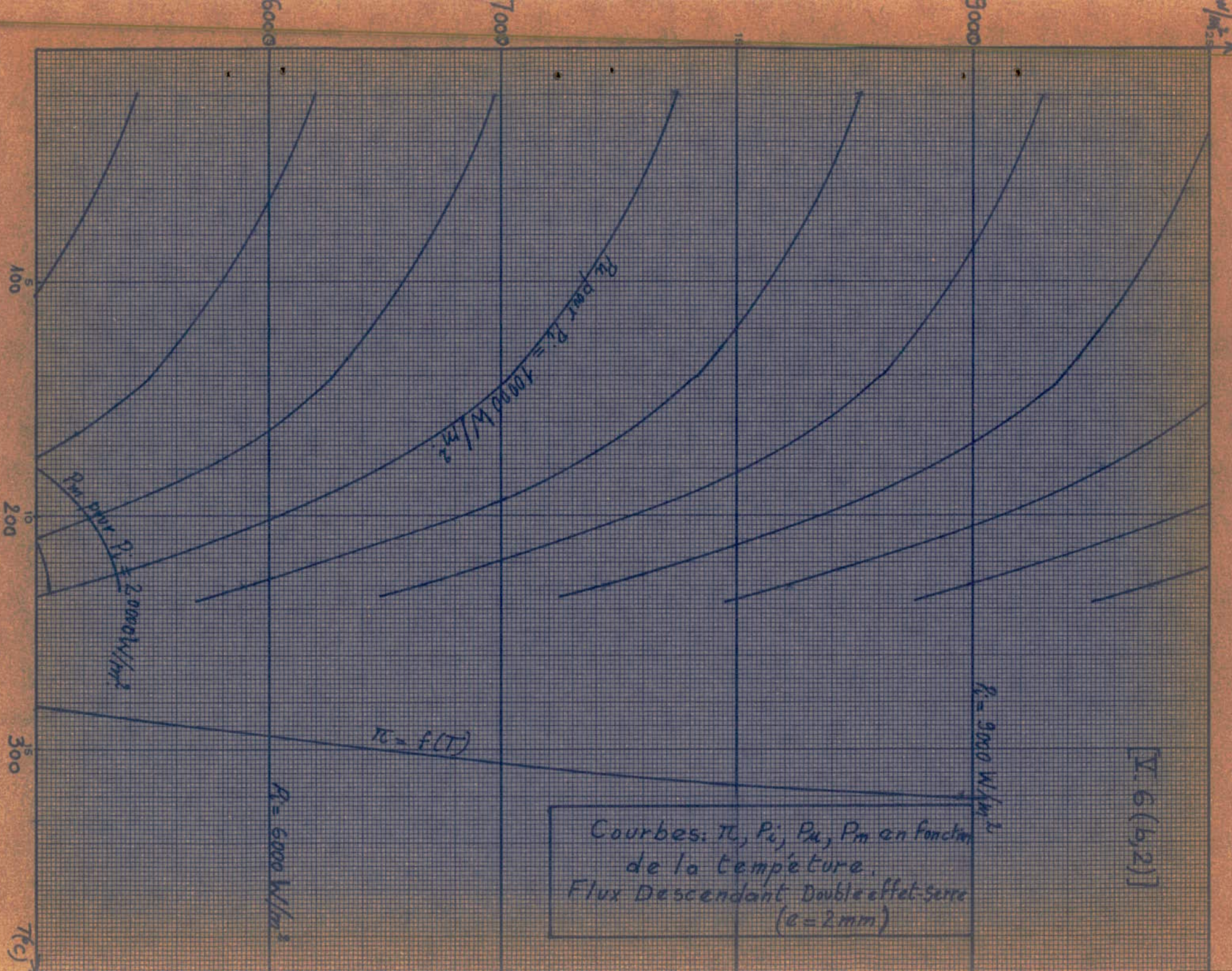


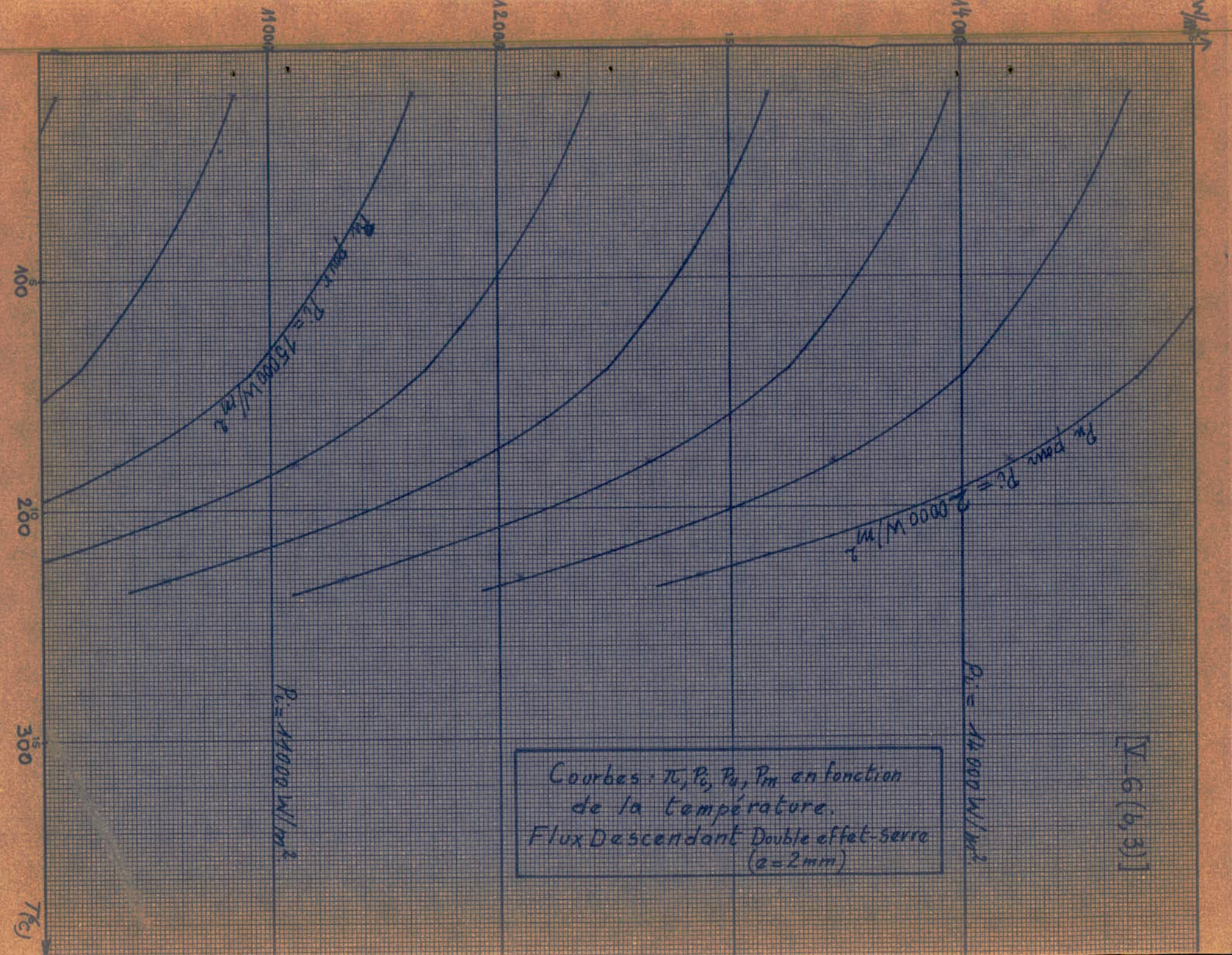
Courbes :  $T, P_i, P_e, P_m$  en fonction  
 de la température.  
 Flux descendant Double effet-serre  
 ( $e = 2 \text{ mm}$ )

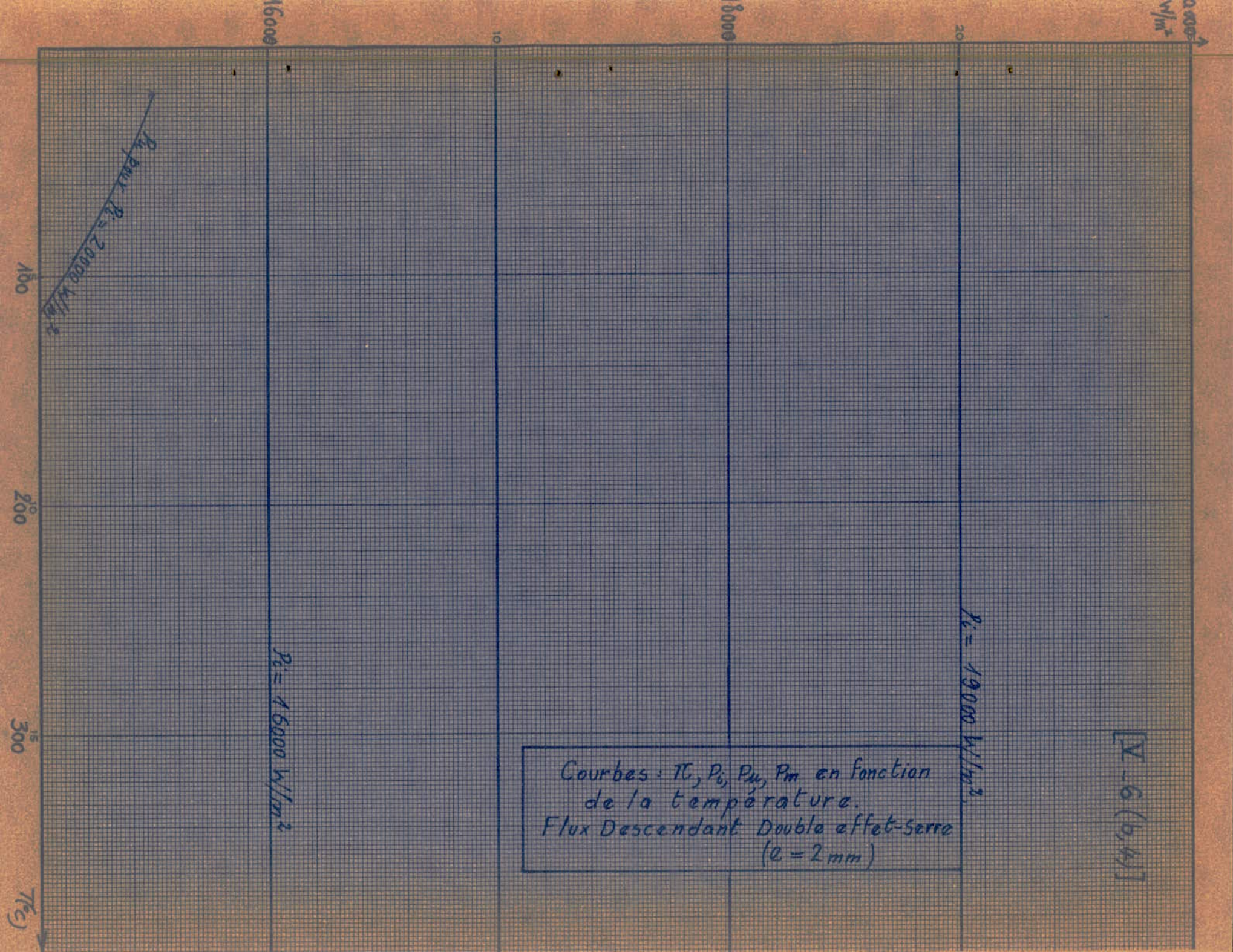
$P_i = 10000 \text{ W/m}^2$

$P_i = 10000 \text{ W/m}^2$

[X-6(61)]







$R_i \text{ pur } R_i = 20000 \text{ W/m}^2$

$R_i = 15000 \text{ W/m}^2$

$R_i = 19000 \text{ W/m}^2$

Courbes :  $T_c, P_i, P_{th}, P_m$  en fonction de la température.  
Flux descendant Double effet-serre  
( $e = 2 \text{ mm}$ )

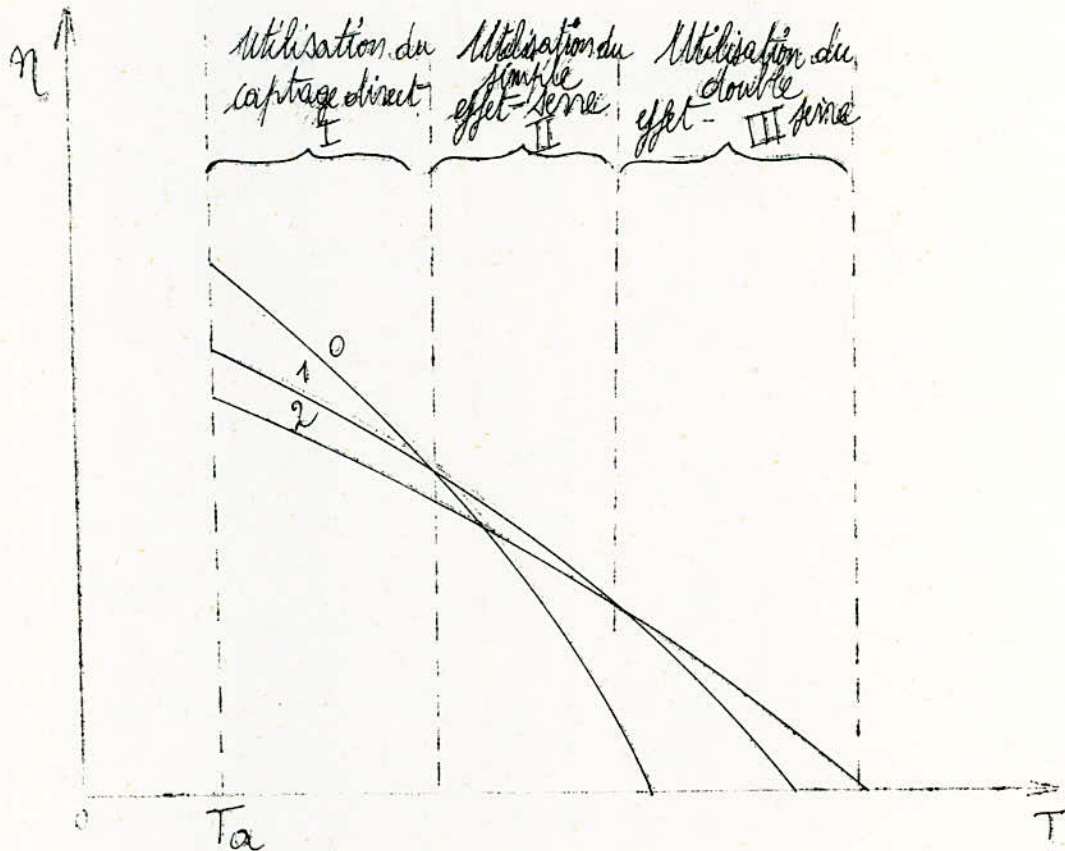
[X-6(b,4)]

Rendement de captage ( $\eta(T)$ ) :

Nous avons tracé sur un même graphique pour des valeurs de  $P_i$  données ( $P_i = 1\ 000$ ,  $5\ 000$ ,  $10\ 000$ ,  $15\ 000$ , et  $20\ 000\ \text{W/m}^2$ ) les courbes  $\eta = \eta(T)$  pour les trois procédés de captage cités relativement à chacune des deux positions considérées du capteur ( " flux ascendant " et " flux descendant " ) .

Les courbes  $\eta = \eta(T)$  obtenues pour la valeur  $P_i = 1000\ \text{W/m}^2$  correspondent à nos valeurs expérimentales . Ces courbes présentent des points d'intersection et ont les allures suivantes .

- 0: sans effet-serre
- 1: simple effet-serre
- 2: double effet-serre.





Nous remarquons, sur ce graphique les intervalles de température favorables à l'utilisation de chacun des procédés de captage utilisés .

Pour les autres valeurs de  $P_i$ , les courbes  $\eta(T)$  ont été extrapolées à partir de certaines températures et présentent, au delà de ces mêmes températures des anomalies relativement à leur allure ( ceci concerne spécialement les courbes  $\eta(T)$  relatives au captage avec double effet-serre ) .

$P_i$ en $W/m^2$	FLUX ASCENDANT		FLUX DESCENDANT	
	Graphique courbes Ref. n°	Tableau de valeurs Ref. n°	Graphique Courbes Ref. n°	Tableau de valeurs Ref. n°
1 000	V.9.1	V.9( a, 1) V.9(a , 2) V.9(a , 3)	V.10.1	V.10(a , 1) V.10(a , 2) V.10(a , 3)
5 000	V.9.2	Idem.	V.10.2	Idem.
10 000	V.9.3	Idem.	V.10.3	Idem.
15 000	V.9.4	Idem.	V.10.4	Idem.
20 000	V.9.5	Idem.	V.10.5	Idem.

[V. 9 (a,1)]

FLUX ASCENDANT  
SANS EFFET SERRE

	$T_{\text{c}}^{\circ}$	20	54	81	89	109	115	128	143	173	202	215
	$\Pi(\text{w/m}^2)$	0	180	422	487	612	702	845	1130	1490	1987	2315
1000 $\text{w/m}^2$	$P_u$	1000	820	578	513	388	298	155	/	/	/	/
	$\eta$	1	0,82	0,578	0,513	0,388	0,298	0,155	/	/	/	/
5000	$P_u$	5000	4820	4578	4513	4388	4298	4155	3870	3510	3013	2685
	$\eta$	1	0,964	0,915	0,902	0,878	0,859	0,831	0,774	0,702	0,602	0,535
10000	$P_u$	10000	9820	9578	9513	9388	9298	9155	8870	8510	8013	7685
	$\eta$	1	0,982	0,958	0,951	0,939	0,940	0,915	0,887	0,851	0,801	0,769
15000	$P_u$	15000	14820	14578	14513	14388	14298	14155	13870	13510	13013	12685
	$\eta$	1	0,988	0,972	0,967	0,959	0,953	0,944	0,925	0,900	0,867	0,846
20000	$P_u$	2000	19820	19578	19513	19388	19298	19155	18870	18510	18013	17685
	$\eta$	1	0,991	0,979	0,976	0,969	0,965	0,958	0,944	0,926	0,900	0,884

FLUX ASCENDANT  
SIMPLE EFFET SERRE  $e = 2 \text{ mm}$

[V-9(a,2)]

	$T^{\circ}\text{C}$	20	60	96	115	125	139	164	183	238
	$\tau (\text{w/m}^2)$	0	180	400	560	625	788	988	1225	1838
1000 $\text{w/m}^2$	$P_u \text{ w/m}^2$	880	700	480	320	255	92	/	/	/
	$\eta$	0,880	0,7	0,48	0,32	0,255	0,092	/	/	/
5000	$P_u$	4400	4220	4000	3840	3775	3612	3412	3175	2562
	$\eta$	0,880	0,844	0,800	0,768	0,755	0,722	0,682	0,635	0,512
10000	$P_u$	8800	8620	8400	8240	8175	8012	7812	7575	6962
	$\eta$	0,880	0,862	0,840	0,824	0,818	0,801	0,781	0,758	0,696
15000	$P_u$	13200	13020	12800	12640	12575	12412	12212	11975	11362
	$\eta$	0,880	0,868	0,853	0,843	0,838	0,827	0,814	0,798	0,757
20000	$P_u$	17600	17420	17200	17040	16975	16812	16612	16375	15762
	$\eta$	0,880	0,870	0,860	0,852	0,849	0,841	0,831	0,819	0,788

FLUX ASCENDANT  
DOUBLE EFFET SERRE  $e=2\text{mm}$

V-9(a,3)

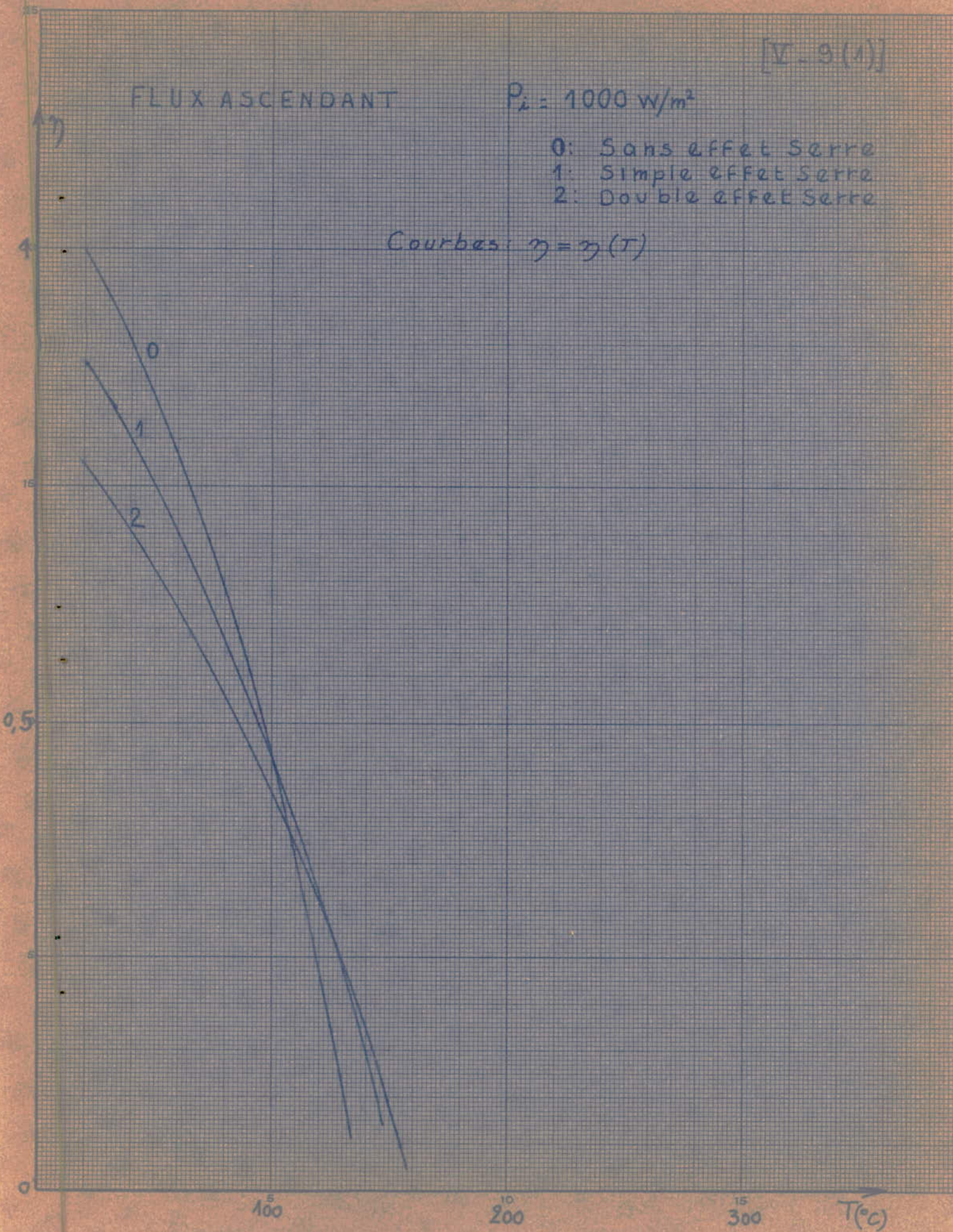
	$T \text{ } ^\circ\text{C}$	20	65	115	121	133	141	154
	$\Pi \text{ (w/m}^2\text{)}$	0	180	400	495	585	625	725
1000	$P_u \text{ w/m}^2$	775	595	375	280	190	150	50
	$\eta$	0,775	0,595	0,375	0,280	0,190	0,150	0,050
5000	$P_u$	3875	3695	3475	3380	3290	3250	3150
	$\eta$	0,775	0,739	0,695	0,676	0,658	0,650	0,630
10000	$P_u$	7750	7570	7350	7255	7165	7125	7025
	$\eta$	0,775	0,757	0,735	0,726	0,717	0,713	0,703
15000	$P_u$	11625	11445	11225	11130	11040	11000	10900
	$\eta$	0,775	0,763	0,748	0,742	0,736	0,733	0,727
20000	$P_u$	15500	15320	15100	15005	14915	14875	14775
	$\eta$	0,775	0,766	0,755	0,750	0,746	0,744	0,739

FLUX ASCENDANT

$P_i = 1000 \text{ w/m}^2$

- 0: Sans effet serre
- 1: Simple effet serre
- 2: Double effet serre

Courbes:  $\eta = \eta(T)$



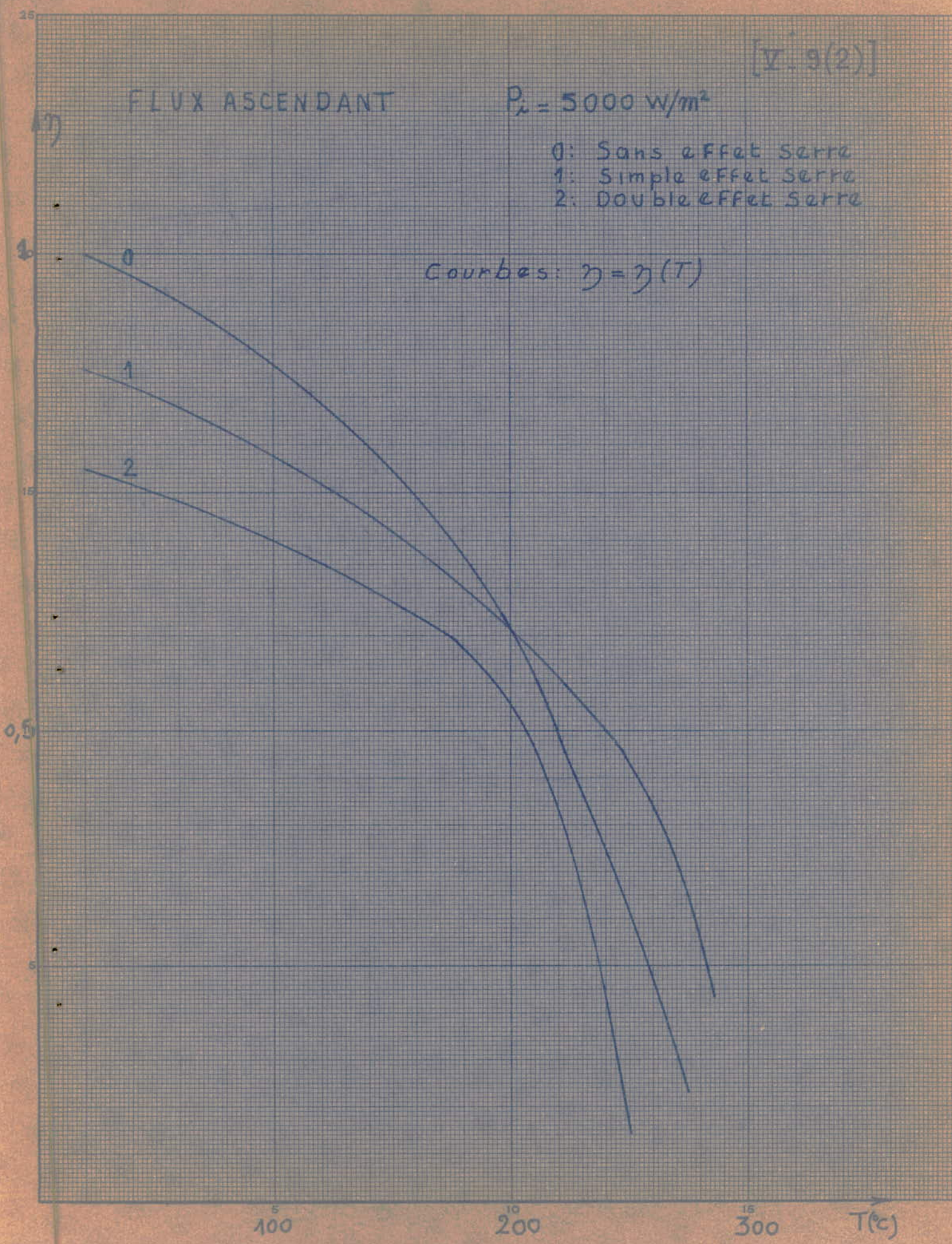
[V. 9(2)]

# FLUX ASCENDANT

$$P_{\text{in}} = 5000 \text{ w/m}^2$$

- 0: Sans effet serre
- 1: Simple effet serre
- 2: Double effet serre

Courbes:  $\eta = \eta(T)$



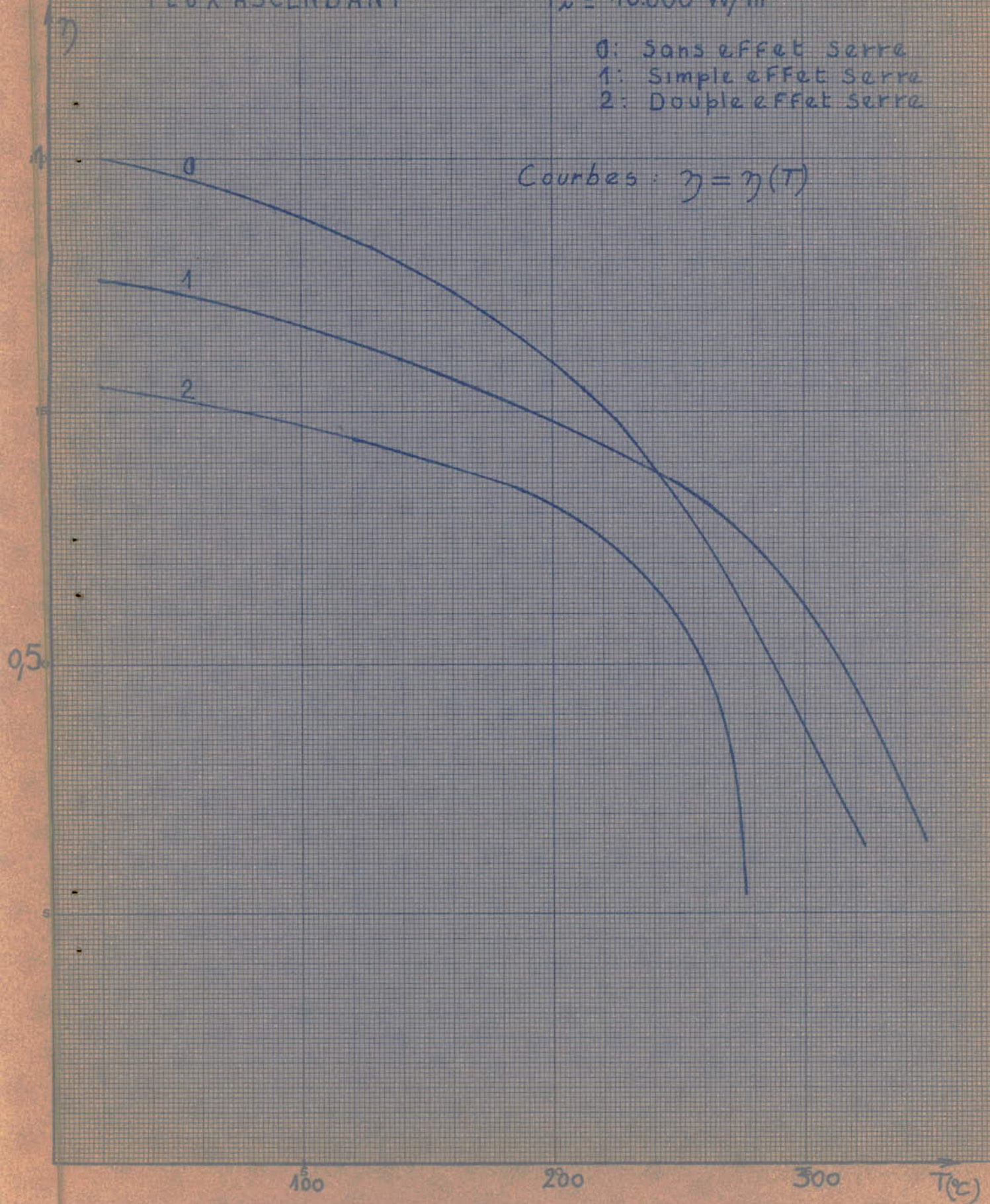
[V-9(3)]

FLUX ASCENDANT

$P_{\lambda} = 10.000 \text{ W/m}^2$

- 0: Sans effet serre
- 1: Simple effet serre
- 2: Double effet serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



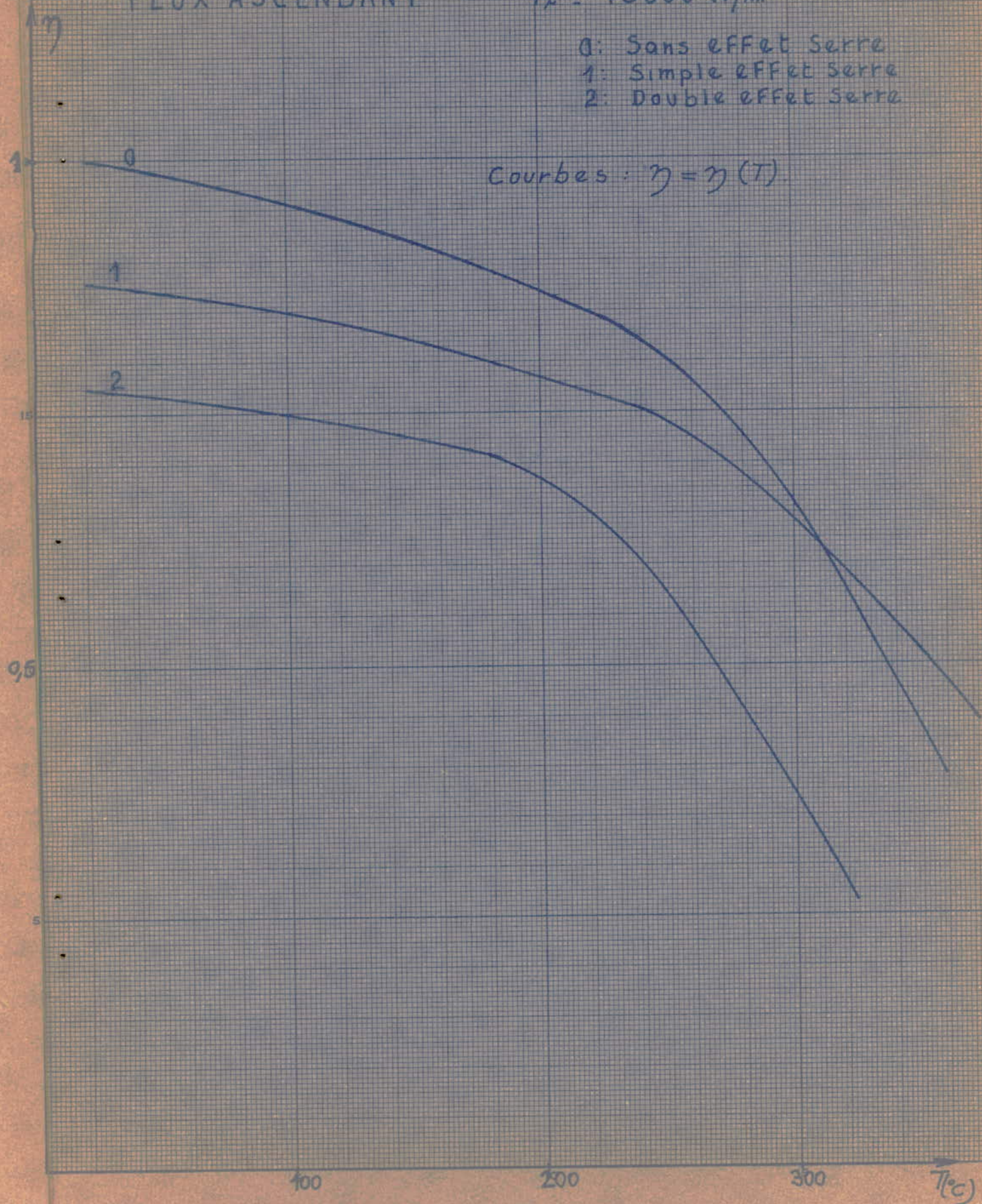
V.9(4)

# FLUX ASCENDANT

$$P_i = 15000 \text{ W/m}^2$$

- 0: Sans effet Serre
- 1: Simple effet serre
- 2: Double effet serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$





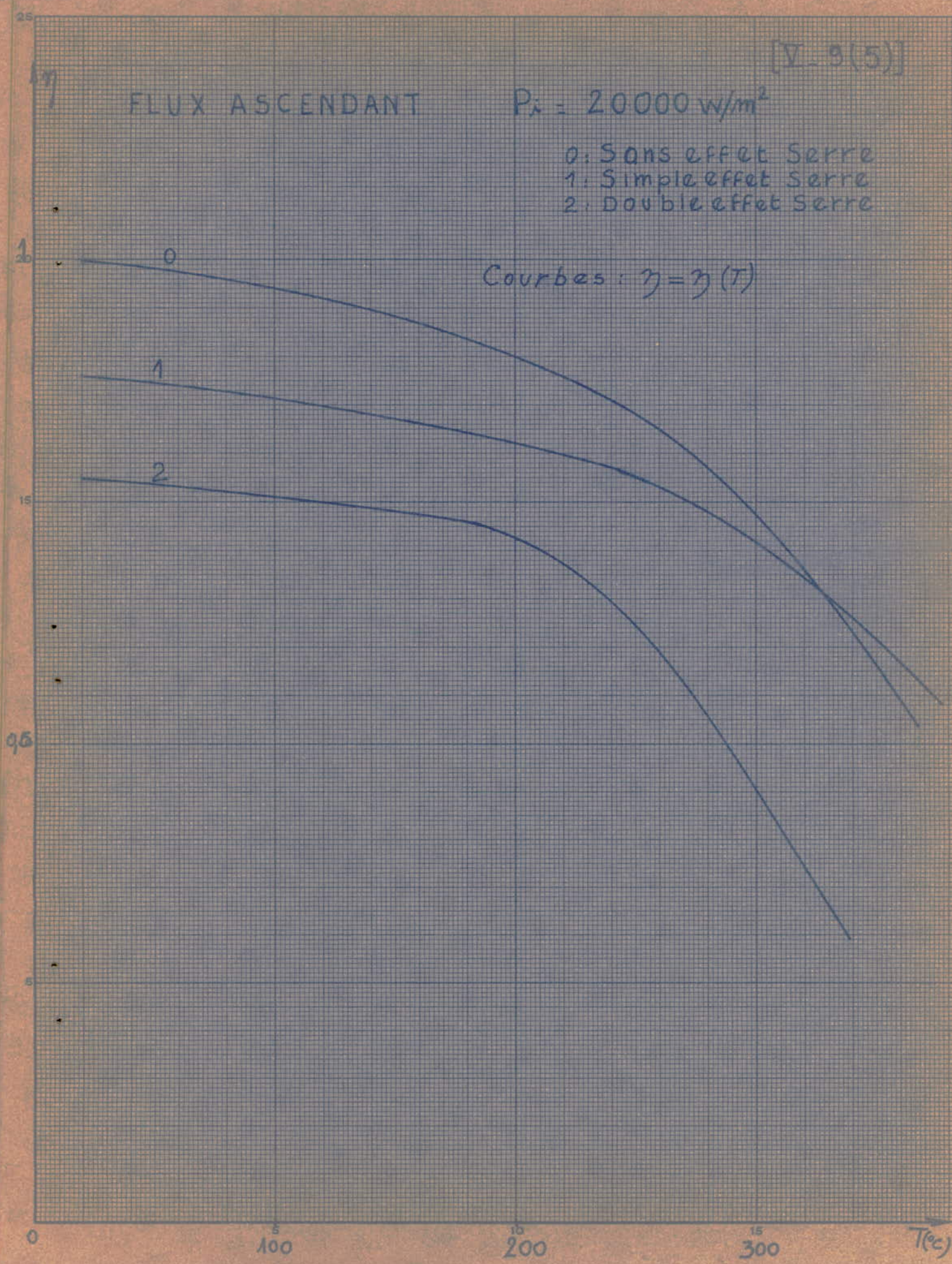
[V-9(5)]

FLUX ASCENDANT

$$P_i = 20000 \text{ w/m}^2$$

- 0: Sans effet Serre
- 1: Simple effet Serre
- 2: Double effet Serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



# FLUX DESCENDANT SANS EFFET SERRE

[V.10(a,1)]

	$T \text{ } ^\circ\text{C}$	20	42	56	72	87	109	131	149
	$\Pi \text{ (w/m}^2\text{)}$	0	180	405	625	900	1288	1808	2258
1000	$P_u \text{ w/m}^2$	1000	820	595	375	100	/	/	/
	$\eta$	1	0,820	0,595	0,375	0,100	/	/	/
5000	$P_u$	5000	4820	4595	4375	4100	3712	3192	2742
	$\eta$	1	0,964	0,920	0,880	0,820	0,742	0,638	0,548
10000	$P_u$	10000	9820	9595	9375	9100	8712	8192	7742
	$\eta$	1	0,982	0,960	0,940	0,910	0,871	0,819	0,774
15000	$P_u$	15000	14820	14595	14375	14100	13712	13192	12742
	$\eta$	1	0,988	0,973	0,958	0,940	0,914	0,879	0,849
20000	$P_u$	20000	19820	19595	19375	19100	18712	18192	17742
	$\eta$	1	0,991	0,980	0,970	0,955	0,940	0,910	0,890

FLUX DESCENDANT  
SIMPLE EFFET SERRE  $e=2\text{mm}$

[V.10(a,2)]

	$T^{\circ}\text{C}$	20	49	79	104	132	137	159
	$\Pi$ ( $\text{w}/\text{m}^2$ )	0	150	393	625	900	970	1225
1000	$P_u$ $\text{w}/\text{m}^2$	880	730	487	255	/	/	/
	$\eta$	0,880	0,730	0,487	0,255	/	/	/
5000	$P_u$	4400	4250	4007	3775	3500	3430	3175
	$\eta$	0,880	0,850	0,801	0,755	0,700	0,686	0,635
10000	$P_u$	8800	8650	8407	8175	7900	7830	7575
	$\eta$	0,880	0,865	0,840	0,818	0,790	0,783	0,760
15000	$P_u$	13200	13050	12807	12575	12300	12230	11975
	$\eta$	0,880	0,870	0,854	0,838	0,820	0,815	0,798
20000	$P_u$	17600	17450	17207	16975	16700	16630	16375
	$\eta$	0,880	0,873	0,860	0,849	0,835	0,832	0,819

FLUX DESCENDANT  
DOUBLE EFFET SERRE  $e=2\text{mm}$

[V-10(a,3)]

	$T = c$	20	60	78	100	115	132
	$\Pi$ ( $\text{w/m}^2$ )	0	160	260	400	508	625
1000 $\text{w/m}^2$	$P_u$ $\text{w/m}^2$	775	615	515	375	267	150
	$\eta$	0,775	0,615	0,515	0,375	0,267	0,150
5000	$P_u$	3875	3715	3615	3475	3367	3250
	$\eta$	0,775	0,743	0,723	0,695	0,673	0,65
10000	$P_u$	7750	7590	7490	7350	7242	7125
	$\eta$	0,775	0,759	0,749	0,735	0,724	0,713
15000	$P_u$	11625	11465	11365	11225	11117	11000
	$\eta$	0,775	0,764	0,757	0,748	0,741	0,733
20000	$P_u$	15500	15340	15240	15100	14992	14875
	$\eta$	0,775	0,767	0,762	0,755	0,750	0,744

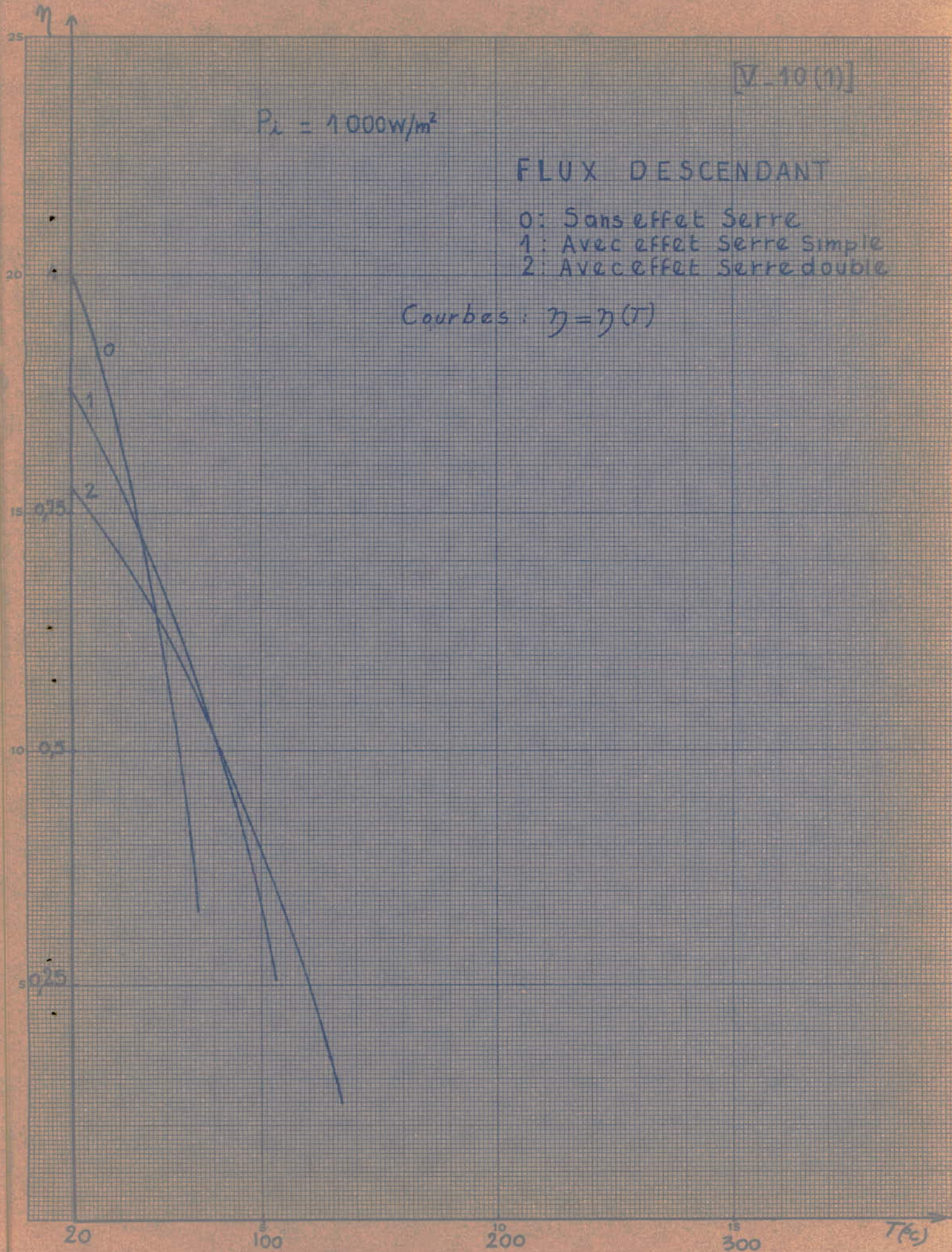
[V-10(1)]

$P_i = 1000 \text{ W/m}^2$

### FLUX DESCENDANT

- 0: Sans effet Serre
- 1: Avec effet Serre simple
- 2: Avec effet Serre double

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



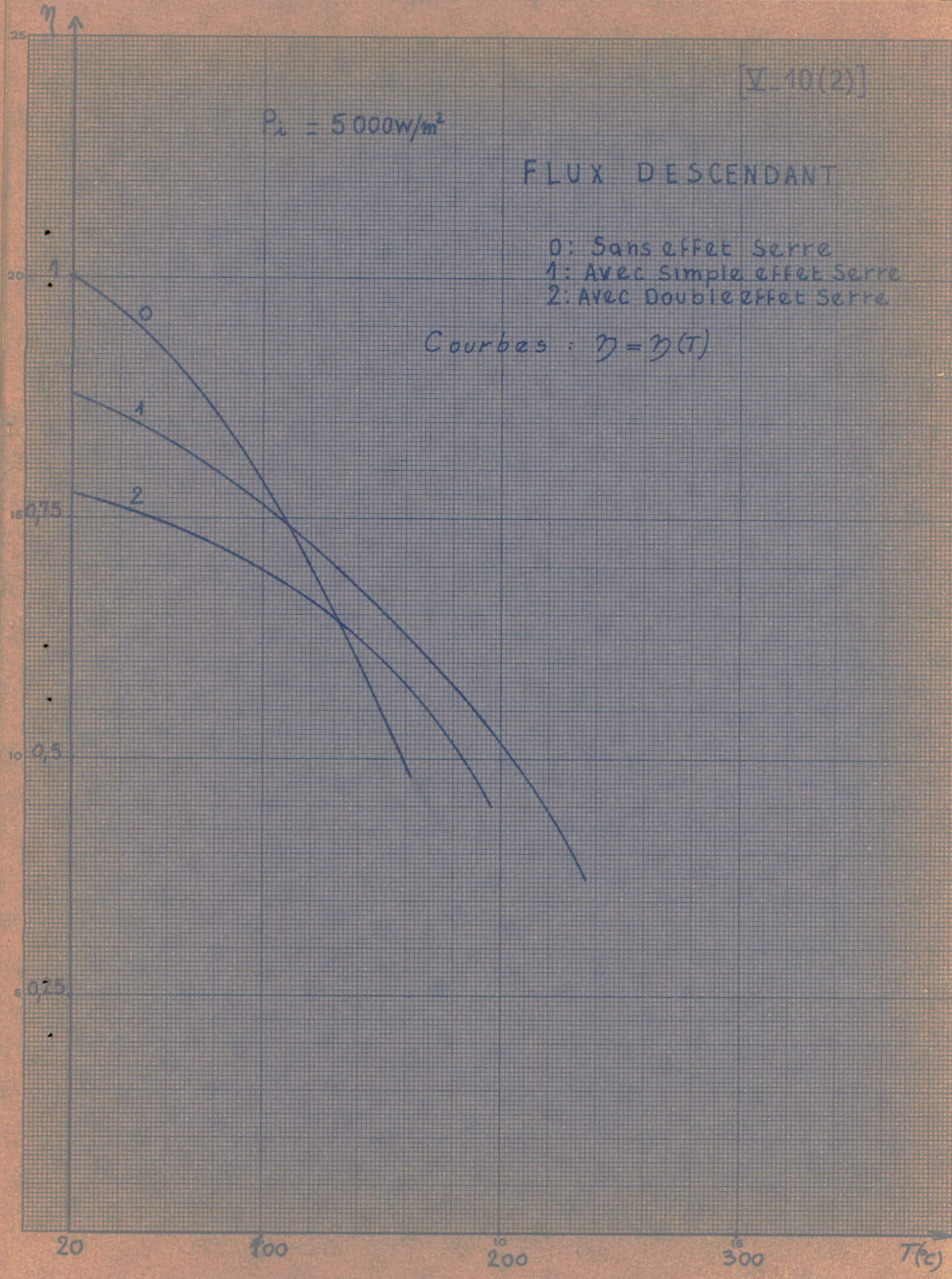
[V. 10(2)]

$P_i = 5000 \text{ W/m}^2$

### FLUX DESCENDANT

- 0: Sans effet Serre
- 1: Avec simple effet Serre
- 2: Avec Double effet Serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



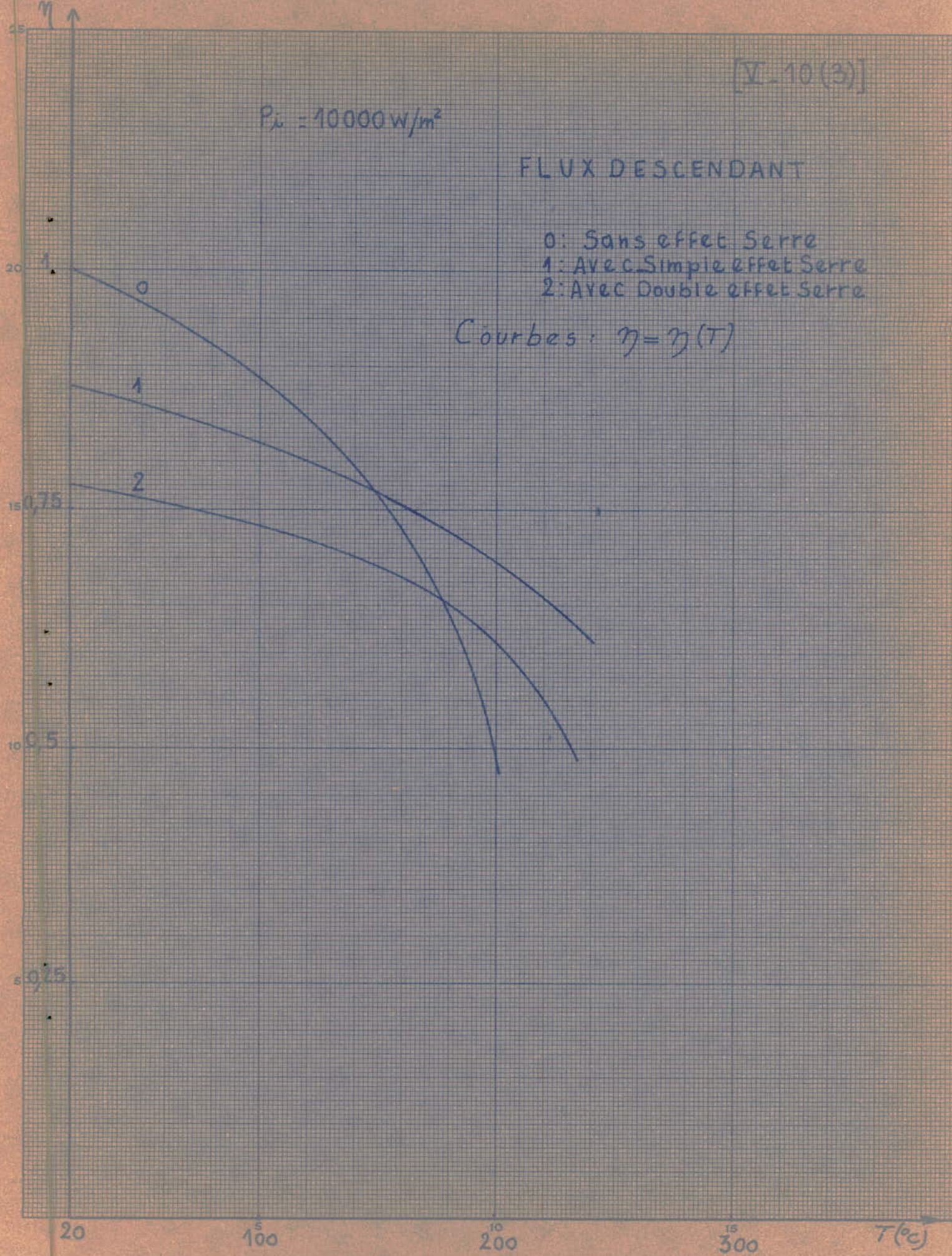
[V.10(3)]

$P_{\text{in}} = 10000 \text{ W/m}^2$

FLUX DESCENDANT

- 0: Sans effet Serre
- 1: Avec Simple effet Serre
- 2: Avec Double effet Serre

Courbes:  $\eta = \eta(T)$



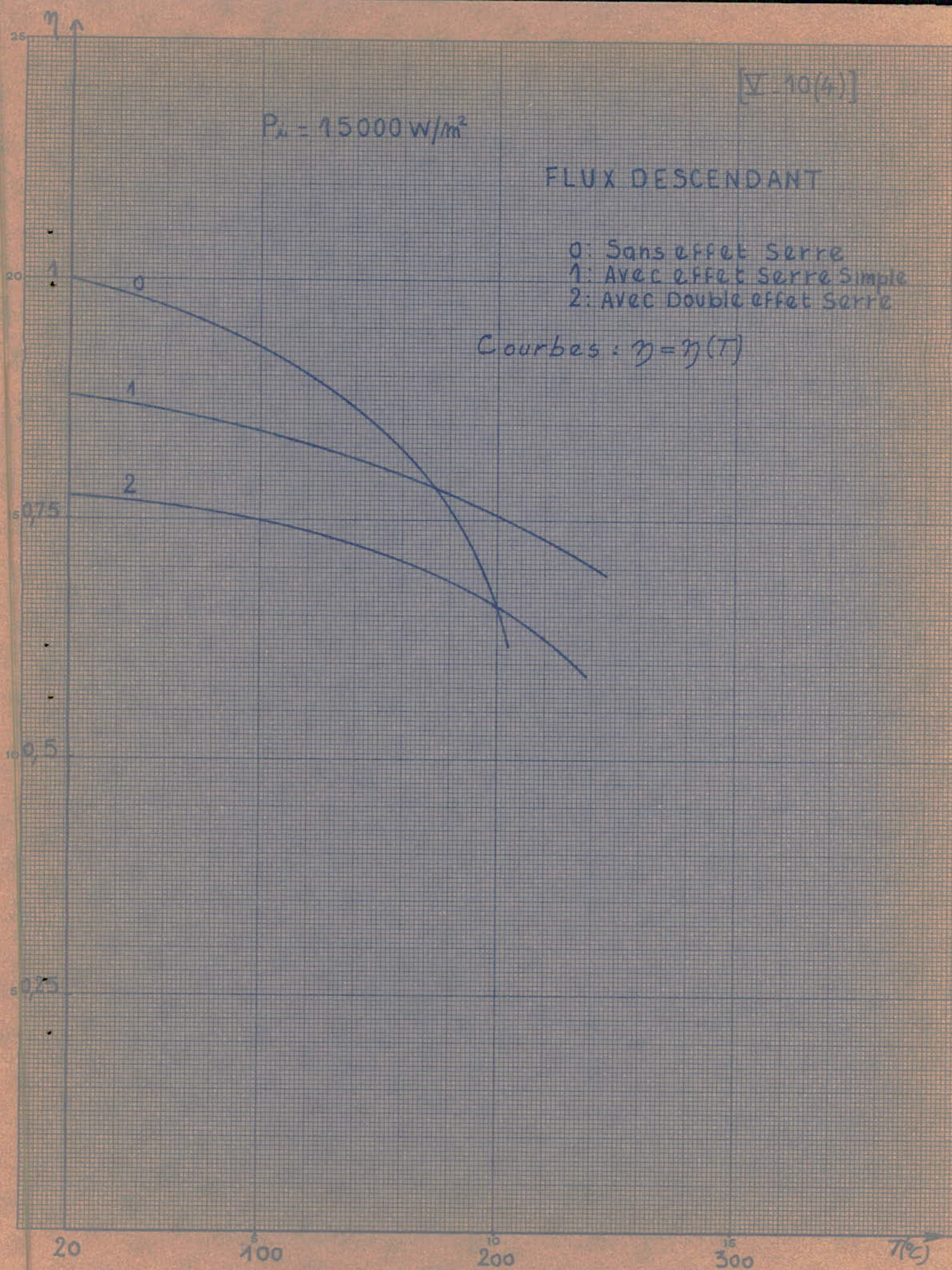
[V-10(4)]

$$P_s = 15000 \text{ W/m}^2$$

FLUX DESCENDANT

- 0: Sans effet Serre
- 1: Avec effet Serre Simple
- 2: Avec Double effet Serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



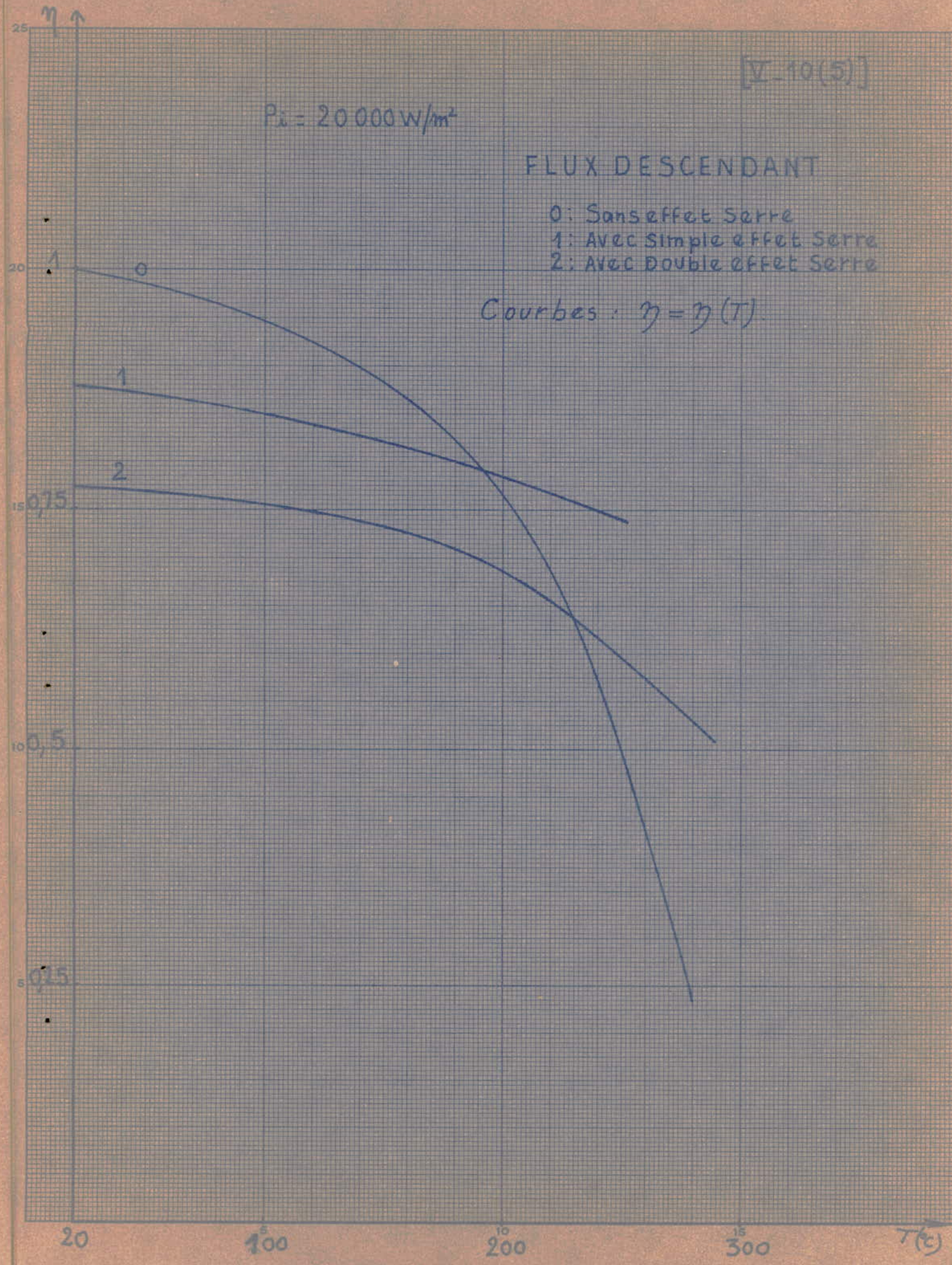


$P_i = 20\,000\text{ W/m}^2$

### FLUX DESCENDANT

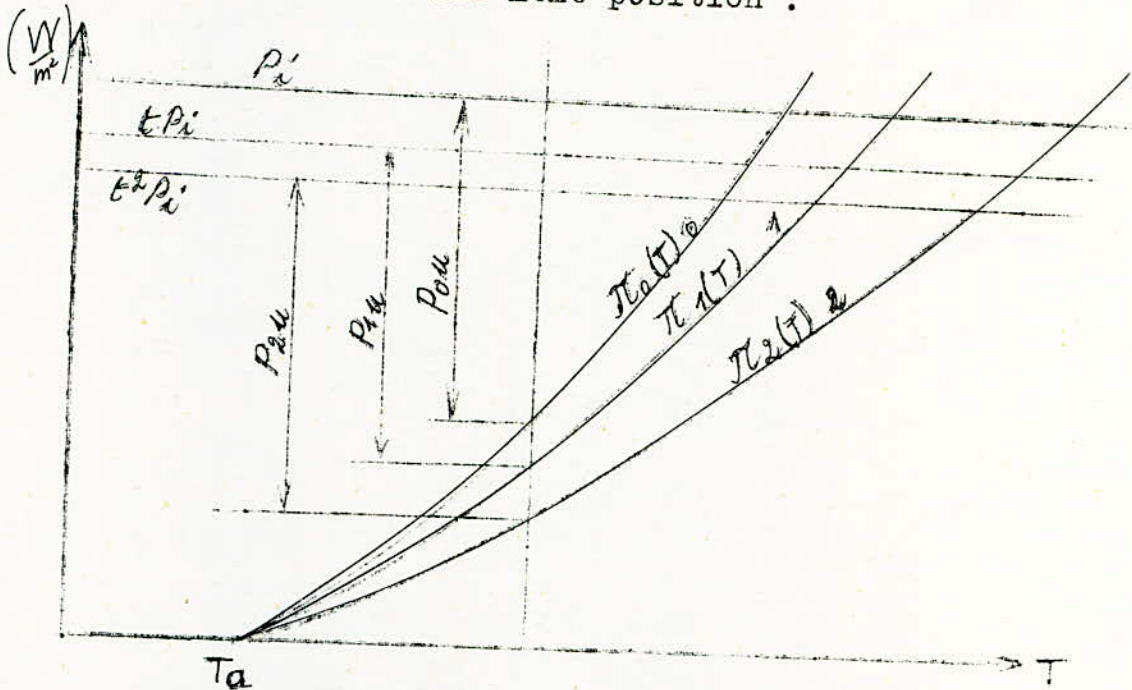
- 0: Sans effet Serre
- 1: AVEC Simple effet Serre
- 2: AVEC Double effet Serre

Courbes :  $\eta = \eta(T)$



5.2.11 Efficacité de l'effet-serre :

Le verre absorbant une certaine quantité de flux incident sur le capteur, nous pouvons tracer, a température égale  $T$ , le schéma donnant  $P_u$  pour les trois procédés de captage relatif a une même position .



a) Efficacité du captage avec simple effet-serre vis-a-vis du captage direct et vice versa .

Si à  $P_i = \text{Cste}$  et  $T = \text{Cste}$  nous avons :  $P_{lu} > P_{ou}$  nous déduisons que le simple effet-serre est efficace relativement au procédé de captage direct ( plaque directement exposée) .

$$P_{lu} = t \times P_i - \pi_1$$

$$P_{ou} = P_i - \pi_0$$

$$P_{lu} > P_{ou} \implies t \times P_i - \pi_1 > P_i - \pi_0$$

$$P_i (1 - t) < \pi_0 - \pi_1$$

$$P_i < \frac{\pi_0 - \pi_1}{1 - t}$$

Si nous traçons la courbe :

$$P_i = \frac{\mathcal{K}_0(T) - \mathcal{K}_1(T)}{1 - t} = f_1(T),$$

nous obtenons pour les couples  $(P_i, T)$  situés dans le domaine supérieur à cette courbe une efficacité du captage direct et, pour les couples  $(P_i, T)$  situés dans le domaine inférieur à la même courbe, une efficacité du simple effet-serre .

b) Efficacité du captage avec double effet-serre vis-à-vis du simple effet-serre et vice versa .

Si, pour le même  $P_i$  et à  $T = \text{Cste}$ , nous avons  $P_{2u} > P_{1u}$  nous déduisons que, le captage avec double effet-serre est efficace relativement au captage avec simple effet-serre .

$$P_{2u} = t^2 \times P_i - \mathcal{K}_2$$

$$P_{1u} = t \times P_i - \mathcal{K}_1$$

$$P_{2u} > P_{1u} \Rightarrow t^2 \times P_i - \mathcal{K}_2 > t \times P_i - \mathcal{K}_1$$

$$P_i = \frac{\mathcal{K}_1 - \mathcal{K}_2}{t(1 - t)}$$

Si nous traçons la courbe :

$$P_i = \frac{\mathcal{K}_1(T) - \mathcal{K}_2(T)}{t(1 - t)} = f_2(T),$$

nous obtenons, de même que précédemment, une efficacité du captage avec simple effet-serre pour les couples  $(P_i, T)$  situés dans la partie supérieure de la courbe; et une efficacité du captage avec double effet-serre pour les couples  $(P_i, T)$  situés dans la partie inférieure .

En rassemblant ces deux domaines nous obtenons les domaines d'efficacité des trois procédés de captage .

Les domaines d'efficacité précédents sont tracés pour les deux positions "flux ascendant et descendant " .

Les graphiques V.13 et V.14 ont été tracés grâce au tableau suivant :

" FLOX ASCENDANT "

Sans effet-serre  $\longleftrightarrow$  Simple effet-serre.

T en °C	70	90	100	120	140	170	190
$\frac{\pi_0 - \pi_1}{1 - t}$ en W/m <sup>2</sup>	417	833	1167	1667	2250	2917	3332

Simple effet-serre  $\longleftrightarrow$  double effet-serre

T en °C	70	90	100	120	140	170	190
$\frac{\pi_1 - \pi_2}{t(1 - t)}$ en W/m <sup>2</sup>	421	754	931	1397	1863	2528	3104

" FLOX DESCENDANT "

Sans effet-serre  $\longleftrightarrow$  simple effet-serre

T en °C	50	70	90	110	130	150
$\frac{\pi_0 - \pi_1}{1 - t}$ en W/m <sup>2</sup>	1042	2333	3750	5250	7417	9833

Simple effet-serre  $\longleftrightarrow$  double effet-serre

T en °C	50	70	90	110	130	150
$\frac{\pi_1 - \pi_2}{t(1 - t)}$ en W/m <sup>2</sup>	455	909	1455	2000	2545	3000

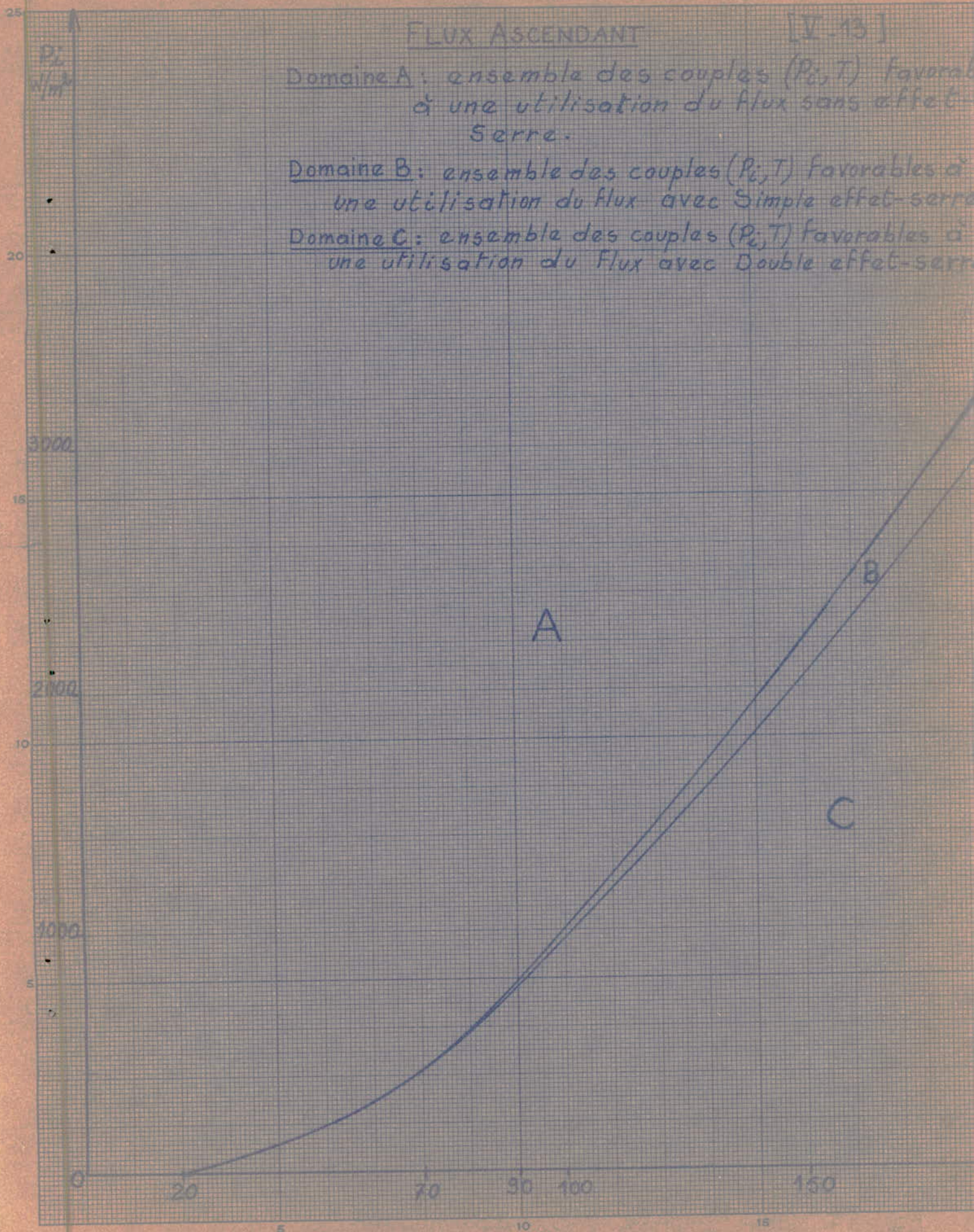
# FLUX ASCENDANT

[V-13]

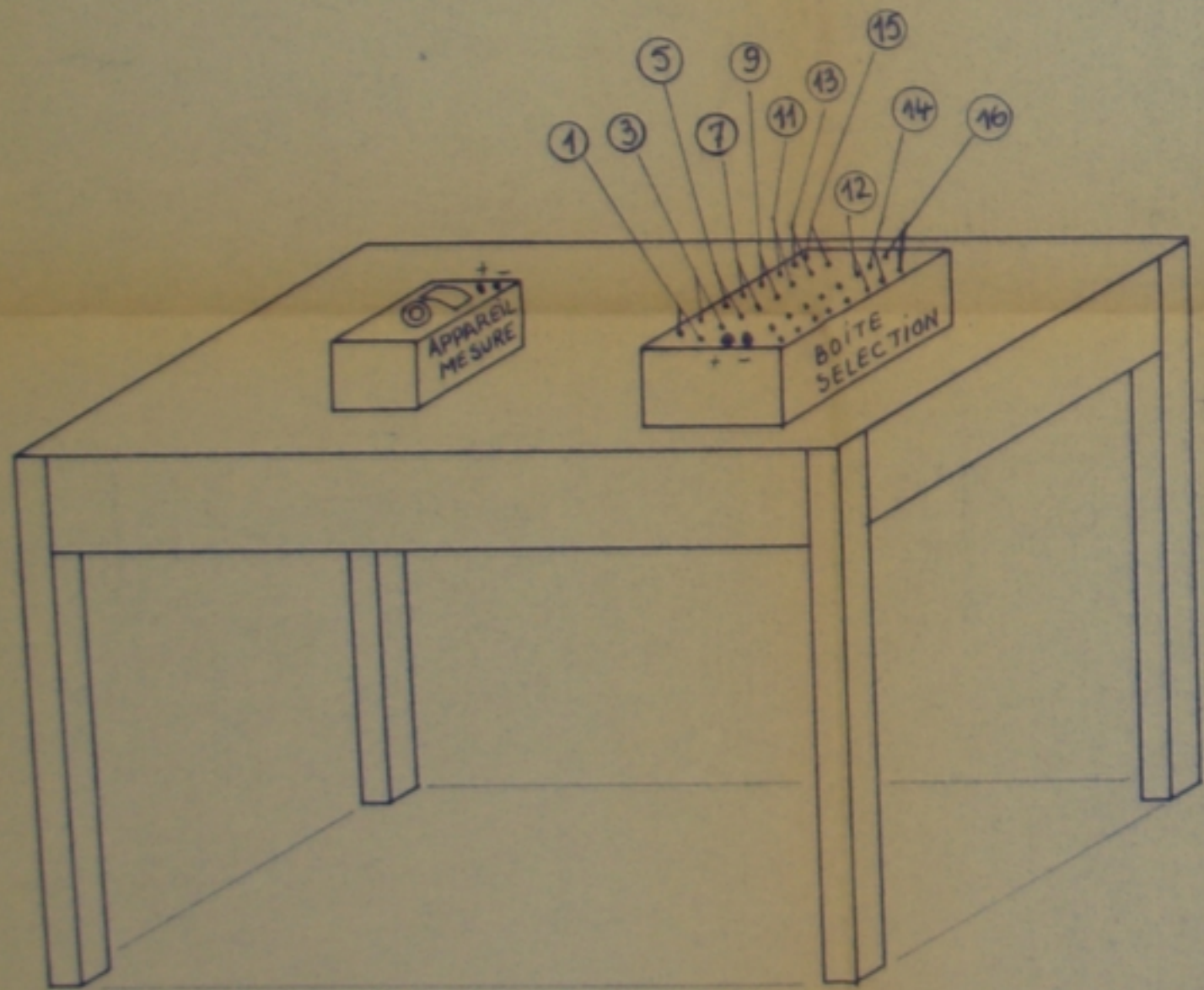
Domaine A: ensemble des couples  $(P_i, T)$  favorables à une utilisation du flux sans effet-Serre.

Domaine B: ensemble des couples  $(P_i, T)$  favorables à une utilisation du flux avec Simple effet-serre.

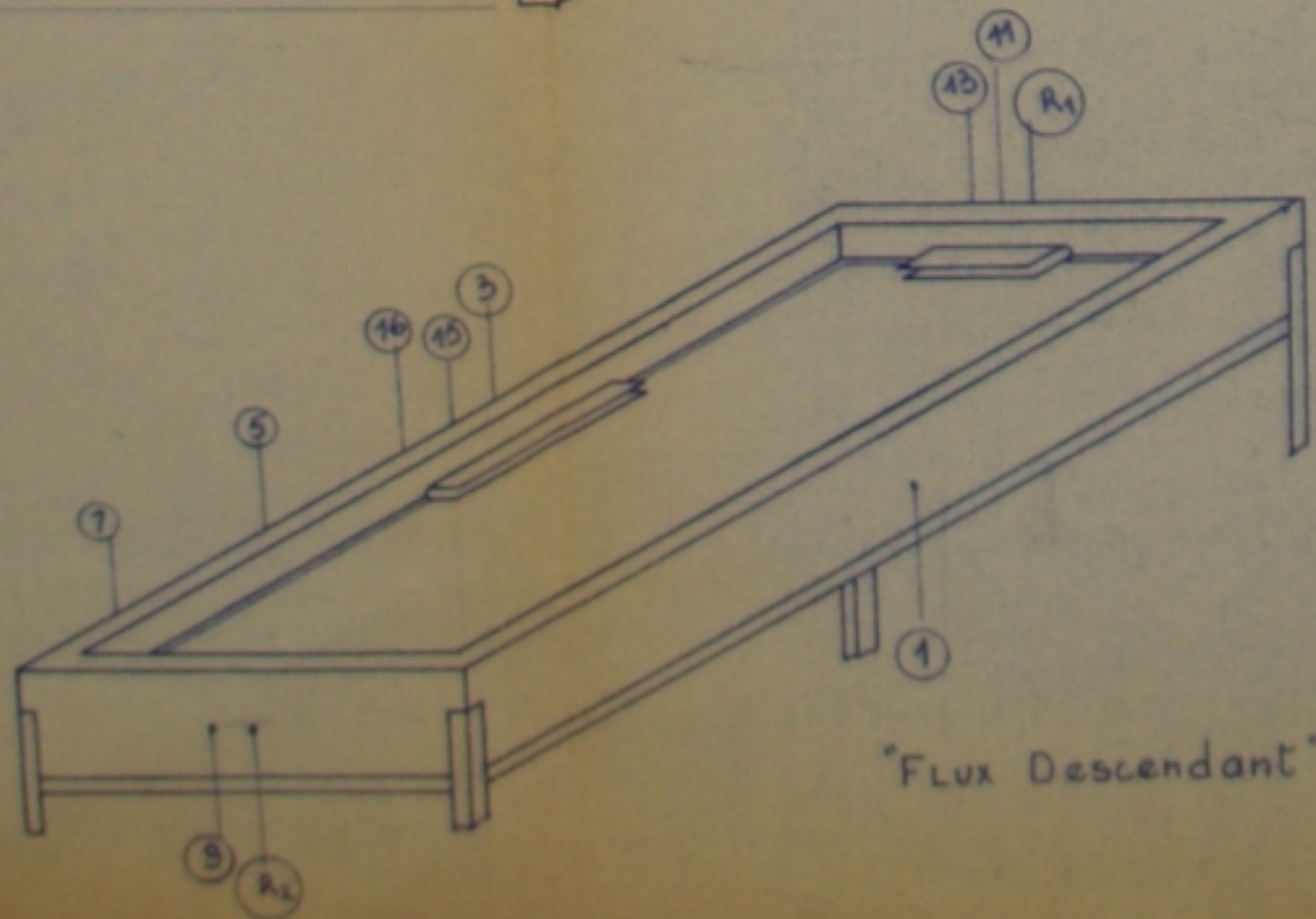
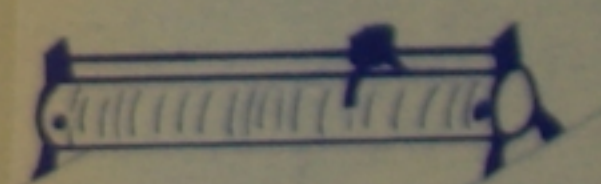
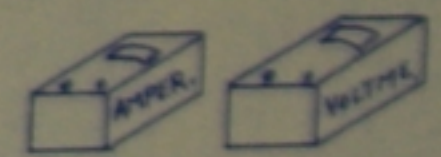
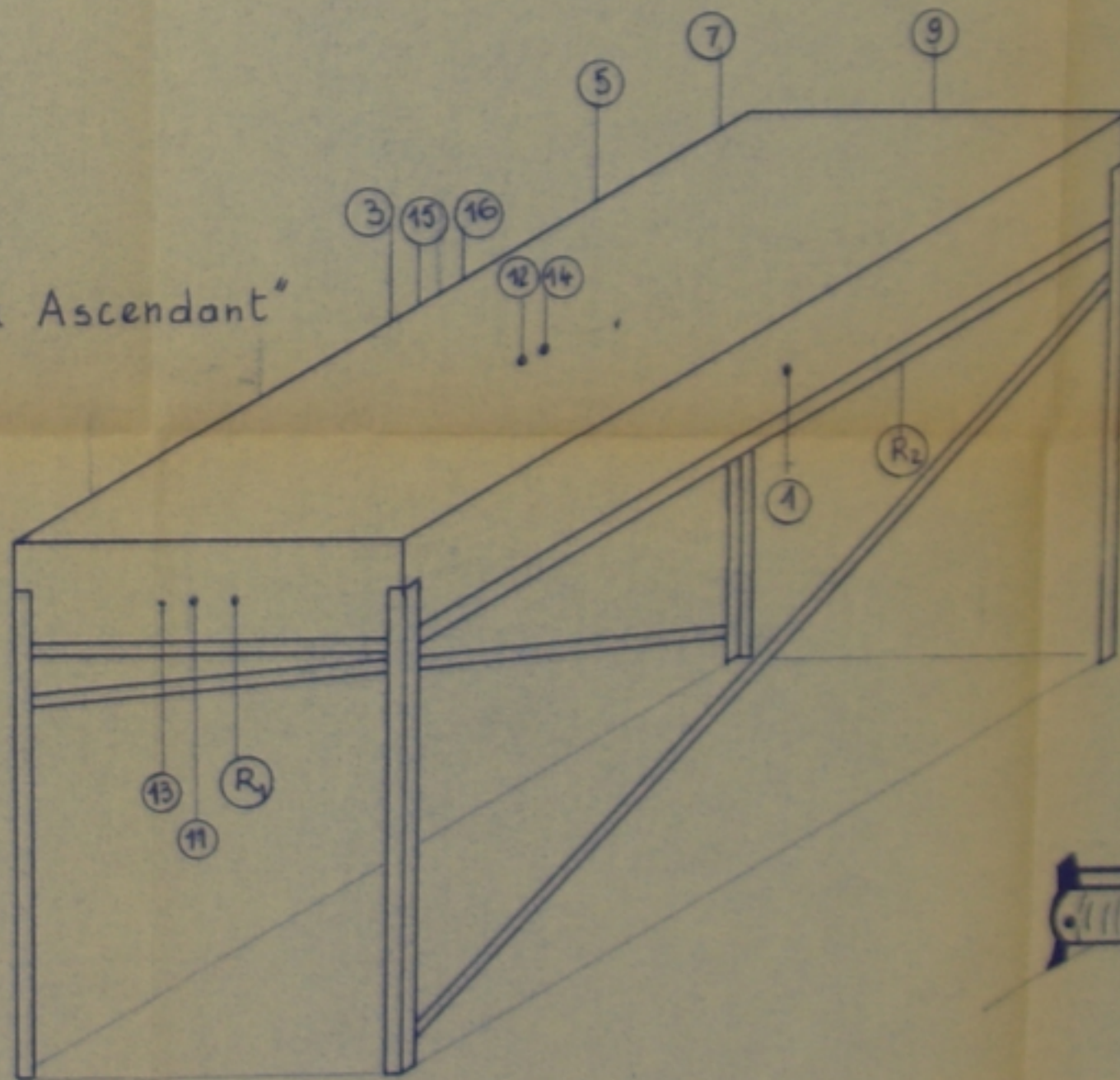
Domaine C: ensemble des couples  $(P_i, T)$  favorables à une utilisation du flux avec Double effet-serre.







"Flux Ascendant"



"Flux Descendant"

PMoal 76  
Année  
TL

PL B

Projet de fin d'études - Juin 76 - Ecole Nationale Polytechnique - ALGER  
 INSTALLATION EXPERIMENTALE  
 - CAPTEUR SOLAIRE -  
 BETAYEB S.  
 BENKHEROUOU O.  
 SALEM L.F.

