

Güneş fotosferinde elementlerin bolluklarının tayini  
Genel abaklar ve demire ait abaklar

Détermination des abondances dans la photosphère so-  
laire. Abaques générales et abaques relatives au cas du Fer

par

E. BALLI, N. GÖKDOĞAN, M. HOTİNLİ, R. KANDEL,  
A. KIRAL, J. C. PECKER

(Observatoire de l'Université d'Istanbul)

**Özet :** İstanbul Üniversitesi Observatuvarında lokal termodinamik denge ve bol-  
luk problemlerini münakaşa etmek maksadı ile Güneş spektrumunda rasatlanan çizgi-  
lerin etraflı bir etüdünü ele almış bulunuyoruz. Bu araştırmanın hemen başlangıcında  
bu güne kadar çizilmemiş veya çizilip de neşredilmemiş bazı grafiklerin lüzumunu his-  
settik. Bu çalışma şüphesiz ki oldukça uzun bir zamana ihtiyaç gösterecektir. Bundan  
dolayı benzer çalışmalar yapmak isteyenlere faydalı olur düşüncesi ile bu grafikleri  
neşretmeğe karar verdik.

\* \* \*

**Résumé :** A l'Observatoire de l'Université d'Istanbul nous avons entrepris une  
étude détaillée des raies observées dans le spectre solaire afin de pouvoir discuter le  
problème de l'équilibre thermodynamique local et des abondances. Dès le commence-  
ment de ces recherches nous nous sommes aperçus de la nécessité de certaines gra-  
phiques non construits ou non publiés jusqu'à ce jour. Le travail en vu prendra cer-  
tainement un temps assez long. C'est pourquoi nous avons décidé de publier ces gra-  
phiques dès aujourd'hui pensant être utile à d'autres qui voudraient faire des recher-  
ches similaires.

\* \* \*

## I. DÉTERMINATION DES TEMPÉRATURES D' EXCITATION

$I_a^{(1)}$

1 — Considérons une raie observée. Nous connaissons  $\lambda_0$  et nous  
pouvons mesurer l'intensité centrale  $I_0$  (l'intensité continue de référé-

(1) Cette partie de notre travail a été déjà distribuée (note No. 1) de façon  
préliminaire par le service d'Astrophysique générale de l'Observatoire de Paris-  
Meudon.



rence étant 1) et la demi-largeur  $h$ . Nous pouvons aussi mesurer la variation de  $I_\lambda$  avec  $\lambda^{(1)}$  (fig. Ia, 1). Nous admettons dans ce qui suit que le profil instrumental, le profil mesuré et le profil réel de la raie peuvent être correctement représentés par les profils de Voigt, étant bien entendu que nous n'accorderons aucun sens physique aux paramètres de cette représentation. L'équation d'un profil de Voigt peut s'écrire :

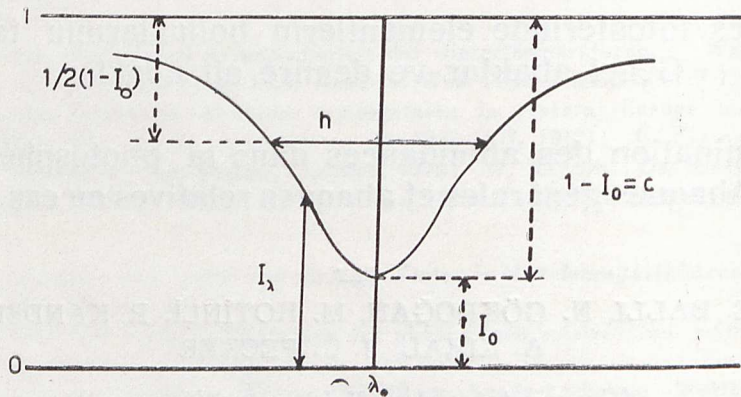


Fig. Ia, 1

$$(1) \quad \frac{1 - I_\lambda}{1 - I_0} = V_p \left[ \frac{\lambda - \lambda_0}{h} \right]$$

où le paramètre

$$(2) \quad p = [W/1 - I_0] / h = \frac{W}{hc}$$

varie de 1.06 à 1.57<sup>(2)</sup>. Cette fonction est tabulée par Van de Hulst et Reesinck<sup>(3)</sup> et nous l'avons tracée pour quelques valeurs de  $p$  dans la figure Ia, 3.

2 — Nous nous proposons de chercher les caractéristiques du profil réel de la raie avant qu'il n'ait été déformé par le manque de résolution de l'instrument.

Nous commençons en traçant  $\frac{1 - I_\lambda}{1 - I_0}$  en fonction de  $\frac{\lambda - \lambda_0}{h}$  pour la raie mesurée, sur un graphique ayant la même échelle que les courbes théoriques de la figure Ia, 3 décrits ci-dessus.

En pratique, on peut calculer les coordonnées dans les unités de la figure Ia, 3 directement à partir des coordonnées de l'Atlas d'Utrecht (ou d'un autre type de tracé microphotométrique) sans expliciter les opérations intermédiaires. Un exemple d'une courbe ainsi obtenue

(1) Naturellement il faudra souvent corriger d'abord les profils observés pour la dépression apparente du continu (de 3700 à 4000 Å environ) ou pour les blends.

(2) Le paramètre  $p$  qui caractérise la forme de la raie est égal à 1 dans le cas d'un profil triangulaire ou rectangulaire, à 1.06 dans le cas d'un profil gaussien. La différence ( $p-1$ ) mesure en quelque sorte l'importance des ailes.

(3) Van de Hulst, Reesinck, Ap. J. (1947), 106, 121.



est donné dans les fig. Ia, 4 et Ia, 5. Nous pouvons donc comparer directement le profil mesuré avec les courbes théoriques, et ainsi déterminer la valeur de  $p$ . Cette valeur sera nécessairement approximative et souvent elle ne sera pas cohérente avec les valeurs mesurées de  $W$  et  $I_0$  à partir desquelles on peut aussi calculer la valeur de  $p$  d'après l'équation (2). Nous devons, dans chaque cas, estimer la précision.

3 — Dans la figure 6 nous avons tracé les fonctions suivantes :

$$\begin{aligned} (3a) \quad & \left\{ \begin{array}{l} \beta_1/\beta_2 = q(p) \\ \beta_1/h = r(p) \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \frac{\beta_2^2}{h^2} = s(p) \\ (3b) \end{aligned}$$

Donc de la valeur mesurée de  $h$  et la valeur déterminée de  $p$ , nous pouvons calculer  $\beta_1$  (et  $\beta_2$  ou  $\beta_2^2$ ).

Si  $\beta_1^*$  et  $\beta_2^*$  caractérisent le profil instrumental, nous avons pour la raie mesurée :

$$(4) \quad \begin{aligned} \beta_1 &= \beta_1^* + \beta_1' \\ \beta_2^2 &= \beta_2^{*2} + \beta_2'^2 \end{aligned}$$

où  $\beta_1'$  et  $\beta_2'$  sont les paramètres de Voigt de la raie réelle. Nous pouvons représenter le profil mesuré et le profil instrumental par des vecteurs dans un diagramme  $(\beta_1, \beta_2^2)$ . D'après les relations (4), pour arriver au vecteur  $(\beta_1^1, \beta_2'^2)$  représentant la raie réelle, il faut simplement soustraire le vecteur du profil instrumental  $(\beta_1^*, \beta_2^{*2})$  du vecteur  $(\beta_1, \beta_2^2)$  représentant le profil mesuré (fig. Ia, 2).

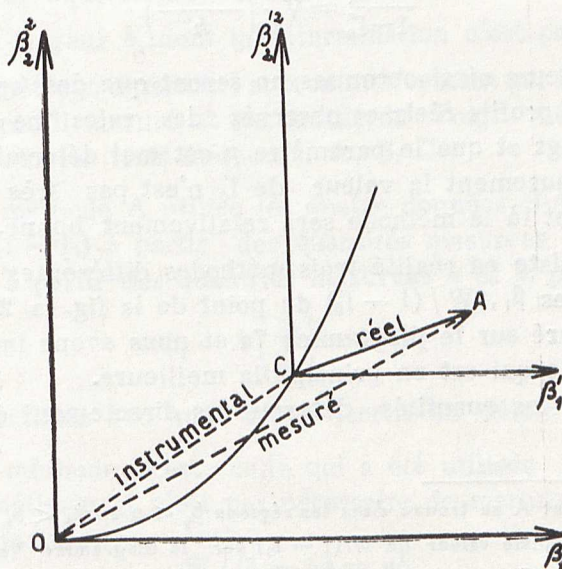


Fig. Ia. 2



4 — Pour cette opération, nous utilisons les figures Ia, 7a et Ia, 7b dont les coordonnées sont  $\beta_1$  et  $\beta_2^2$ . Nous avons tracé des iso  $W/(1-I_0)$  sur les deux diagrammes; sur le diagramme 7b nous avons aussi tracé des paraboles représentant des iso,  $(\beta_1/\beta_2)$ ; et sur le diagramme 7a nous avons tracé la parabole représentant le profil instrumental relatif à l'Atlas d'Utrecht, chaque point de la parabole correspondant à une valeur de  $\lambda$ . Ces diagrammes peuvent être utilisés pour trois différentes gammes, indiquées par les valeurs soulignées 0, 1 ou 2 fois. Avec ces diagrammes et les valeurs de  $\beta_1$  et  $W/(1-I_0)$  déjà déterminées pour le profil mesuré, nous pouvons déterminer les paramètres du profil réel:  $\beta'_1/\beta'_2$  et  $W'/(1-I'_0)$ . Nous faisons cela en posant le diagramme 7b sur le diagramme 7a; ainsi: le point C de la fig. Ia, 2 est déterminé par  $\lambda_0$ ; le point A par  $\beta_1$  et  $W/1-I_0$  sur le<sup>(1)</sup> diagramme 7a; sur le diagramme 7b on trouve

$$\beta'_1/\beta'_2 \quad \text{et} \quad W'/(1-I'_0)$$

Faisant l'hypothèse que la largeur équivalente n'est pas altérée par les effets instrumentaux, nous calculons  $I'_0$ :

$$1 - I'_0 = W / [W' / (1 - I'_0)]$$

5 — Nous pouvons maintenant aller plus loin en calculant les valeurs de  $p'$  et  $h'$  et en traçant le profil de Voigt représentant au mieux la raie réelle. Avec la valeur de  $\beta'_1/\beta'_2$ , nous pouvons déterminer  $p'$  sur la fig. Ia, 3. Donc nous pouvons calculer  $h'$ :

$$(2' a) \quad h' = \left[ \frac{W'}{1 - I'_0} \right] / p'$$

Finalement nous pouvons tracer le profil de Voigt de la raie réelle d'après la formule:

$$(1') \quad \frac{1 - I'_\lambda}{1 - I'_0} = V_{p'} \left( \frac{\lambda - \lambda_0}{h'} \right)$$

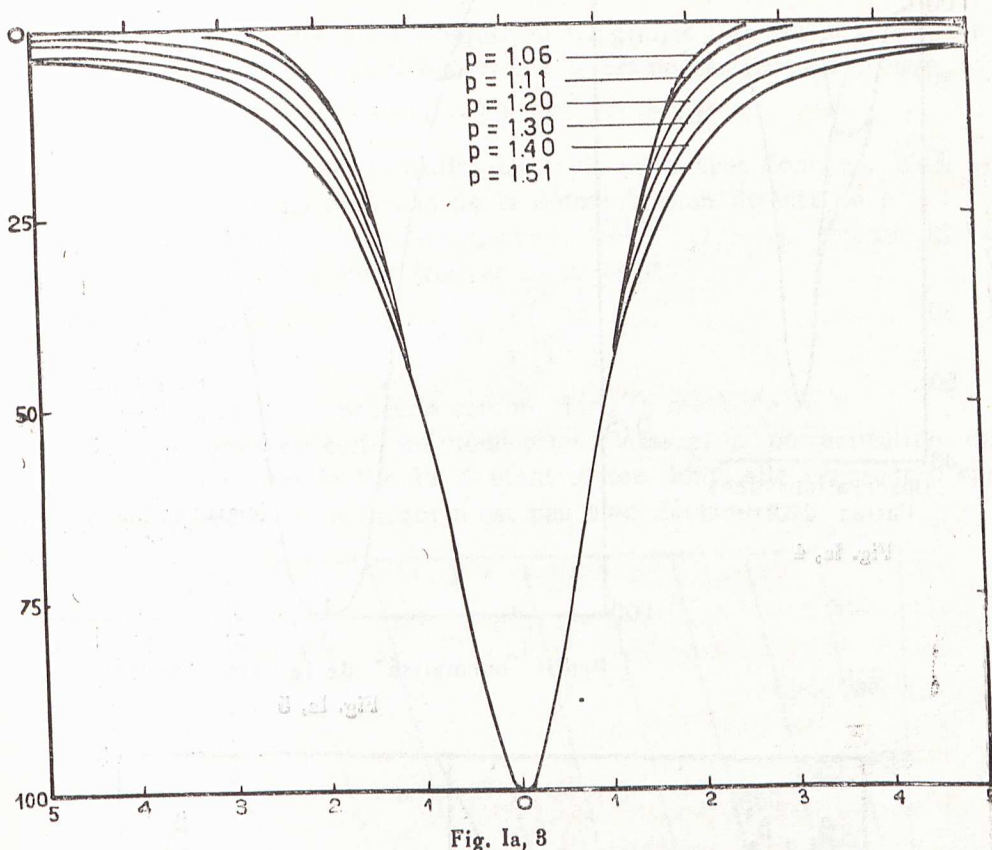
Toutes les valeurs ainsi obtenues ne seront que des approximations, parce que les profils réels et observés des raies ne sont pas des profils de Voigt et que le paramètre  $p$  est mal déterminé dans tous les cas. Heureusement la valeur de  $I'_0$  n'est pas très sensible à la valeur de  $p$ , et là la méthode sera relativement bonne.

6 — Il existe en réalité trois méthodes différentes pour calculer les coordonnées  $\beta_1$ ,  $W/(1-I_0)$  du point de la fig. Ia, 2 représentant le profil mesuré sur le diagramme 7a et nous avons indiqué ci-dessus la méthode qui est en principe la meilleure.

Rappelons les quantités déterminées directement du profil mesuré:

(1) Si le point A se trouve dans les régions  $\beta_2^2 < 0$  ou  $\beta_1 < 0$ , nous prenons un point A\* avec la même valeur de  $W/(1-I_0)$  sur le diagramme 7a, pour laquelle  $\beta_2^2 = 0$  ou  $\beta_1 = 0$ . Cette situation est due à l'imprécision des déterminations du profil instrumental et de la valeur de  $p$ .





- (i) l'intensité centrale  $I_0$  qui est bien déterminée ;
  - (ii) la largeur équivalente  $W$ , assez bien déterminée ;
  - (iii) la demi-largeur  $h$ , dont la détermination n'est pas bonne ;
  - (i) le paramètre  $p$ , déterminé approximativement par la comparaison entre le profil mesuré et les profils de Voigt théoriques.
- Nous appellerons les trois méthodes, A, B, C.

A — La méthode A utilise les quatre données ci-dessus. On détermine  $W / (1 - I_0)$  à partir des quantités mesurées  $W$  et  $I_0$ . On détermine  $\beta_1$  à partir des quantités mesurées  $h$  et  $p$ , par la relation

$$(5) \quad \beta_1 = h \left( \frac{\beta_1}{h} \right) = hr(p)$$

C'est cette méthode que nous avons décrite en détail.

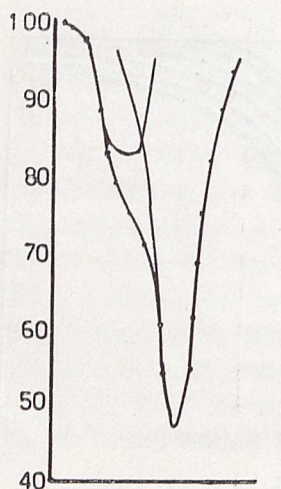
B — La méthode B est celle qui a été utilisée par B. Bell<sup>(1)</sup>. Avec cette méthode, il n'est pas nécessaire de mesurer  $W$  ; on utilise la formule (2)

$$W / (1 - I_0) = ph$$

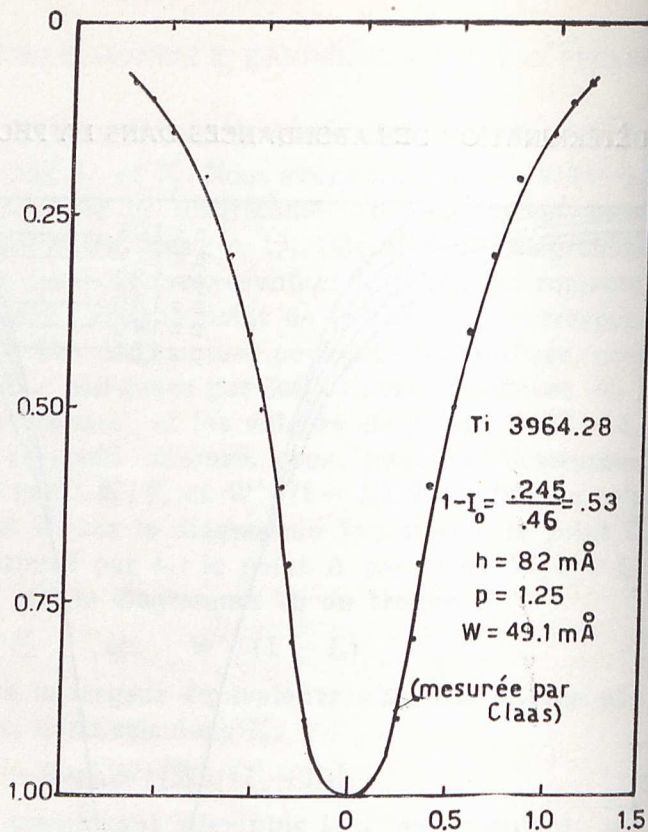
On détermine  $\beta_1$  avec la formule (5), comme dans la méthode A.

(1) B. Bell, A study of Doppler and damping effects in the solar atmosphere. Harvard Observatory Special Report, No. 35, 1951 pp 54, 68, B 12.





Observations dans l'atlas d'Utrecht  
Fig. Ia, 4



Profil "normalisé" de la raie observée  
Fig. Ia, 5

Ti 3964.28  
 $1-I_0 = \frac{.245}{.46} = .53$   
 $h = 82 \text{ m}\text{\AA}$   
 $p = 1.25$   
 $W = 49.1 \text{ m}\text{\AA}$   
 (mesurée par Claas)

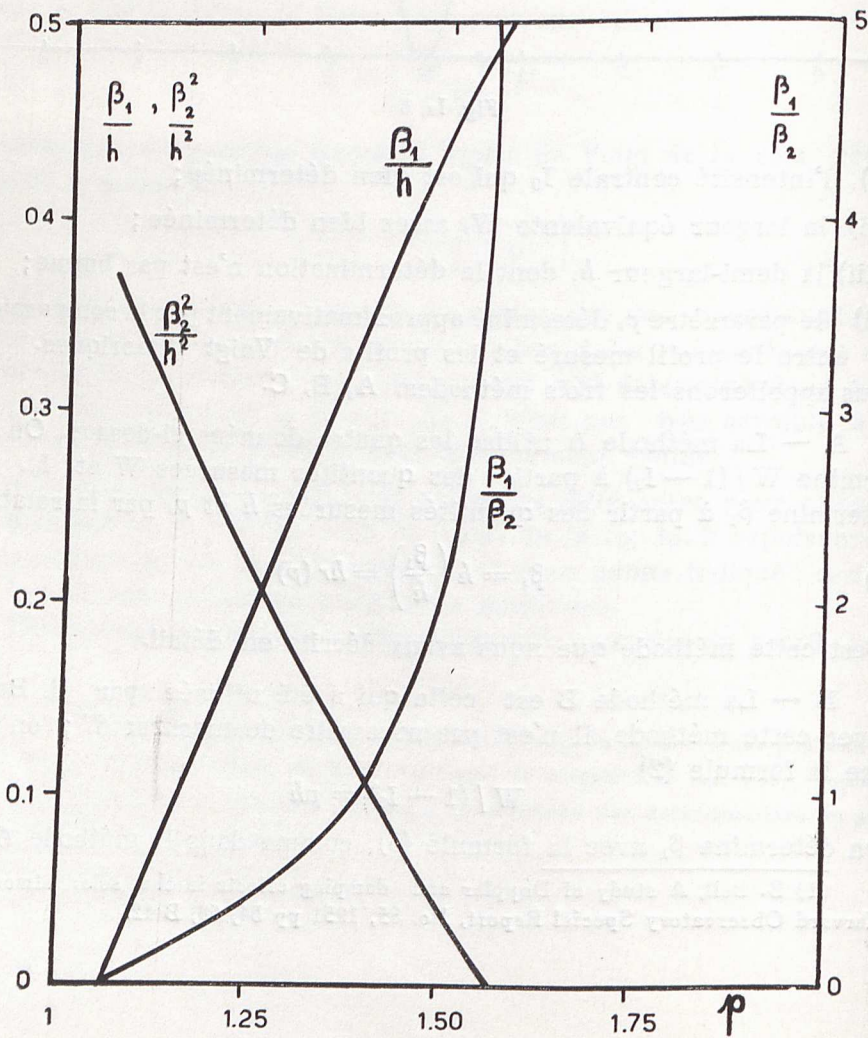


Fig. Ia, 6







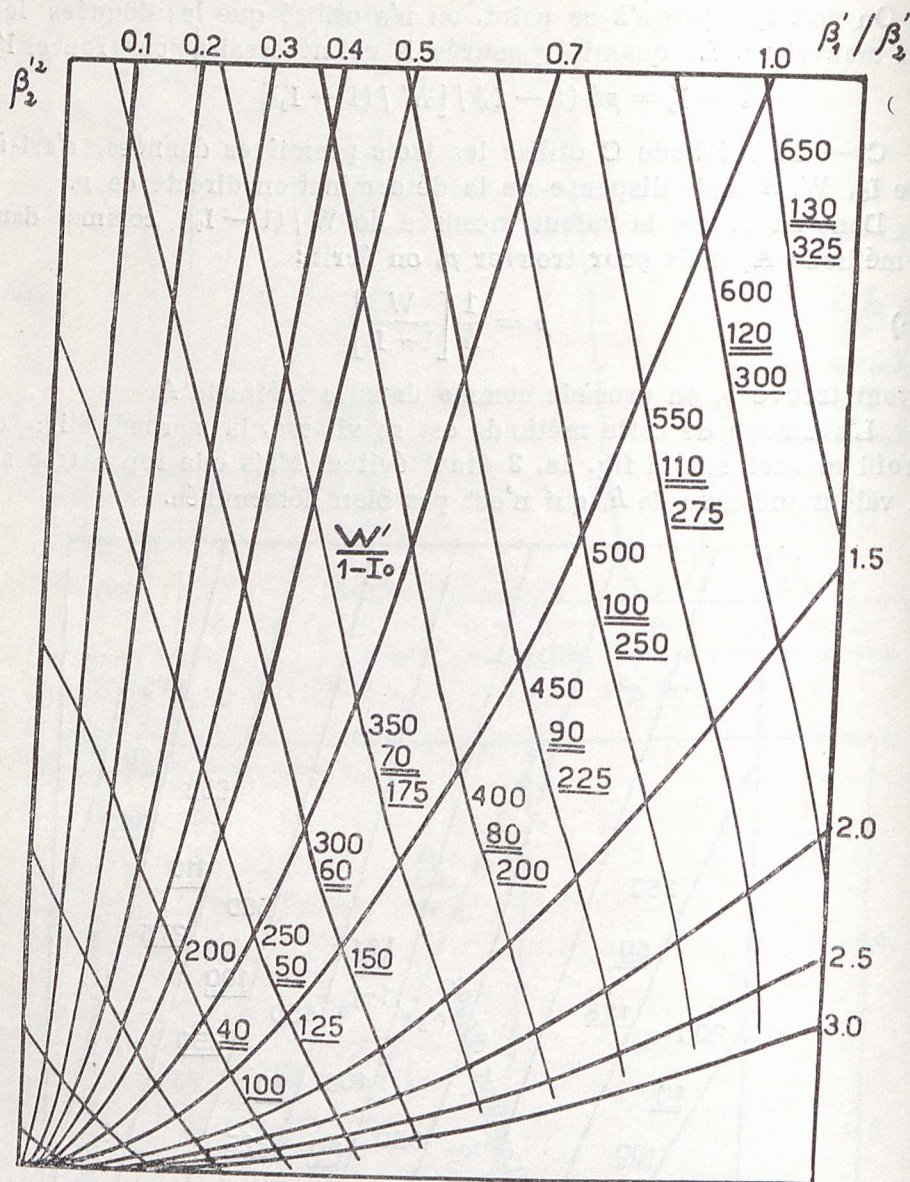


Fig. 1a, 7b

Ib<sup>(1)</sup>

1 — Le graphique Ib a été construit dans le but de lire rapidement les températures "d'excitation" au centre des raies solaires. Il représente en fonction de la longueur d'onde, la température d'excitation exprimée en % du spectre continu. Ce graphique est d'un usage commode et rapide suffisamment précis dans la plupart des cas.

(1) La figure Ib, 1 a été distribuée, sous une forme préliminaire, comme note No. 5 du service d'Astrophysique générale de l'Observatoire de Paris-Meudon.



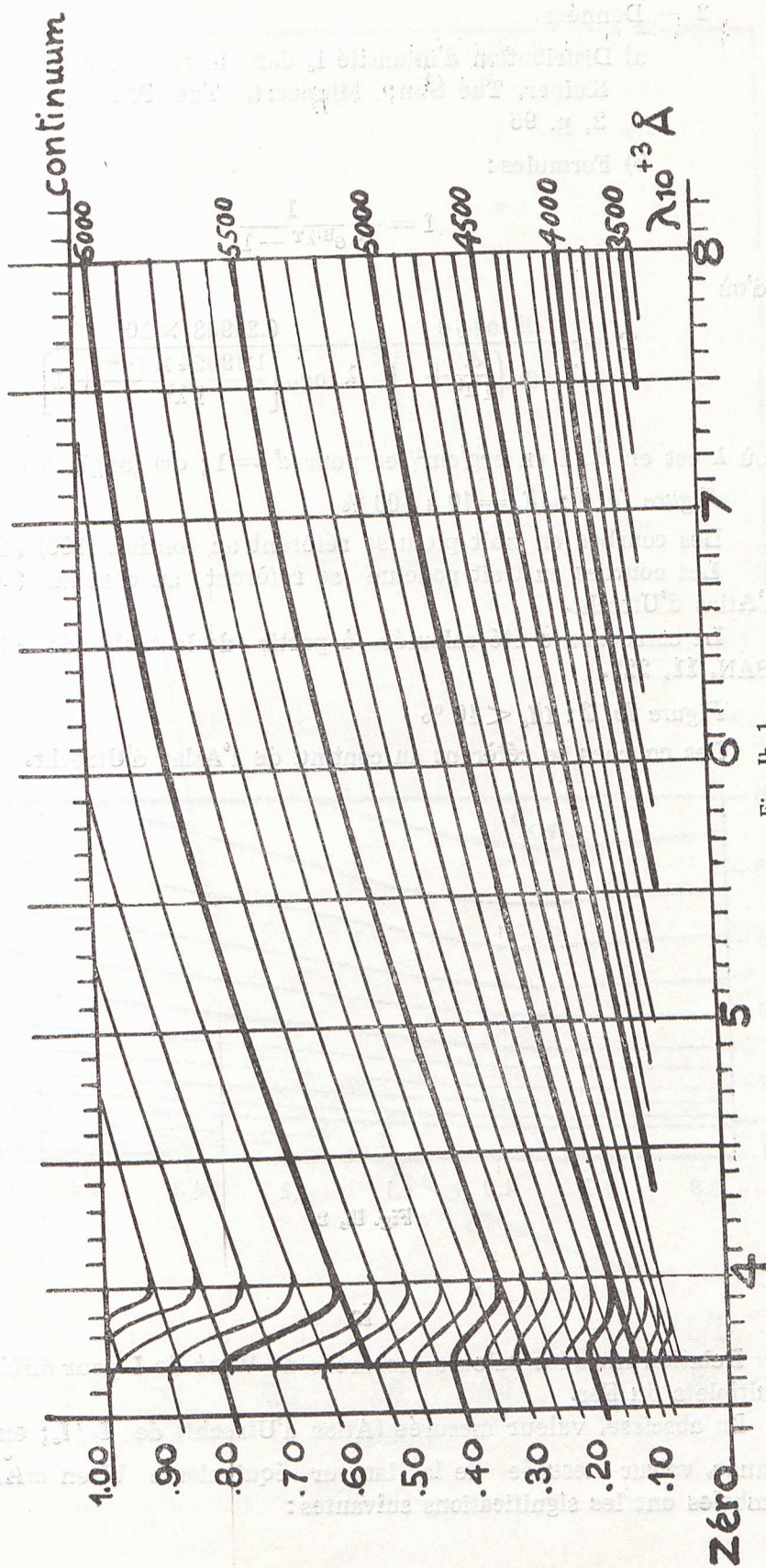


Fig. Ib, 1



2 — Données.

a) Distribution d'intensité  $I_c$  dans le spectre continu.  
 Kuiper, The Sun; Minnaert, The Photosphere, Table 2, p. 95

b) Formules :

$$I = \frac{A}{\lambda^5} \frac{1}{e^{B/\lambda T} - 1}$$

d'où

$$T = \frac{B \log_{10} e}{\lambda \log_{10} \left( \frac{A}{I \lambda^5} + 1 \right)} = \frac{6.24908 \times 10^7}{\lambda \log_{10} \left[ \frac{1.19054 \times 10^{35}}{I \lambda^5} + 1 \right]}$$

où  $\lambda$  est en Å,  $I$  en erg/cm<sup>2</sup>/sec pour  $d\lambda=1$ ;  $d\omega$  (angle solide) = 1

Figure Ib, 1:  $I/I_c = 10$  à 100 %

Les courbes en trait plein se réfèrent au continu (100) réel.

Les courbes en trait ponctué se réfèrent au continu (100) de l'Atlas d'Utrecht.

La correction a été calculée à partir de la table de Michard, BAN, 11, 227.

Figure Ib, 2:  $I/I_c < 10$  %

Les courbes se réfèrent au continu de l'Atlas d'Utrecht.

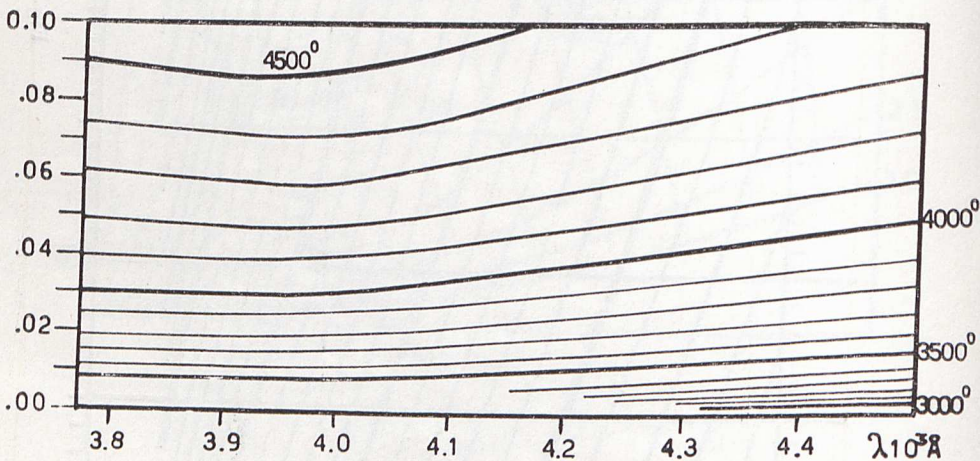


Fig. Ib, 2

$I_c$

Relation entre les valeurs mesurées de  $W$  et de  $I$  pour différents multiplets du Fer.

En abscisse, valeur mesurée (Atlas d'Utrecht) de  $I_0/I_c$ ; en ordonnée, valeur mesurée de la largeur équivalente  $W$  en mÅ. Les symboles ont les significations suivantes :



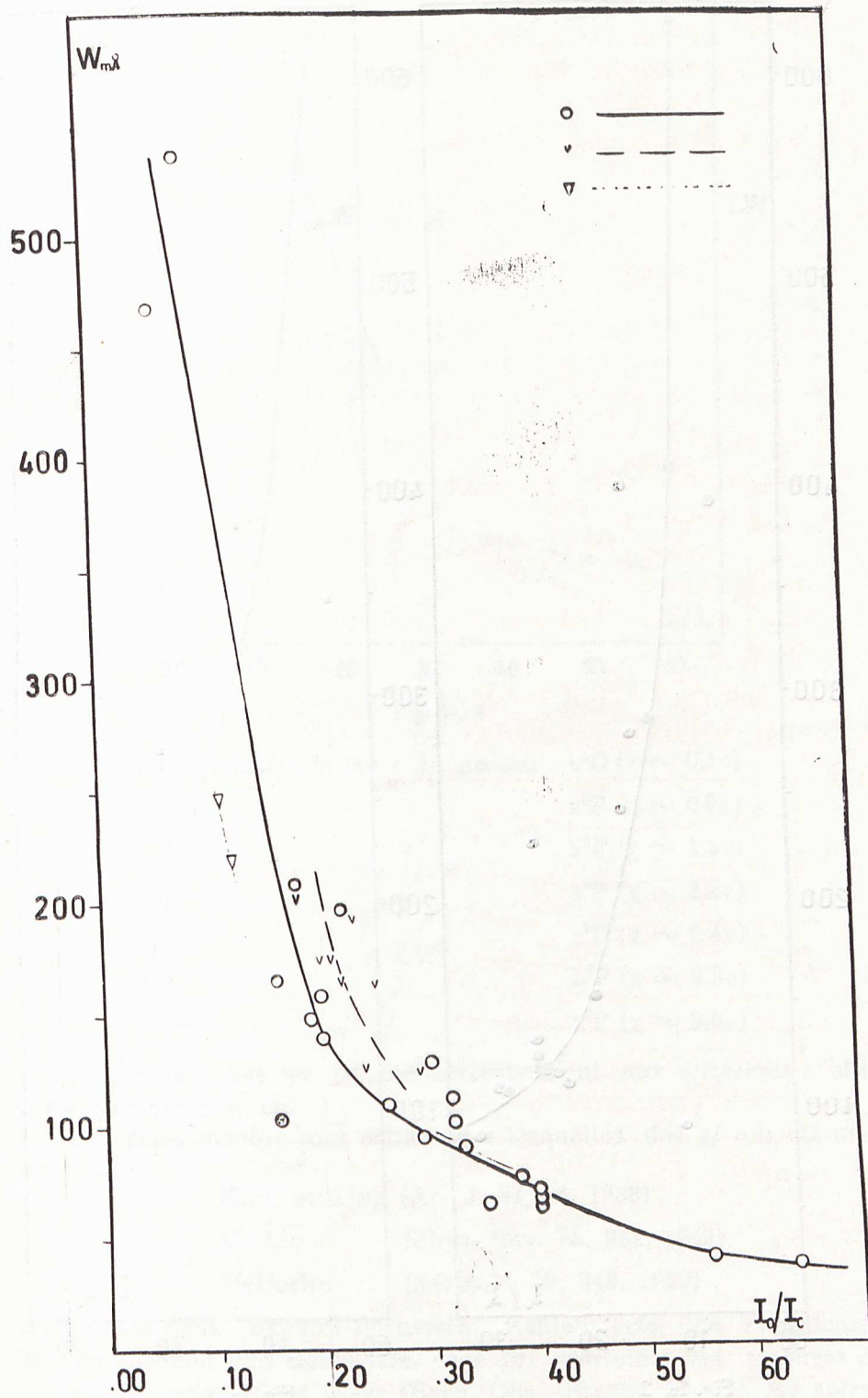


Fig. 1c, 1



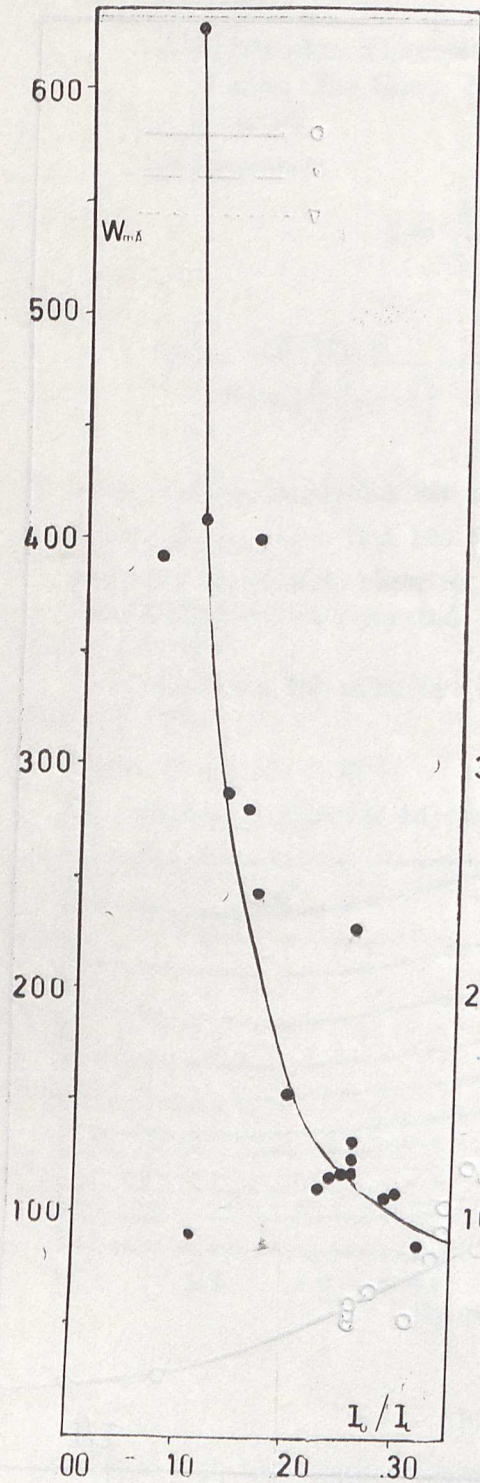


Fig. 1c, 2

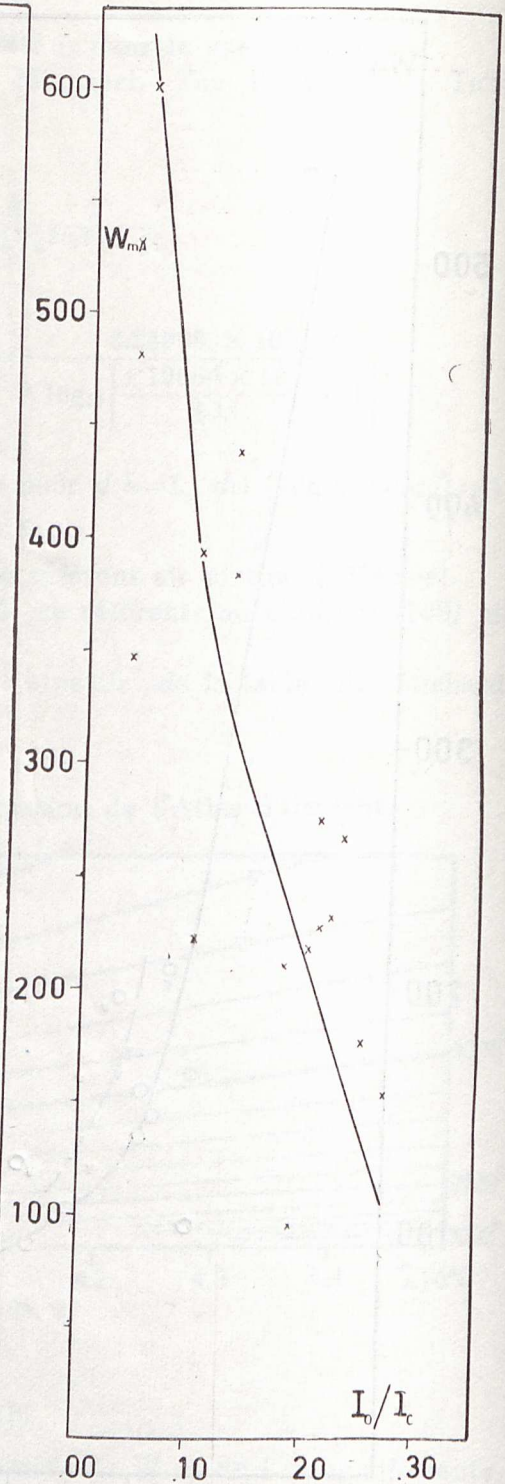


Fig. 1c, 3



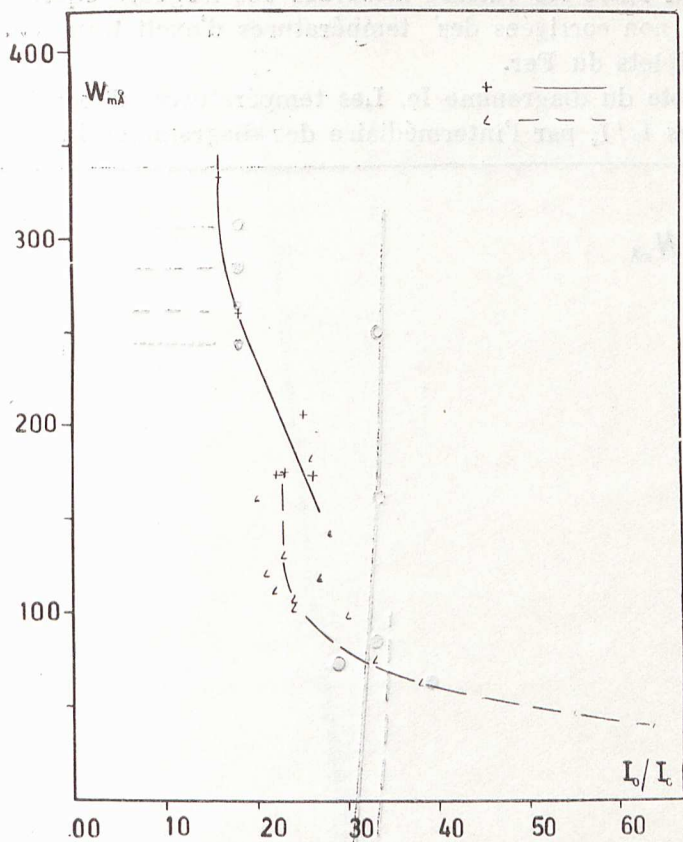


Fig. Ic, 4

- |   |                            |                             |
|---|----------------------------|-----------------------------|
| ○ | multiplets issus du niveau | $a^5D$ ( $\chi \sim 0.1v$ ) |
| × |                            | $a^5F$ ( $\chi \sim 0.9v$ ) |
| • |                            | $a^3F$ ( $\chi \sim 1.5v$ ) |
| ∇ |                            | $a^5P$ ( $\chi \sim 2.2v$ ) |
| ▽ |                            | $z^7D$ ( $\chi \sim 2.4v$ ) |
| △ |                            | $b^3P$ ( $\chi \sim 2.8v$ ) |
| + |                            | $z^7P$ ( $\chi \sim 3.0v$ ) |

Remarquer que les courbes correspondant aux différents multiplets ne coïncident pas.

Les raies placées sont celles pour lesquelles des  $gf$  ont été mesurés par

King et King (Ap. J. 87, 24, 1938)

Carter (Phys. Rev. 76, 962, 1949)

Hefferlin (J.O.S.A., 49, 948, 1959)

ou publiés dans Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, III, Astronomie und Geophysik, page 151. Certains des mesures de  $W$  ont été prises dans Claas (Rech. Obs. Utrecht, 12, 13), les autres raies ont été mesurées par les auteurs dans l'Atlas d'Utrecht.



Id

Relation entre les valeurs mesurées des largeurs équivalentes et les valeurs non corrigées des températures d'excitation pour différents multiplets du Fer.

Voir note du diagramme Ic. Les températures d'excitation sont déduites des  $I_0/I_c$  par l'intermédiaire des diagrammes Ia.

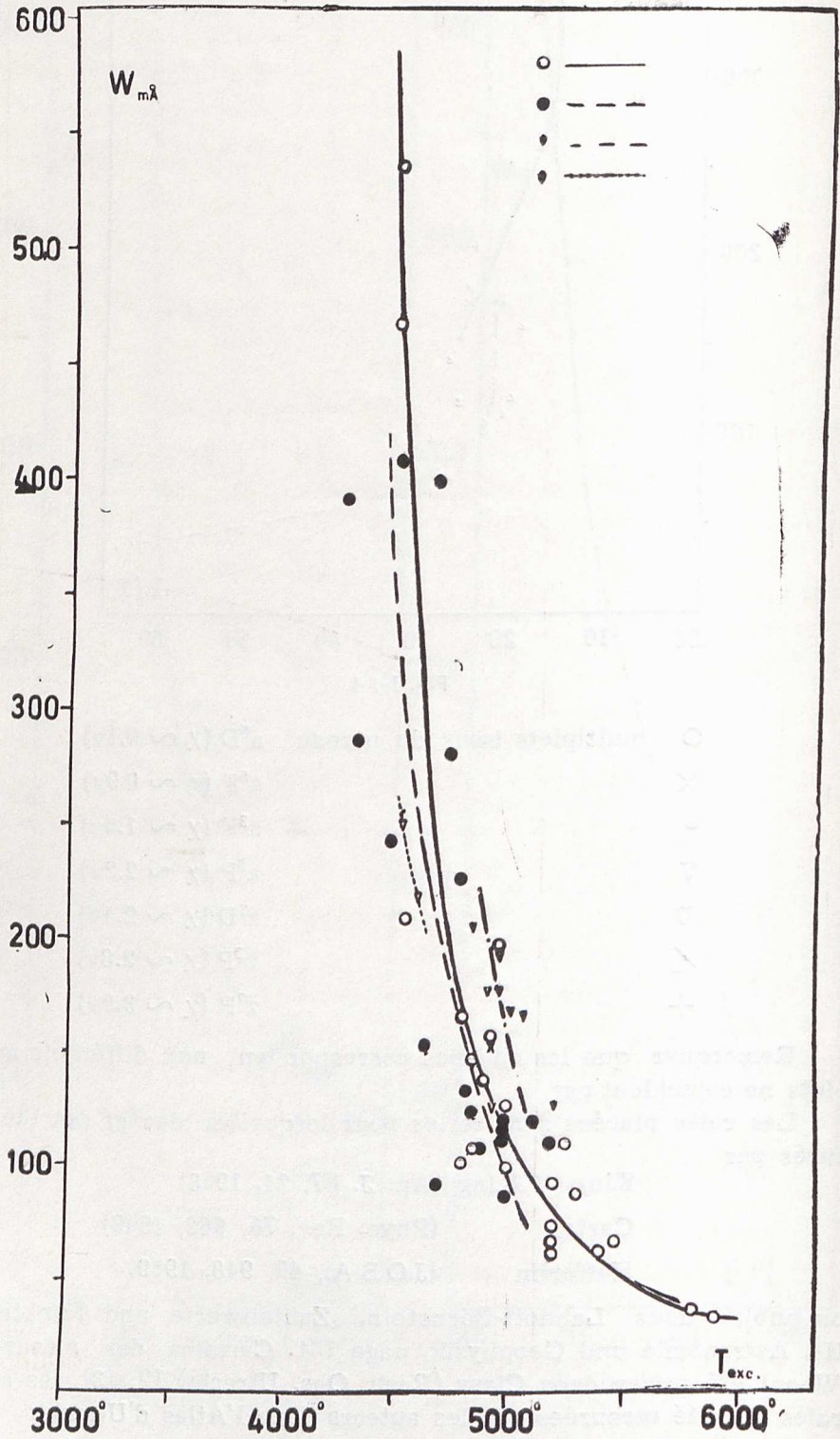


Fig. Id, 1



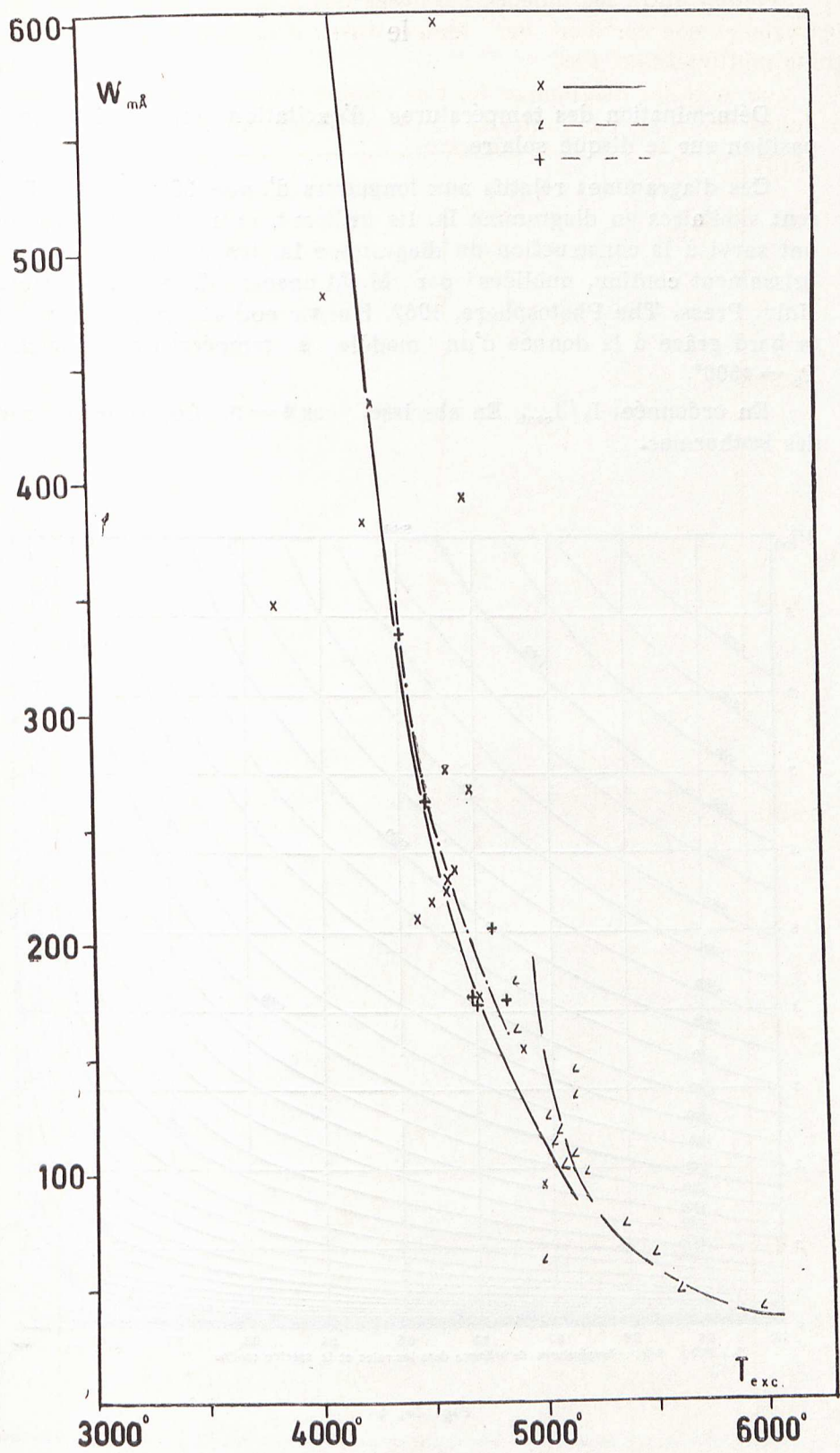


Fig. Id, 2



le

Détermination des températures d'excitation en fonction de la position sur le disque solaire.

Ces diagrammes relatifs aux longueurs d'onde 3830 Å et 4135 Å sont similaires au diagramme Ia. Ils utilisent, outre les données qui ont servi à la construction du diagramme Ia, les valeurs de l'assombrissement continu, publiées par M. Minnaert (The Sun, Chicago Univ. Press, The Photosphere, 1952, Kuiper ed.) et extrapolées vers le bord grâce à la donnée d'un modèle à température de surface  $T_0 = 4500^\circ$ .

En ordonnée,  $I_0 / I_{\text{cont}}$ . En abscisse,  $\cos \theta = \mu$ . Les courbes sont

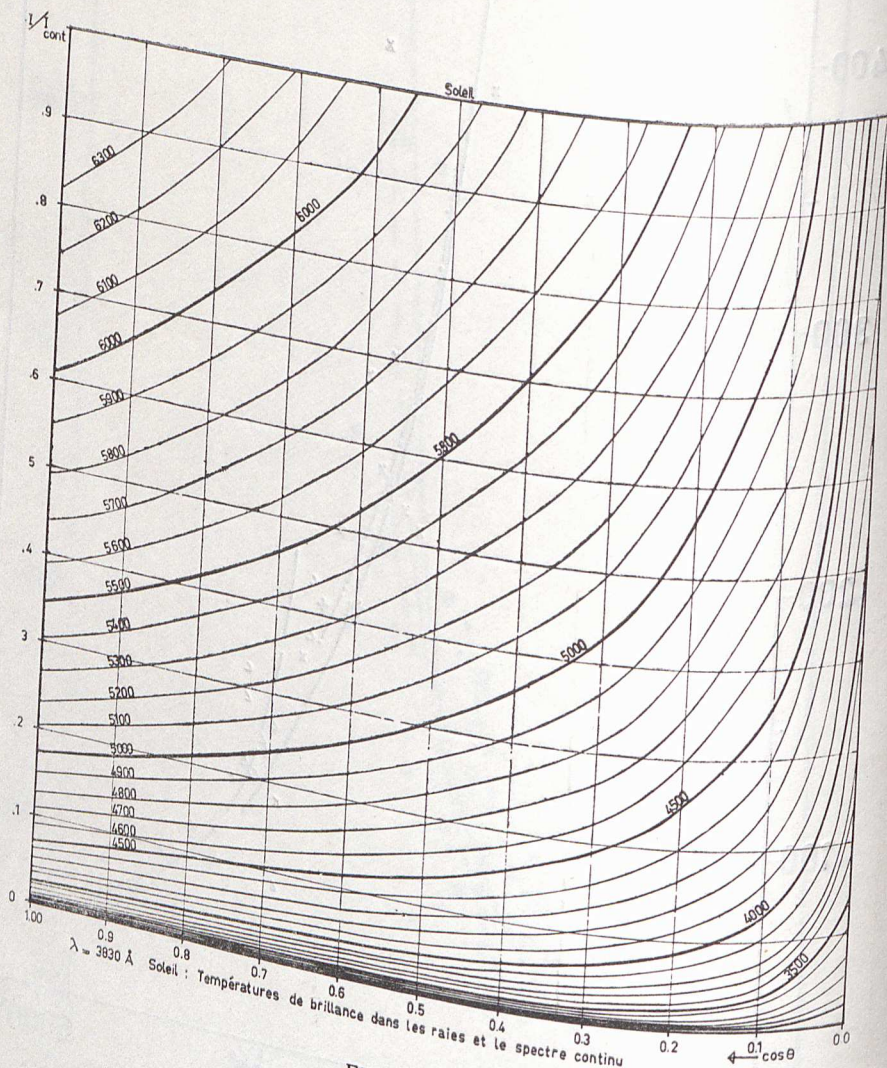


Fig. Ia, 1



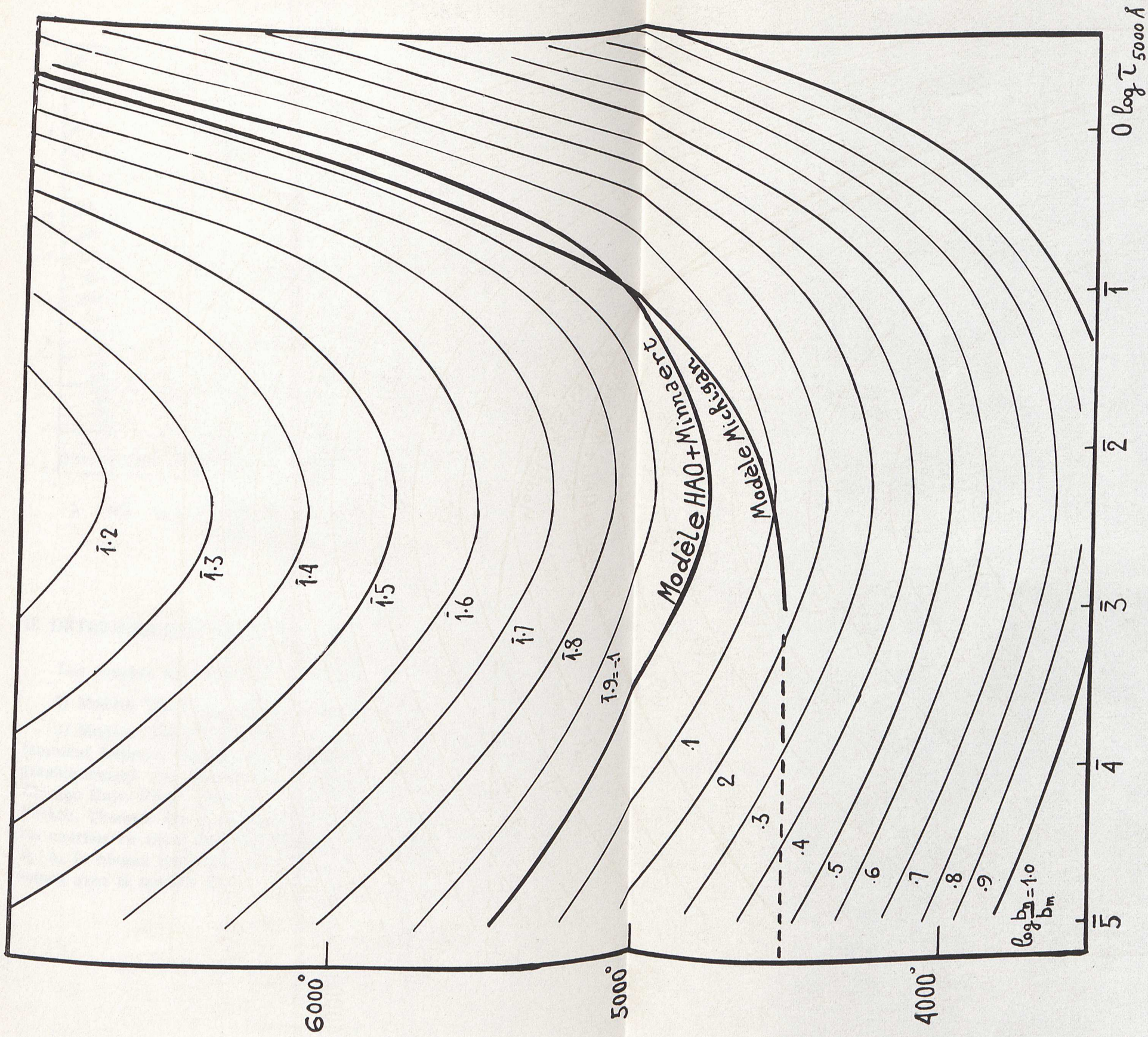
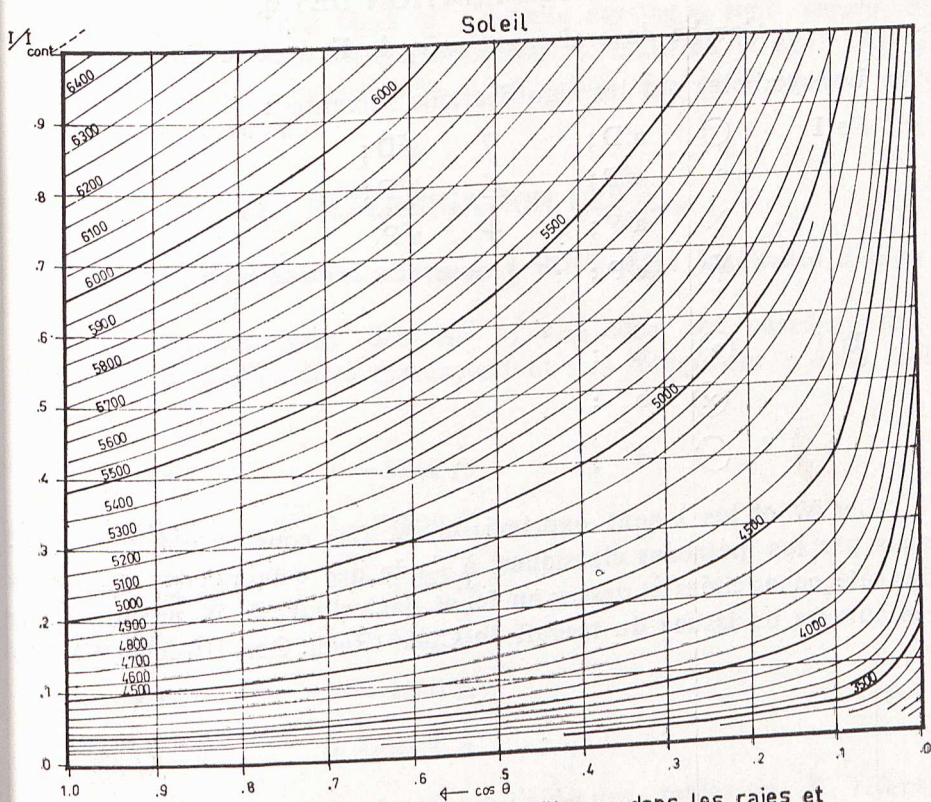


Fig. II, 1





$\lambda$ . 4135 Å Soleil: Températures de brillance dans les raies et le spectre continu

Fig. 1e, 2

## II. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES $b$ D'ÉCART à l'E. T. L.

Les courbes en traits pleins représentent les modèles suivants :

1) Modèle "Michigan," : Aller, Pierce, Ap. J. 116, 176, 1952

2) Modèle "HAO + Minnaert" calculé par F. Praderie (voir notamment Lefevre, Pecker, Ann. Astro. sous presse) en interpolant graphiquement les deux modèles Minnaert (The Sun, Kuiper ed, Chicago Univ. Press, 1952, The Photosphere) et HAO (Athat, Menzel, Pecker, Thomas, Ap. J. Suppl. 1, 505, 1955). Les valeurs portées sur les courbes en traits fins correspondent au logarithme du rapport  $b_n/b_m$  ( $n$  niveau inférieur,  $m$  niveau supérieur) calculé par comparaison avec le modèle HAO + Minnaert.



### III. DÉTERMINATION DES $\eta_0$

#### Courbe de croissance pour le Fe I et le Ti I

Les symboles ont les significations suivantes :

- |      |   |          |   |          |
|------|---|----------|---|----------|
| Fe I | ○ | $a^5D$ ; | ▽ | $z^7D$ ; |
|      | • | $a^3F$ ; | ∠ | $b^3P$ ; |
|      | × | $a^5F$ ; | + | $z^7P$ . |
|      | ∇ | $a^5P$ ; |   |          |

- |      |   |     |
|------|---|-----|
| Ti I | ⊙ | a ; |
|      | ⊗ | b ; |
|      | ○ | d ; |

Les  $W$  et les  $\lambda$  sont exprimés en Å. Les courbes ont été obtenues par les méthodes classiques, à l'aide des valeurs de  $gf$  issues des références citées ci dessus en Ic, et des valeurs de  $W$  mesurées par les auteurs ou issues du travail de Claas (Rech. Obs. Utrecht, 12, 13).

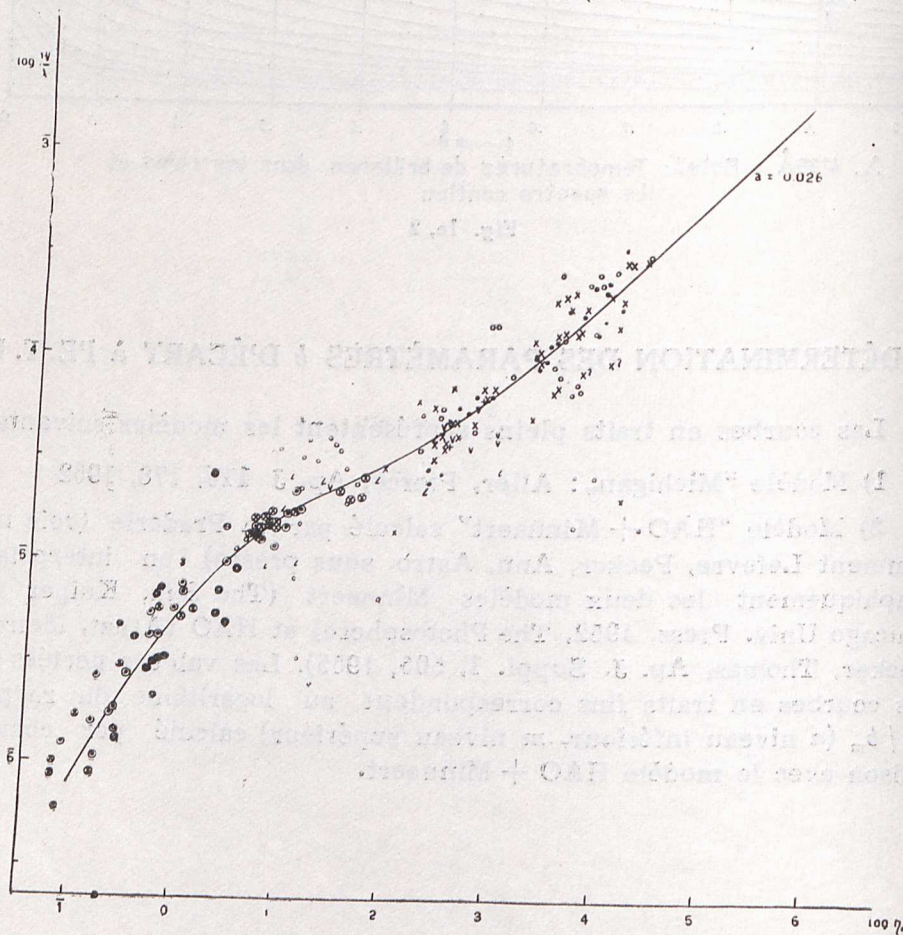


Fig. III, 1



La courbe en trait plein et l'échelle des  $\log \eta_0$  sont issues du travail théorique (courbes Milne Eddington, ETL) de Wrubel (Ap. J. 109, 66, 1949). La discussion de l'utilisation de cette courbe sera publiée ultérieurement.

#### IV. DÉTERMINATION DES $\tau_{\text{cont}}$ .

##### a — Calcul de l'opacité continue à différentes longueurs d'onde

Les courbes sont des iso  $\kappa_\lambda / \kappa_{5000}$  dans les coordonnées  $\theta$  (abscisse) et  $\log P_e$ . Elles correspondent aux longueurs d'onde suivantes :

Fig. IVa, 1	$\lambda = 3840 \text{ \AA}$
Fig. IVa, 2	$\lambda = 4000 \text{ \AA}$
Fig. IVa, 3	$\lambda = 4150 \text{ \AA}$
Fig. IVa, 4	$\lambda = 4450 \text{ \AA}$
Fig. IVa, 5	$\lambda = 4600 \text{ \AA}$
Fig. IVa, 6	$\lambda = 5300 \text{ \AA}$

Ces courbes ont été calculées à l'aide des tables de E. Vitense (Z. f. Ap. 28, 1951, 81) telles qu'elles sont publiées dans le livre de C. W. Allen, Astrophysical quantities, 1955, p. 94 et 59. Les irrégularités peuvent n'être pas réelles et provenir d'erreurs sur le dernier chiffre significatif publié par Allen.

Les courbes en pointillées représentent le modèle HAO + Minnaert utilisé par les auteurs (voir ci-dessus, II) et Lefevre, Pecker (Ann. Astr., 1961, sous presse).



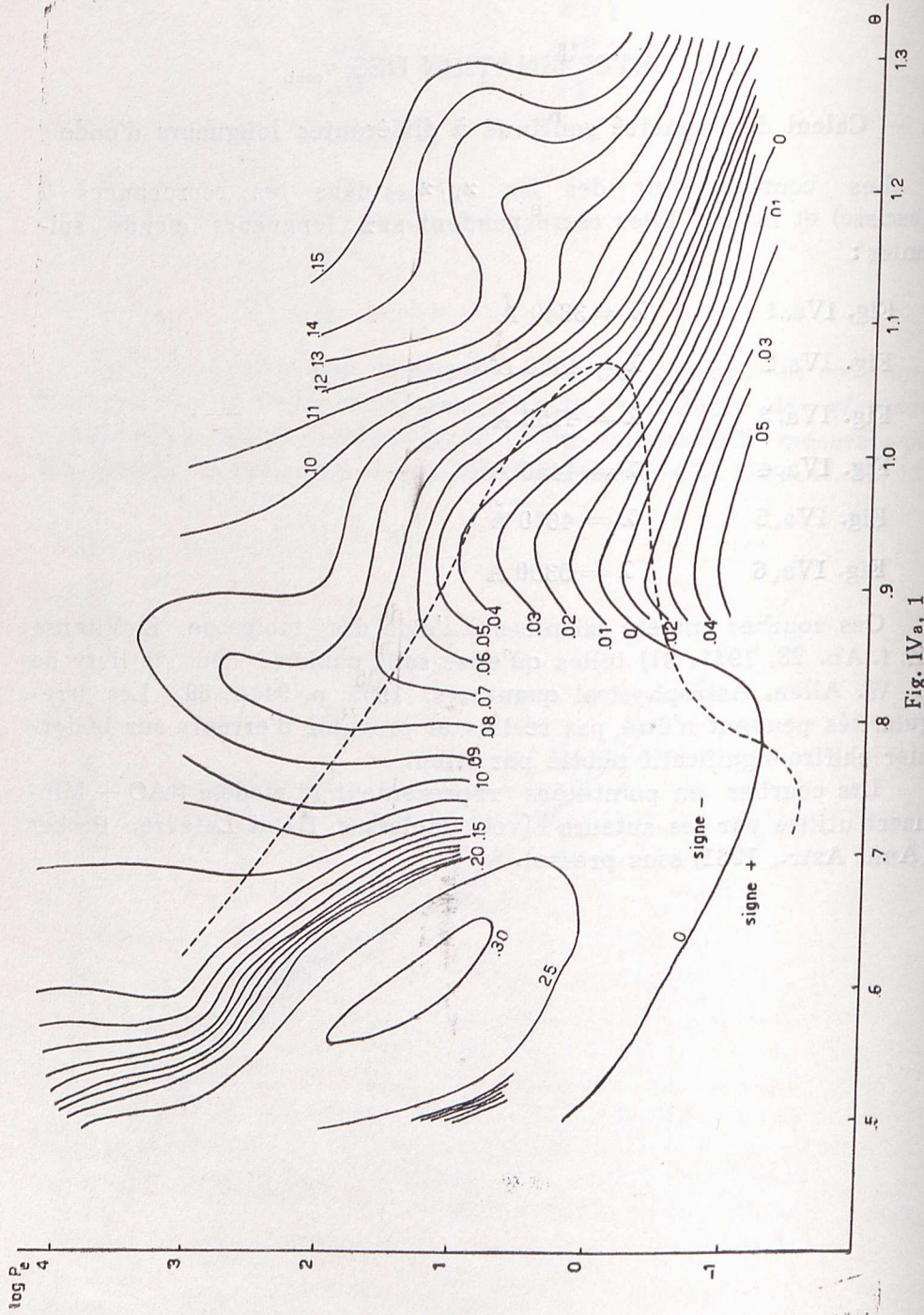


Fig. IVa, 1



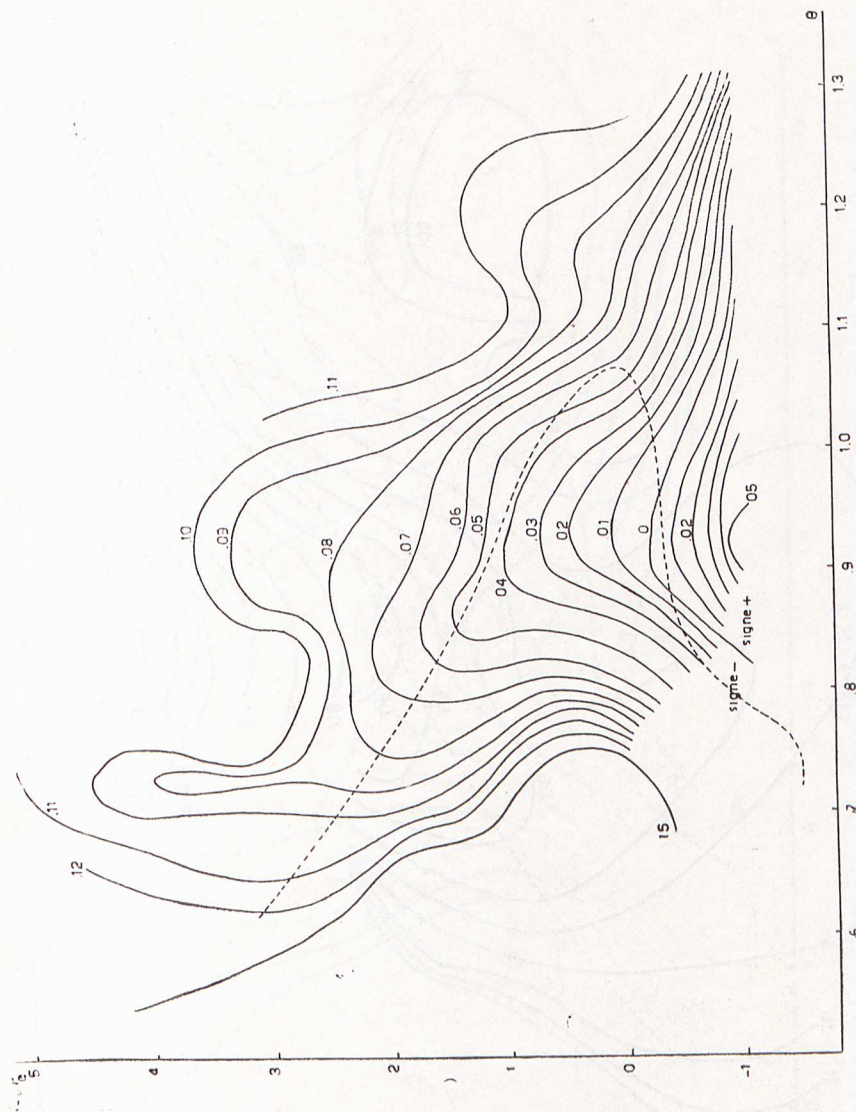


Fig. IVa 2



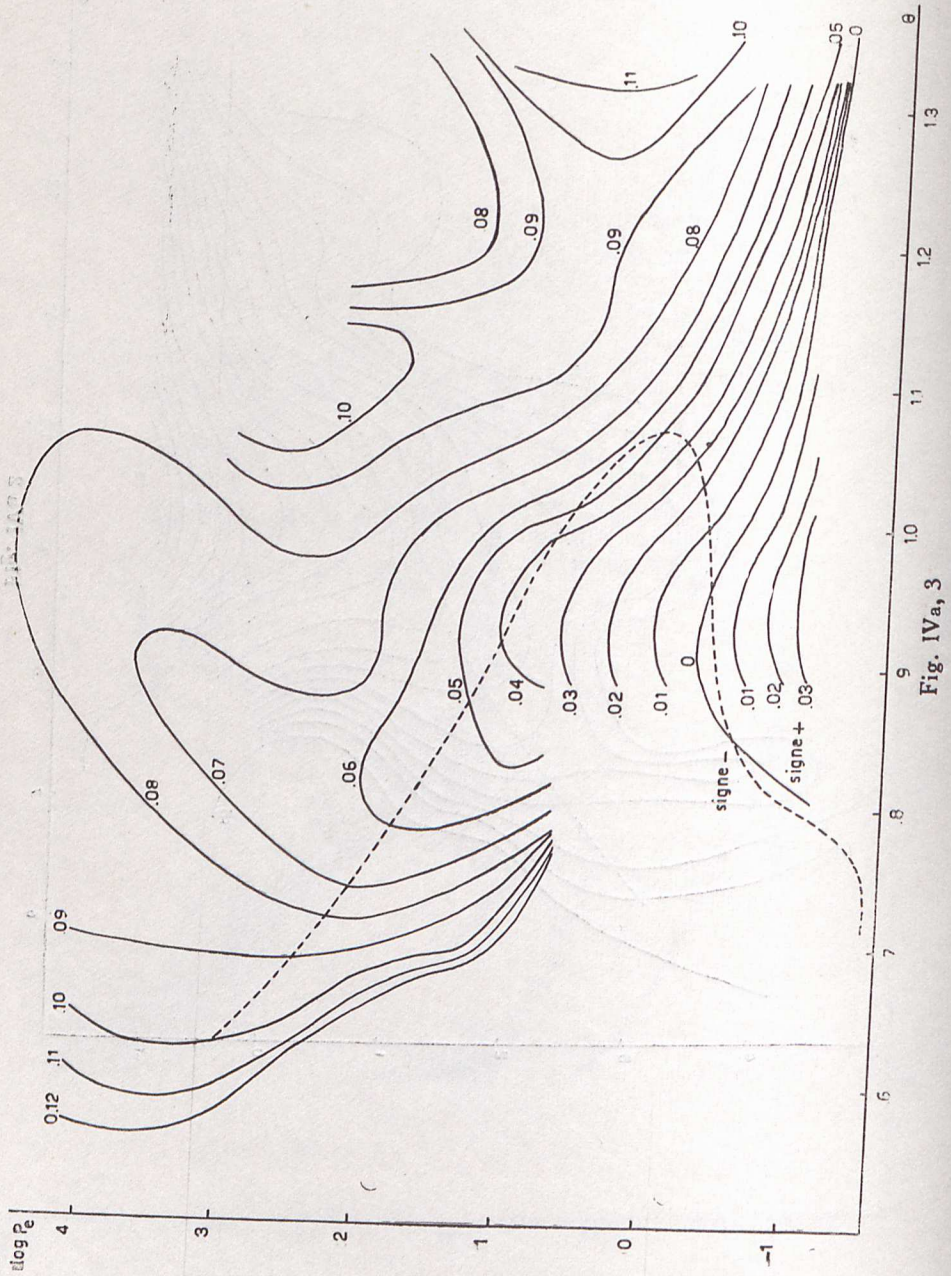


Fig. IVa, 3



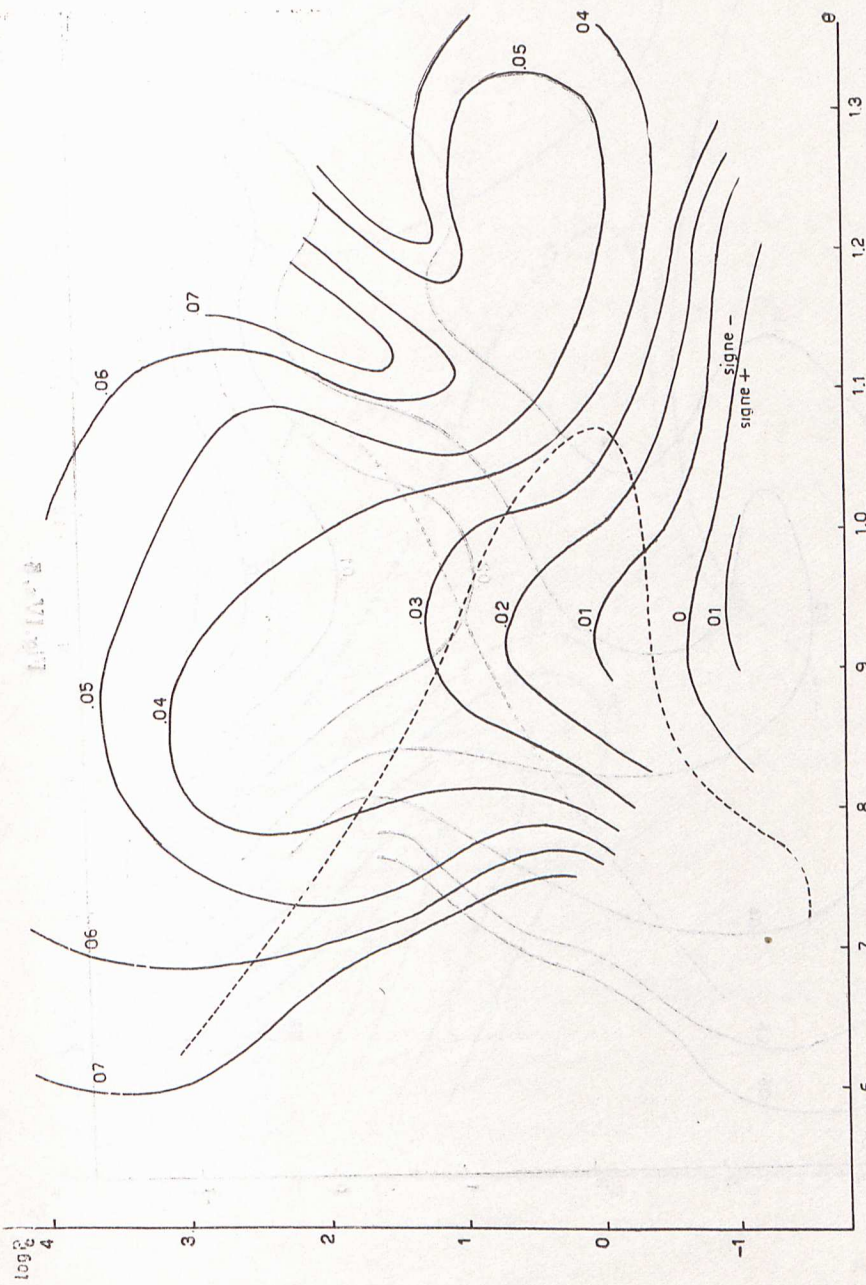


Fig. IVa, 4



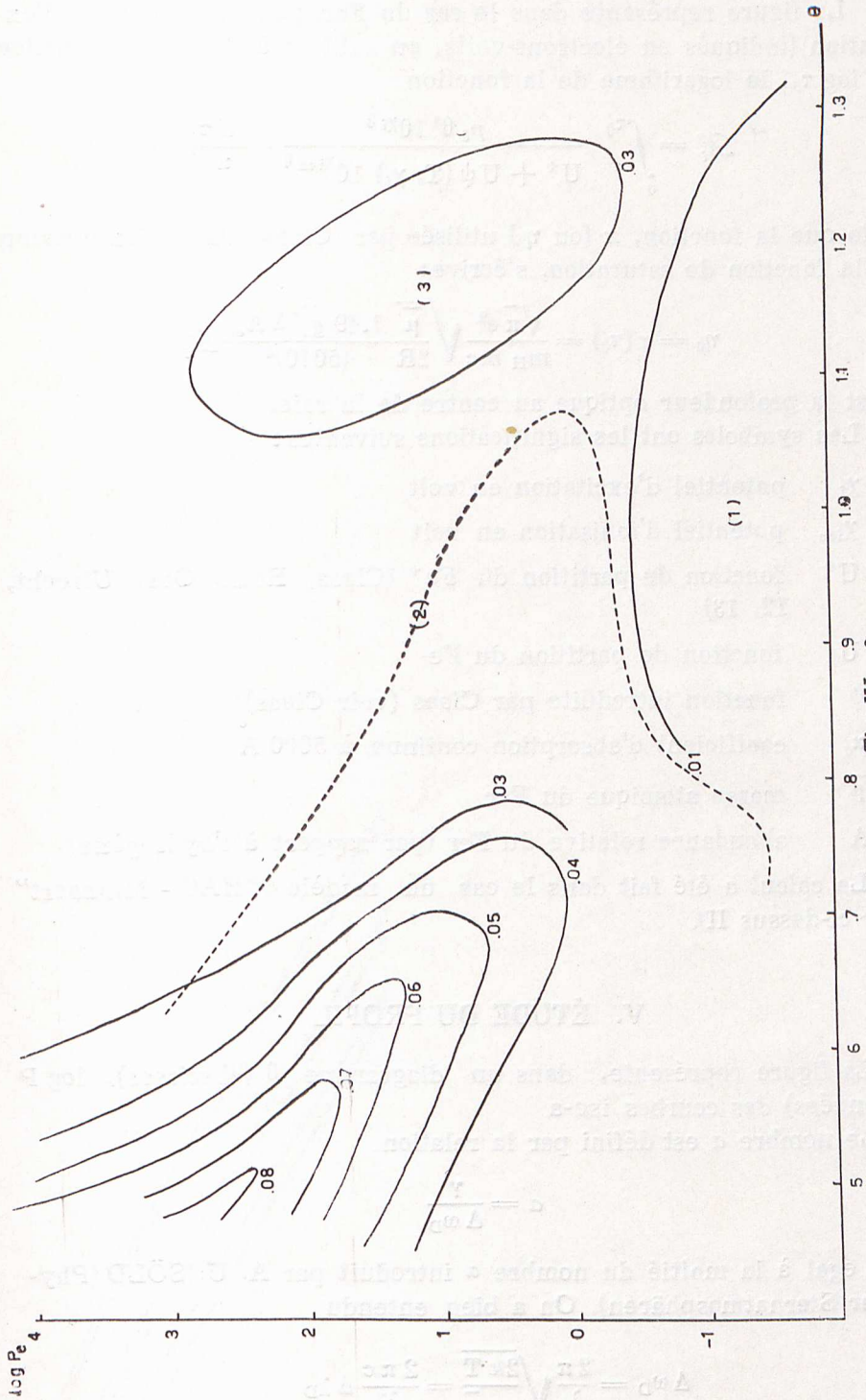


Fig. IVa, 6



## IVb

La figure représente dans le cas du Fer, pour 7 potentiels d'excitation (indiqués en électrons-volts, en haut et à droite) en fonction de  $\log \tau_0$ , le logarithme de la fonction

$$\mathcal{L}_i = \int_0^{\tau_0} \frac{p_e \theta^3 10^{\chi_i \theta}}{U^+ + U \psi(T, \chi_i) 10^{\chi_{ion} \theta}} \cdot \frac{d\tau_0}{\tau_0}$$

telle que la fonction,  $x$  (ou  $\eta_0$ ) utilisée par Claas dans l'expression de la fonction de saturation, s'écrit :

$$\eta_0 = x(\tau_0) = \frac{\sqrt{\pi} e^2}{m_H m c} \sqrt{\frac{\mu}{2R}} \frac{1.49 g f \lambda A_{e1}}{(5040)^3} \mathcal{L}_i$$

C'est la profondeur optique au centre de la raie.

Les symboles ont les significations suivantes :

- $\chi_i$  potentiel d'excitation en volt
- $\chi_{ion}$  potentiel d'ionisation en volt
- $U^+$  fonction de partition du  $Fe^+$  (Claas, Rech. Obs. Utrecht, 12, 13)
- $U$  fonction de partition du Fe
- $\psi$  fonction introduite par Claas (voir Claas)
- $\kappa_0$  coefficient d'absorption continue à 5000 Å
- $\bar{\mu}$  masse atomique du Fer
- $A$  abondance relative du Fer (par rapport à l'hydrogène)

Le calcul a été fait dans le cas du modèle "HAO - Minnaert" (voir ci-dessus II).

## V. ÉTUDE DU PROFIL

La figure représente, dans un diagramme  $\theta$  (abscisses),  $\log P$  (ordonnées) des courbes iso- $a$

Le nombre  $a$  est défini par la relation

$$a = \frac{\gamma}{\Delta \omega_D}$$

il est égal à la moitié du nombre  $\alpha$  introduit par A. UNSÖLD (Physik der Sternatmosphären). On a bien entendu

$$\Delta \omega_D = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{2kT}{m_0 \bar{\mu}}} = \frac{2\pi c}{\lambda^2} \Delta \lambda_D$$

Le nombre  $a$  est la somme de trois termes, dus : à l'amortissement classique, à l'amortissement par collisions avec les atomes classiques



IVb

La figure représente dans le cas du Fer, pour 7 potentiels d'excitation (indiqués en électrons-volts, en haut et à droite) en fonction de  $\log \tau_0$ , le logarithme de la fonction

$$L_i = \int_0^{\tau_0} \frac{p_e \theta^3 10^{\chi_i \theta}}{U^+ + U \psi(T, \chi_i) 10^{\chi_{ion} \theta}} \cdot \frac{d\tau_0}{\tau_0}$$

telle que la fonction,  $x$  (ou  $\eta_0$ ) utilisée par Claas dans l'expression de la fonction de saturation, s'écrive:

$$\eta_0 = x(\tau_0) = \frac{\sqrt{\pi} e^2}{m_H mc} \sqrt{\frac{\mu}{2R}} \frac{1.49 gf \lambda A_{e1}}{(5040)^3} L_i$$

C'est la profondeur optique au centre de la raie. Les symboles ont les significations suivantes:

- $\chi_i$  potentiel d'excitation en volt
- $\chi_{ion}$  potentiel d'ionisation en volt
- $U^+$  fonction de partition du  $Fe^+$  (Claas, Rech. Obs. Utrecht, 12, 13)
- $U$  fonction de partition du  $Fe$
- $\psi$  fonction introduite par Claas (voir Claas)
- $\kappa_0$  coefficient d'absorption continue à 5000 Å
- $\bar{\mu}$  masse atomique du Fer
- $A$  abondance relative du Fer (par rapport à l'hydrogène)

Le calcul a été fait dans le cas du modèle "HAO - Minnaert" (voir ci-dessus II).

V. ÉTUDE DU PROFIL

La figure représente, dans un diagramme  $\theta$  (abscisses),  $\log P$  (ordonnées) des courbes iso- $a$

Le nombre  $a$  est défini par la relation

$$a = \frac{\gamma}{\Delta \omega_D}$$

il est égal à la moitié du nombre  $\alpha$  introduit par A. UNSÖLD (Physik der Sternatmosphären). On a bien entendu

$$\Delta \omega_D = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{2kT}{m_0 \mu}} = \frac{2\pi c}{\lambda^2} \Delta \lambda_D$$

Le nombre  $a$  est la somme de trois termes, dus: à l'amortissement classique, à l'amortissement par collisions avec les atomes d'hydrogène



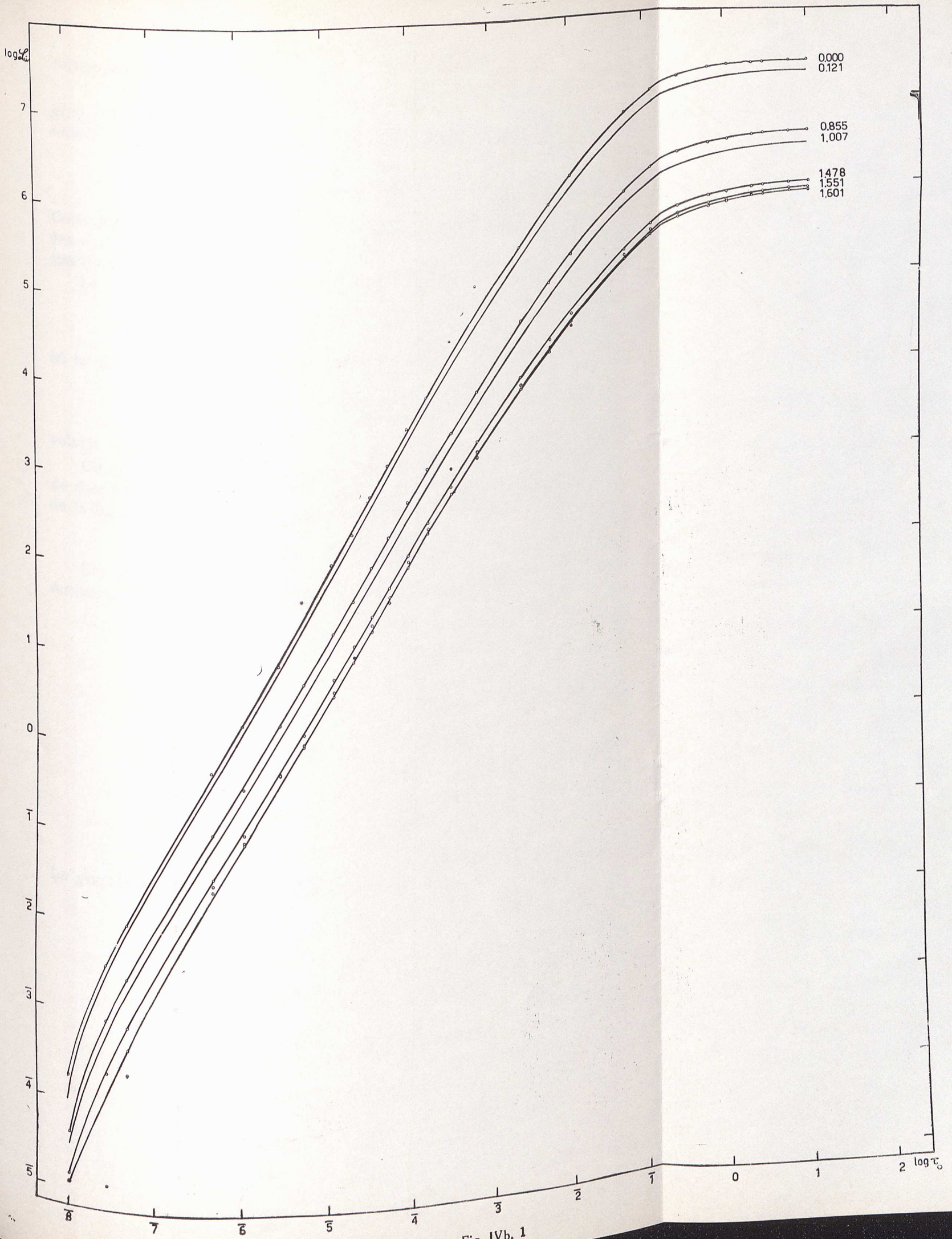


Fig. IVb, 1



gène, à l'amortissement par collisions avec les électrons. La formule suivante a été utilisée en négligeant les collisions électroniques :

$$a = 6.42 \times 10^{-3} \sqrt{\theta} + 3.67 \times 10^{-2} \left[ \frac{P}{10^5} \left( \frac{C}{10^{-33}} \right)^{0.4} \theta^{1.2} \right]$$

Cette formule correspond à  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  et au Fer ( $\bar{\mu} = 56$ ), en vue des applications précises aux raies intenses du Fer de cette région spectrale.

Le calcul de C a été fait en utilisant la formule suivante :

$$C = 64.4 \times 10^{-35} \frac{n^{*5}}{2 Z^2} [5 n^{*2} + 1 - 3l(l+1)]$$

où le nombre atomique effectif  $n^*$  vérifie la relation :

$$n^* = \frac{13.6}{\chi_{\text{ion}} - \chi_{\text{exc}}}$$

valable pour un atome neutre.

On remarquera que, pour passer d'une raie à l'autre, il suffit de changer C, par conséquent, l'échelle des ordonnées du diagramme de la figure devra seulement être décalée d'une quantité

$$\Delta \log P = \Delta 0.4 \log C$$

Les valeurs de C correspondant aux différentes raies du Fer mesurées par Houtgast (Publ. Utrecht. 1942), sont les suivantes :

$\lambda$	C
3859,9	$8,79 \cdot 10^{-33}$
3820,4	14,67 "
3815,9	22,25 "
4045,8	19,55 "
4005,3	21,04 "
4063,6	20,46 "
4143,9	19,55 "
4071,8	21,04 "
4132,1	20,46 "

Le graphique a été tracé pour la valeur de  $C = 10^{-34}$



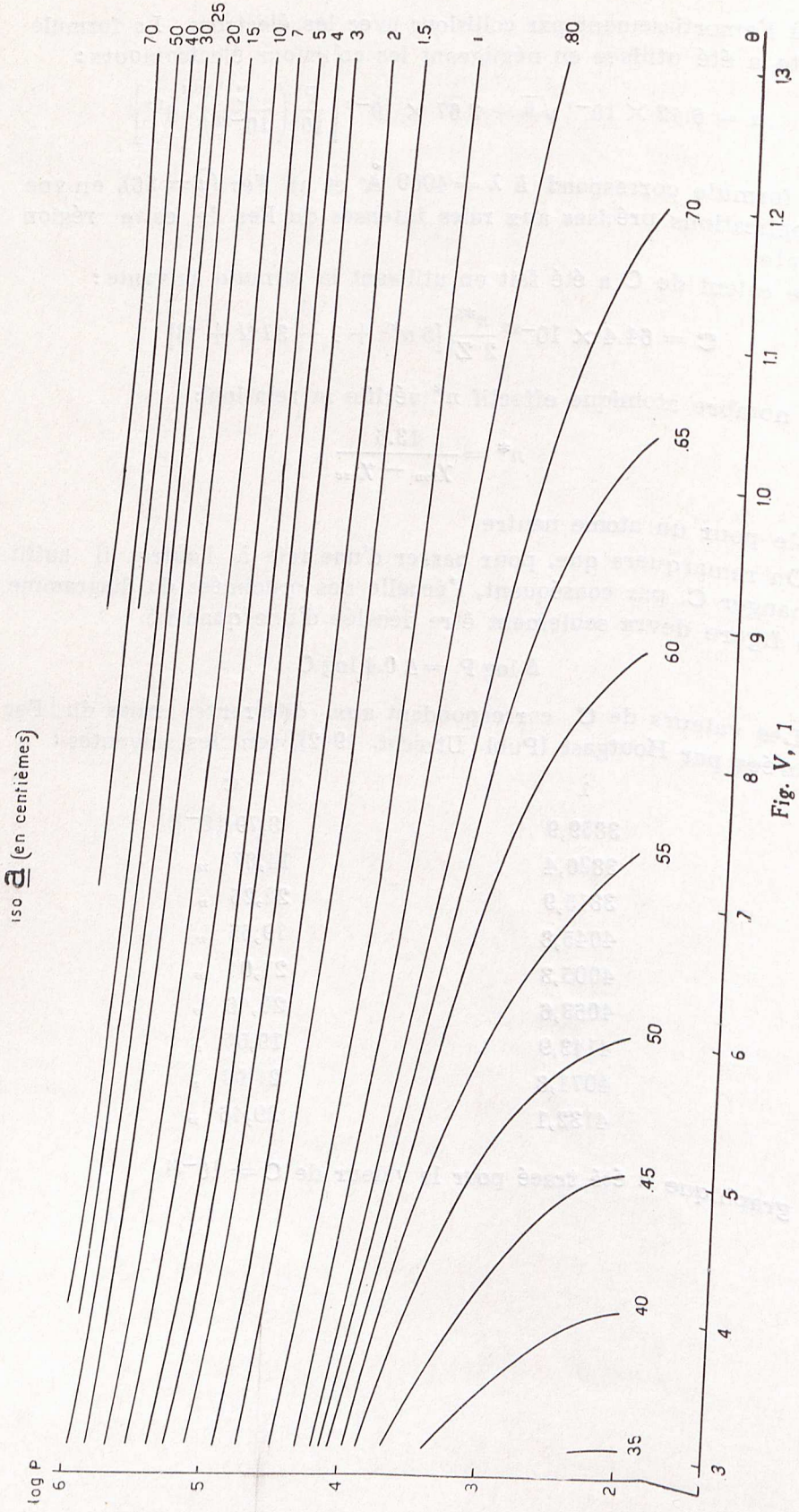


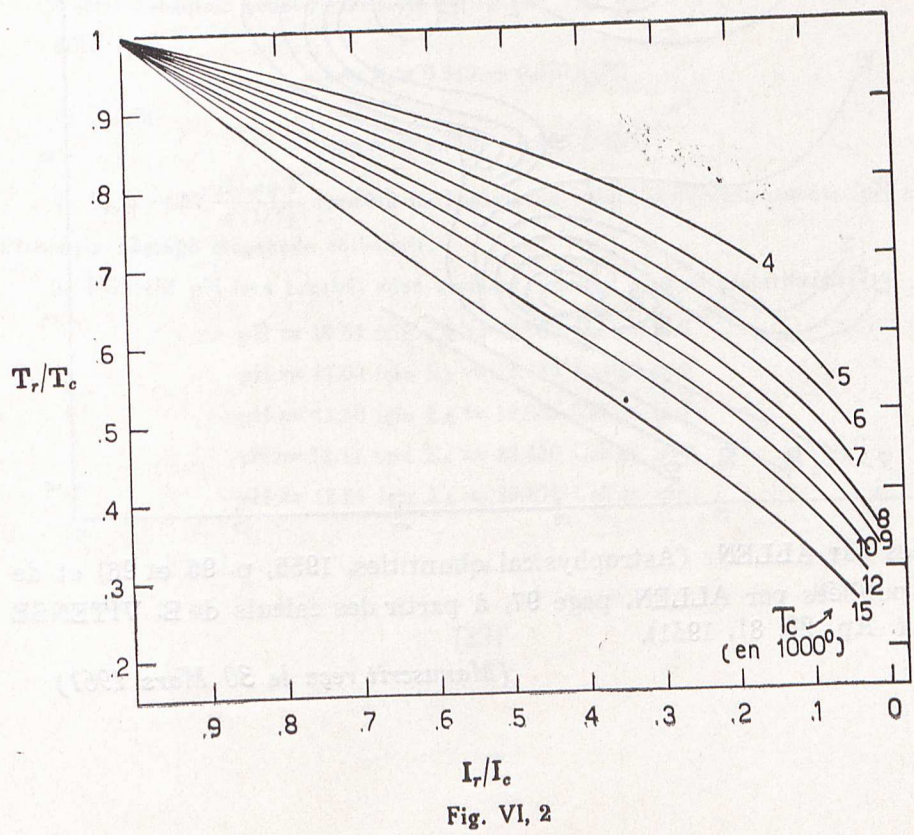
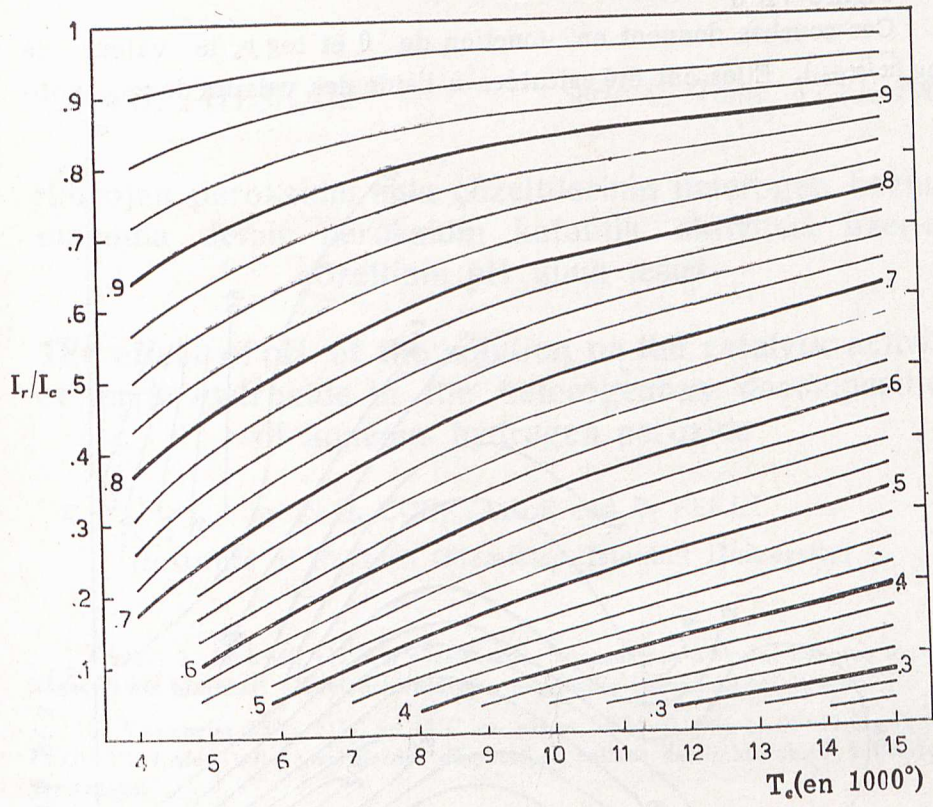
Fig. V, 1



## VI. COURBES RELATIVES À L'ÉTUDE D'UN CAS STELLAIRE DANS LA ZONE DE LONGUEUR D'ONDE $\lambda \sim 4500 \text{ \AA}$

Figures IV, 1 et IV, 2

Ces deux familles de courbes relient les trois quantités  $T_c$  (température effective) et  $T_r/T_c$  (rapport des températures) iso  $T_r/T_c$





pérature de brillance du continu)  $T_r/T_c$  (rapport entre  $T_c$  et  $T_r$ , température de brillance au centre de la raie),  $I_r/I_c$  (intensité au centre de la raie, rapportée à l'intensité dans le continu).

Figure VI, 3

Ces courbes donnent en fonction de  $\theta$  et  $\log p$ , la valeur de  $\log(\bar{\kappa}/\kappa_{4500})$ . Elles ont été calculées à l'aide des valeurs de  $\kappa_{5000}$  pub-

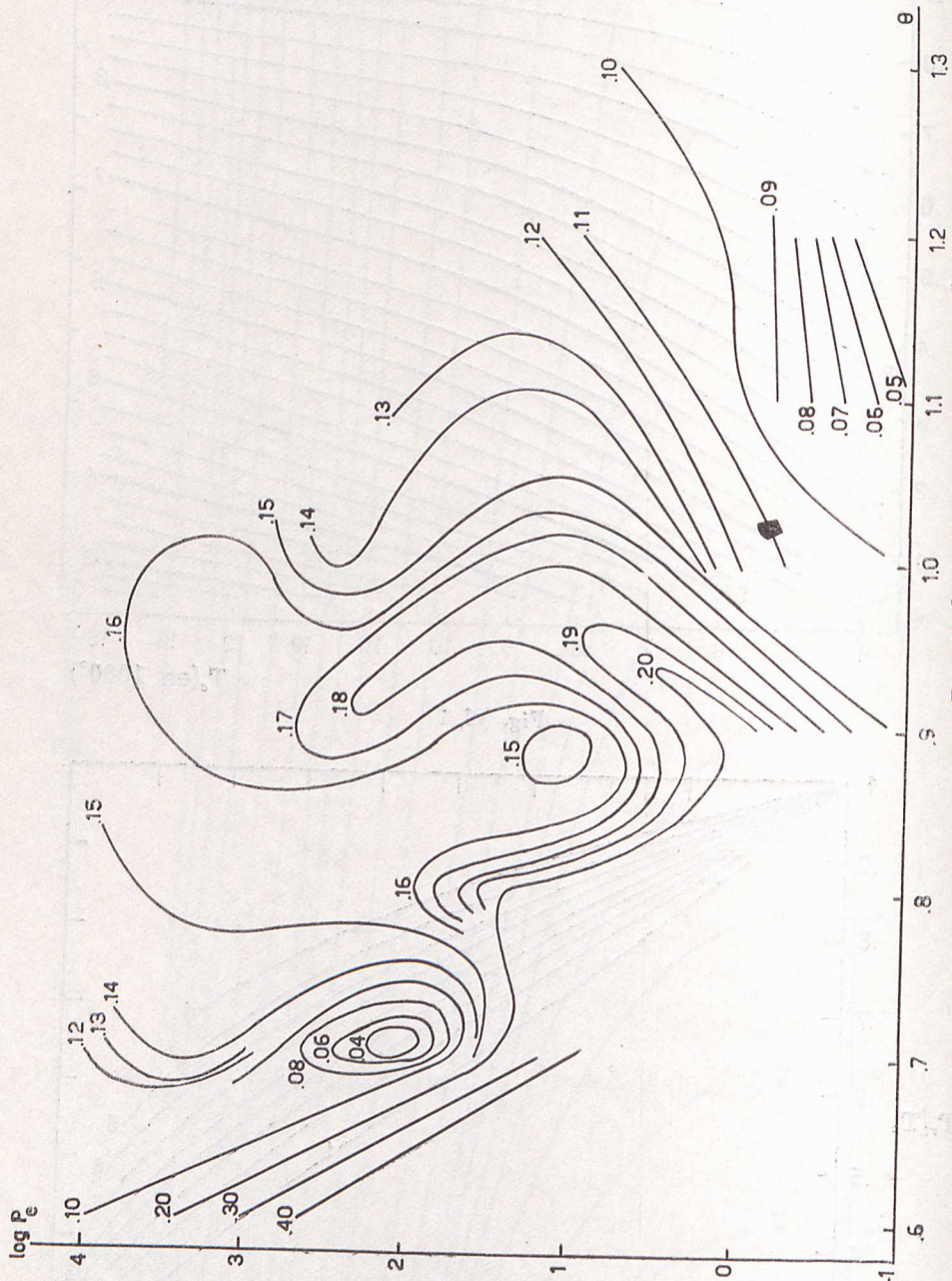


Fig. VI, 3

liées par ALLEN (Astrophysical quantities, 1955, p. 95 et 96) et de  $\kappa$  publiées par ALLEN, page 97, à partir des calculs de E. VITENSE (Z.f. Ap. 28, 81, 1951).

(Manuscrit reçu le 30 Mars 1961)