

THÈSE
DE
DOCTORAT ÈS SCIENCES PHYSIQUES

présentée à la
Faculté des Sciences de Paris
Université Paris 7

par
Jean-Pierre DELABOUDINIÈRE

Sujet :

**Contribution à l'étude du profil spectral
de la raie 584 Å de l'hélium neutre émise
dans des milieux d'intérêt astrophysique
à l'aide d'une cellule à résonance**

soutenue le 28 octobre 1981 devant la Commission d'Examen

MM.	P. LÉNA	Président
	Y. BIRAUD	
R.M.	BONNET	
	B. CAGNAC	
	P. DELACHE	
	J. HEYVAERTS	
	A. OMONT	

AN EXAMPLE OF THESIS' FIGURES!

CONDITIONS INITIALES

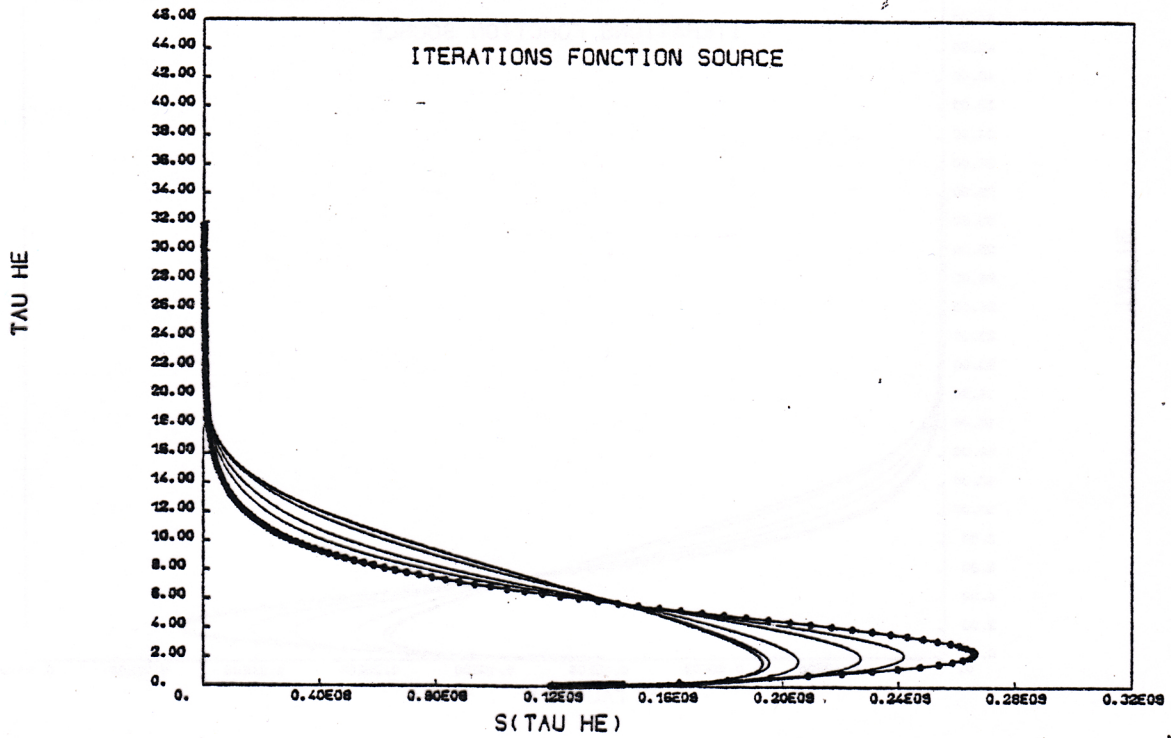
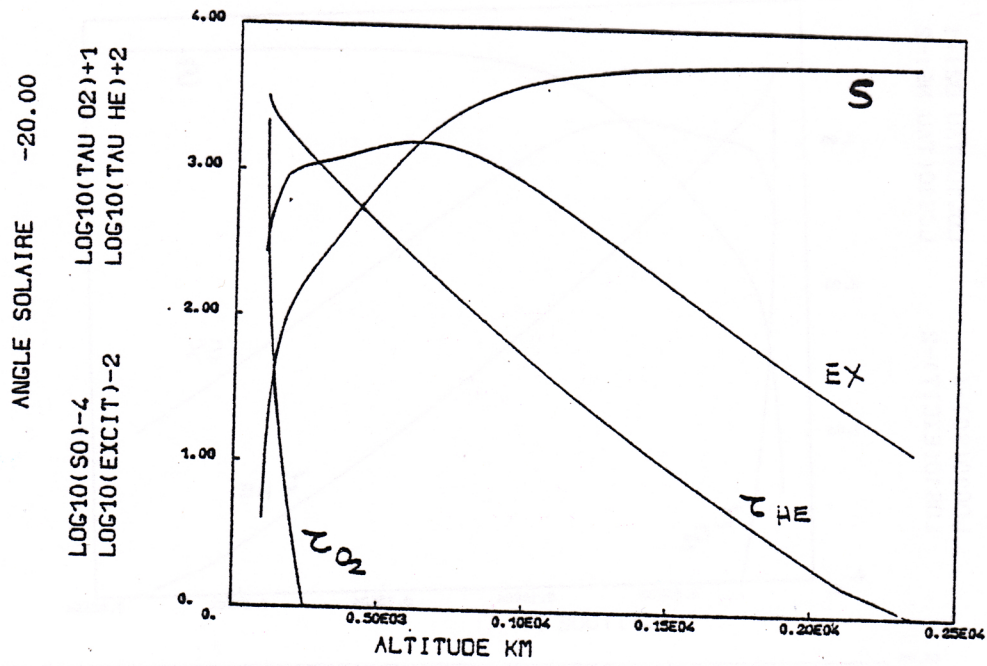
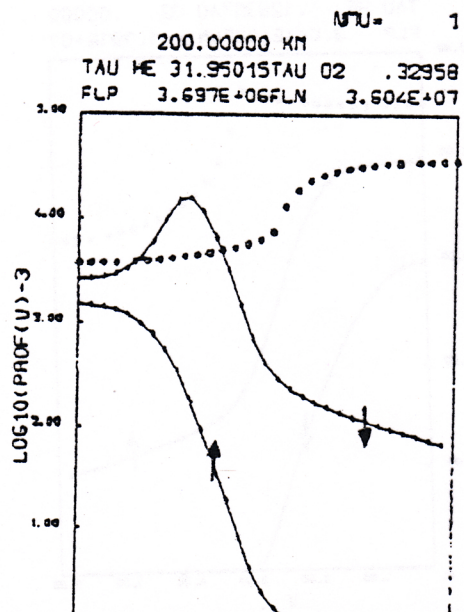
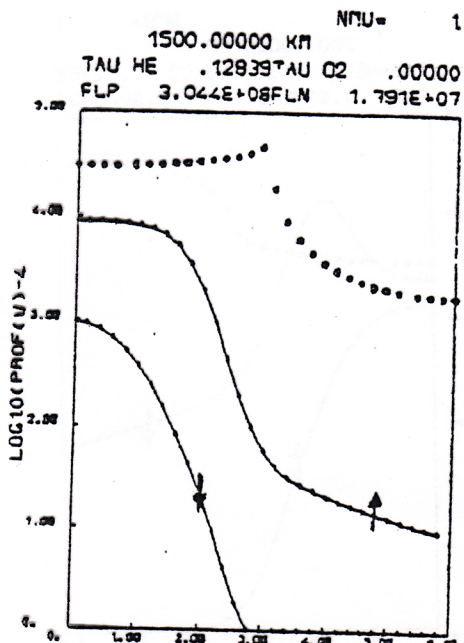


FIGURE VII - 9-a



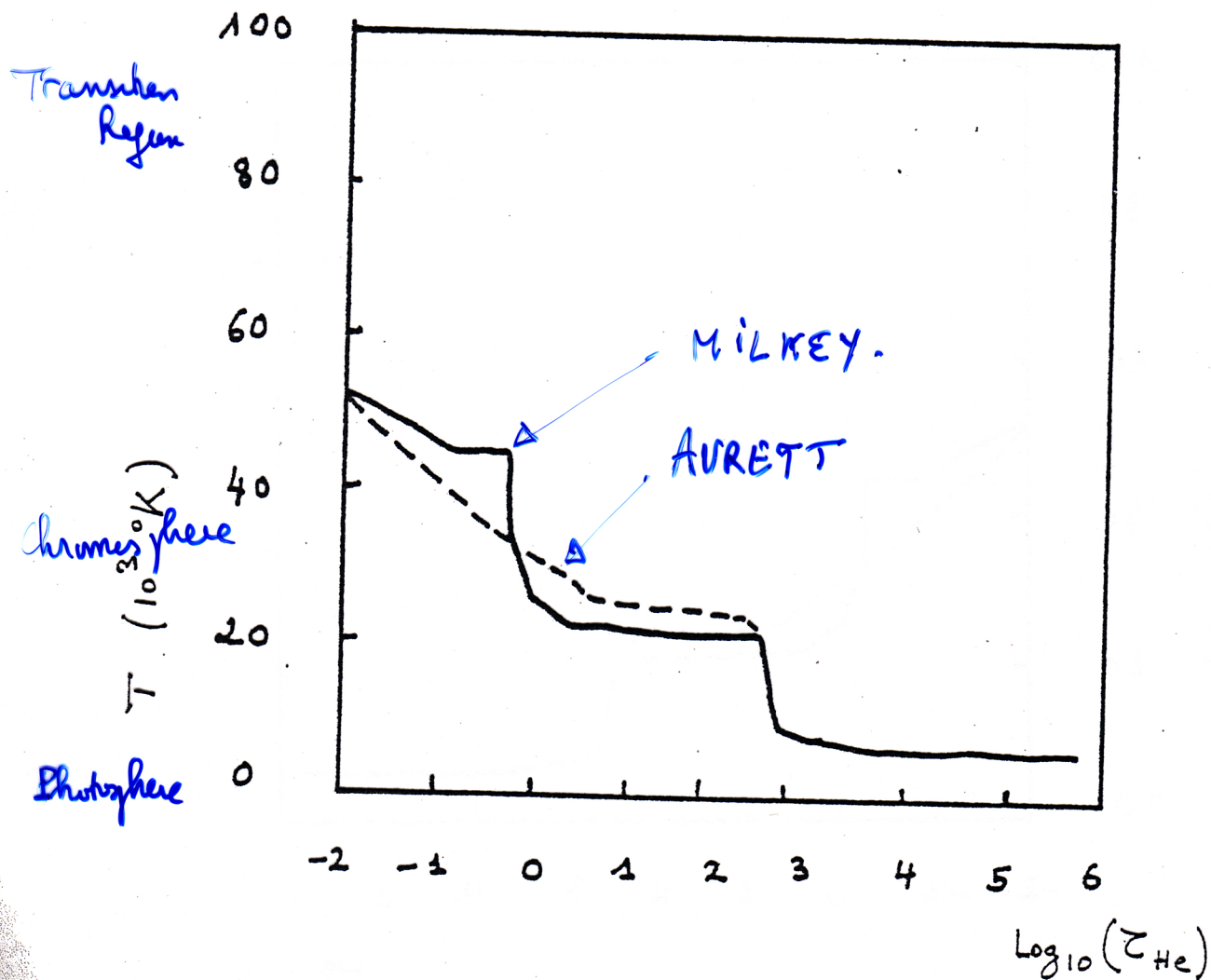
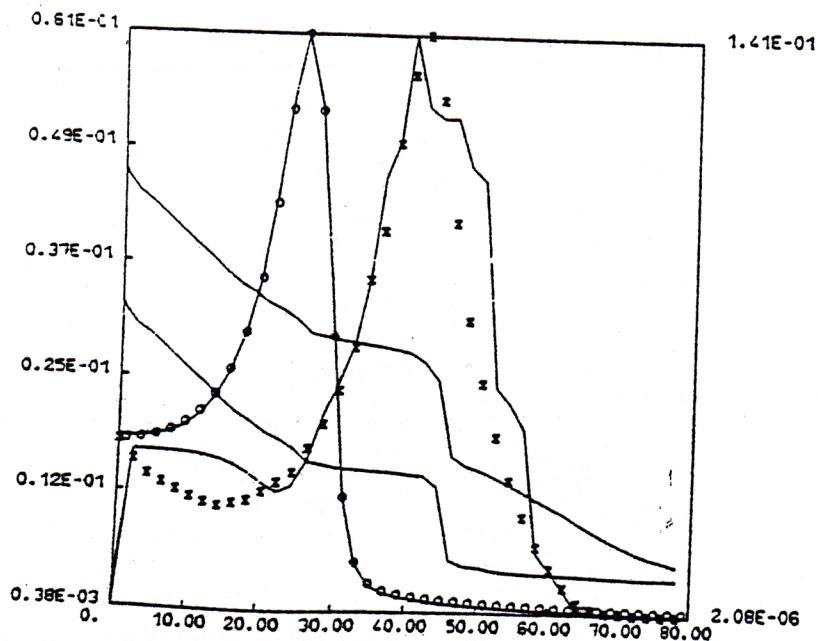


Figure VII- 2

— MILKEY
 --- AVRETT

pour la raie 584 Å dans l'atmosphère au point sub-solaire le jour du tir. On a utilisé le formalisme de STRICKLAND et DONAHUE (24), valable pour une atmosphère isotherme (à ~ 800 K) contenant un absorbant, et dans l'approximation de redistribution complète lors des diffusions résonantes. L'équation de transfert s'écrit alors :

$$S(\tau) = S_0(\tau) + \int S(\tau') H'(|\tau - \tau'|, |t - t'|) d\tau'$$

où

$$H'(|\tau - \tau'|, |t - t'|) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_0^2 \phi(a, x) E_1(|\tau - \tau'| \phi(a, x) + |t - t'|) dx$$

τ et t étant les épaisseurs optiques respectives de l'hélium et de l'absorbant et les profils sont donnés par

$$4\pi I(\tau, \mu) = \int S(\tau') T(|\tau - \tau'|/\mu) e^{-|t - t'|/\mu} d\tau'$$

où

$$T(|\tau - \tau'|/\mu) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 \phi(a, x) e^{-(\tau - \tau')\phi/\mu} dx$$

$\phi(a, x)$ étant le profil de VOIGT à la température de l'atmosphère et μ le cosinus de l'angle de visée par rapport à la verticale.

a) Calcul de la fonction source et des profils spectraux.

En haut, conditions initiales du problème.

Ex : taux d'excitation primaire

S : fonction source approchée servant de point de départ à la solution de transfert par itérations successives (méthode de VON NEUMANN)

τ_{He} : épaisseur optique au centre de la raie de l'hélium

τ_{O_2} : épaisseur optique pour l'absorption continue due à O , O_2 , N_2 .

Au centre, résolution de l'équation de transfert par itérations successives

En bas, profils observés dans la direction du zénith (+) et du nadir (+) aux altitudes de 1500 km (partie optiquement mince de l'atmosphère) et 200 km (partie optiquement épaisse de l'atmosphère). La fréquence depuis le centre de la raie est repérée en unité de largeur Doppler à 800 K. Les cercles représentent l'intensité totale observée en fonction de la direction d'observation (0 à 180° depuis le nadir jusqu'au zénith). Toutes les intensités sont mesurées suivant une échelle logarithmique décimale.

b) Intensité totale à 584 Å observée vers le zénith (+) et le nadir (+) pour un véhicule se déplaçant suivant la verticale au point sub-solaire.

. Abscisse, intensité en Rayleighs.

. Ordonnée, altitude du point d'observation.

c) Variations des intensités observées à 800 km le long du méridien sub-solaire en fonction de la latitude (à comparer aux observations de WELLER et MEYER (29)).

En haut, à gauche, intensités totales au zénith (+) et au nadir (+).

En haut, à droite, intensités totales juste au-dessus et juste au-dessous de la direction horizontale ($\pm 5^\circ$).

. Abscisse, latitude en degrés.

. Ordonnée, logarithme décimal de l'intensité.

Les points $\bullet$ donnent l'épaisseur optique due à He au centre de la raie au point d'observation.

La courbe continue ——— donne l'épaisseur optique due à He au centre de la raie au point où l'épaisseur optique due à l'absorption continue vaut 1.

LE PRINCIPE DE LA MESURE

Given Temp and pressure P :

$$\Phi_{\text{transmitted}} = \int_0^{\infty} T(\tau, \nu) \underbrace{\Phi(\nu)}_{\text{incident}} d\nu.$$

1st approximation: $T(\tau, \nu) = \exp(-\tau \sigma(\nu))$ (Beer)

τ : opacity $\tau = \tau_0 H(a, \nu)$ $\nu = \frac{\Delta \nu}{\Delta \nu_D}$

|
line center

$$\tau_0 = k_0 N l \propto P$$

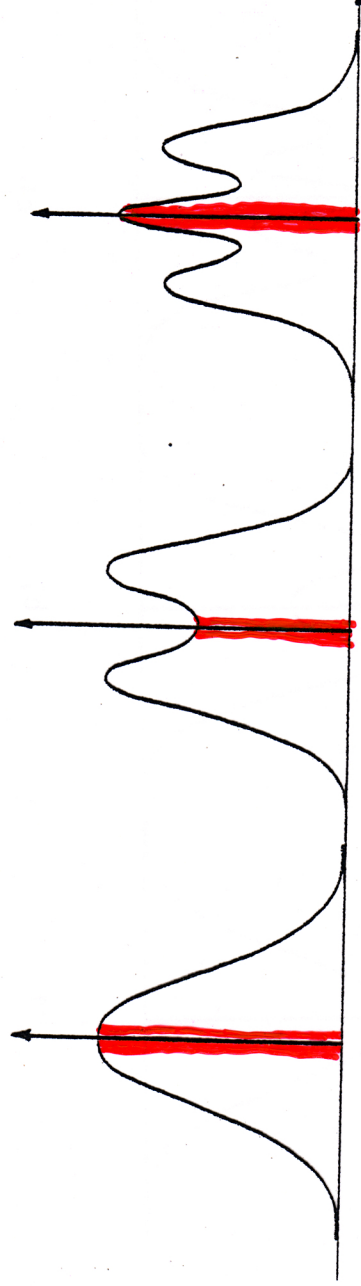
You vary $P \rightarrow \tau_0 \xrightarrow{\tau} T \rightarrow \Phi_{\text{transmitted}}$

$$\begin{pmatrix} | \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (\end{pmatrix} \xrightarrow[\substack{S^+ \\ \text{kind}}]{\text{Fredholm}} \Phi(\nu) \begin{pmatrix} | \end{pmatrix}$$

$\Phi_{\text{transmitted}}$ $T_{\text{transmission}}$

Arct.

Milkey



a)

b)

c)

~~Arct.~~ Absorbed (and scattered) by planetary and interplanetary atmospheres.

Narrow !!

Earth : 14 m A

Figure 1 : Types de profils solaires observables (plus ou moins couramment)

a) profil de type "gaussien"

b) profil "renversé"

c) profil "doublement renversé" à pic central.

$1s^2 \ ^3S_0 - 1s2p \ ^3P_0$

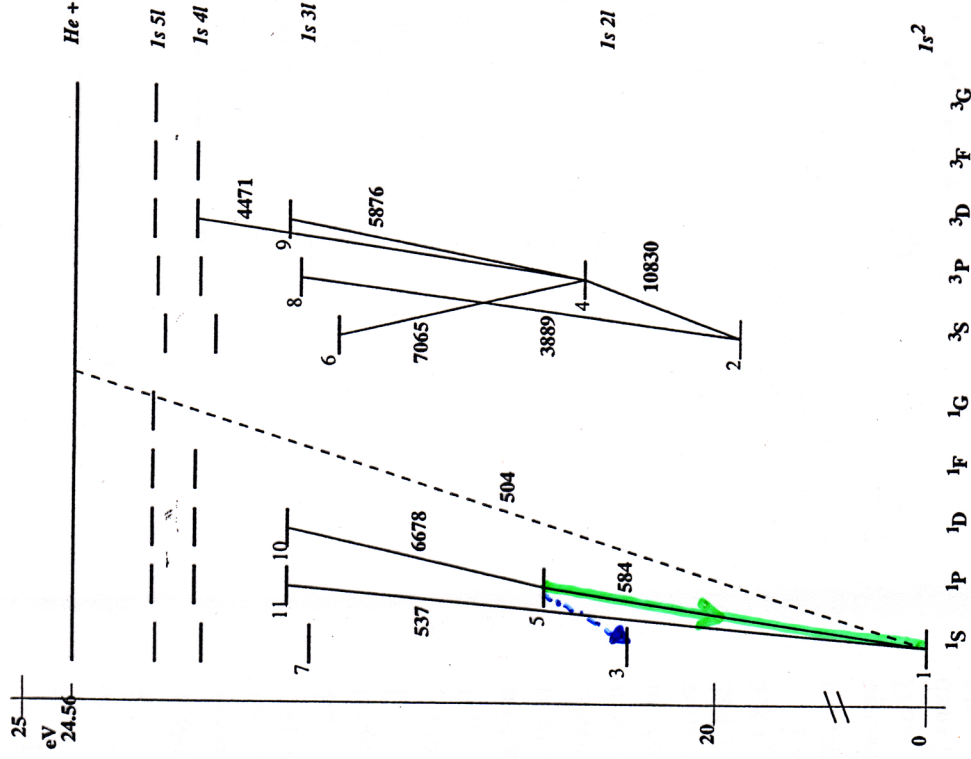


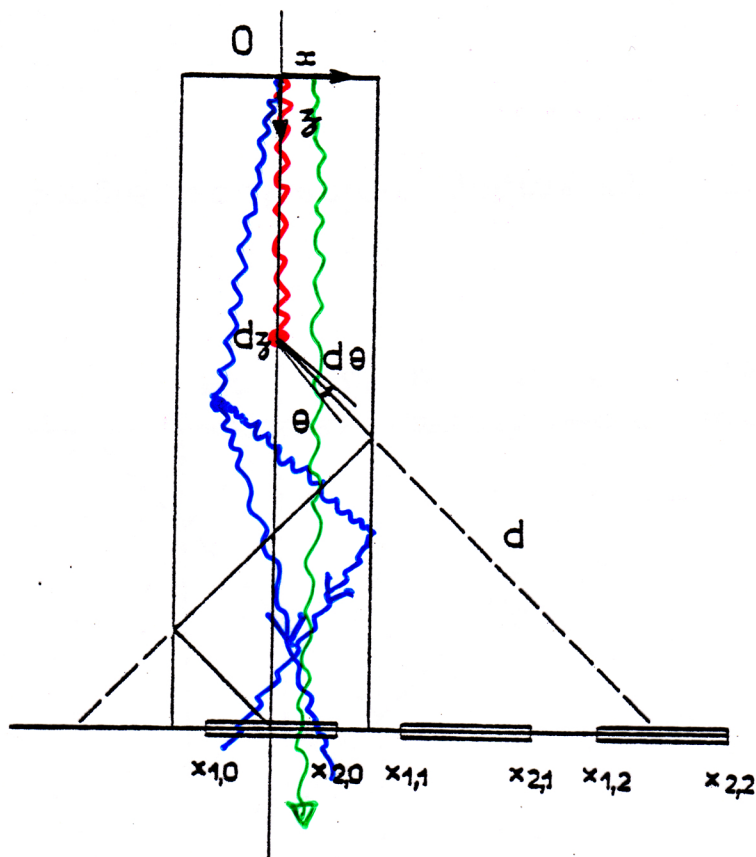
Figure 3.3 – Diagramme des niveaux d'énergie de l'hélium neutre selon la représentation* que nous avons adoptée : 29 niveaux d'énergie jusqu'à $n = 5$. L'échelle des énergies en ordonnée a été raccourcie entre 0 et 20 eV pour tenir compte de la grande différence d'énergie entre le fondamental $1s^2$ et le premier état excité $1s 2s^3S$. Les états singulets sont les états $1s nl^1L$, et les états triplets sont les états $1s nl^3L$. Le trait continu à 24.56 eV représente le fondamental de He⁺ vers lequel les états de He I peuvent être ionisés. Nous indiquons pour les 11 premiers niveaux un indice correspondant à une énergie croissante relativement à l'énergie

$$v = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_0} = \text{distance to line center}$$

— $v=0$

— $v \neq 0$

— $v > 0$



Single scattering geometry

Figure 0 : Schéma montrant le trajet d'un photon primaire diffusé sur l'axe de la cellule dans le cadre d'un calcul géométrique très simplifié.

THE DIFFICULTY but

THE NECESSITY of
SIMULATIONS.

{ ABSORPTION
+
SCATTERING
+
INTERACTION WITH WALLS

FROM SIMPLIFIED MODELS

TO FULL SIMULATIONS: MONTE-CARLO

JQSRT, 1979, 22, 411-434

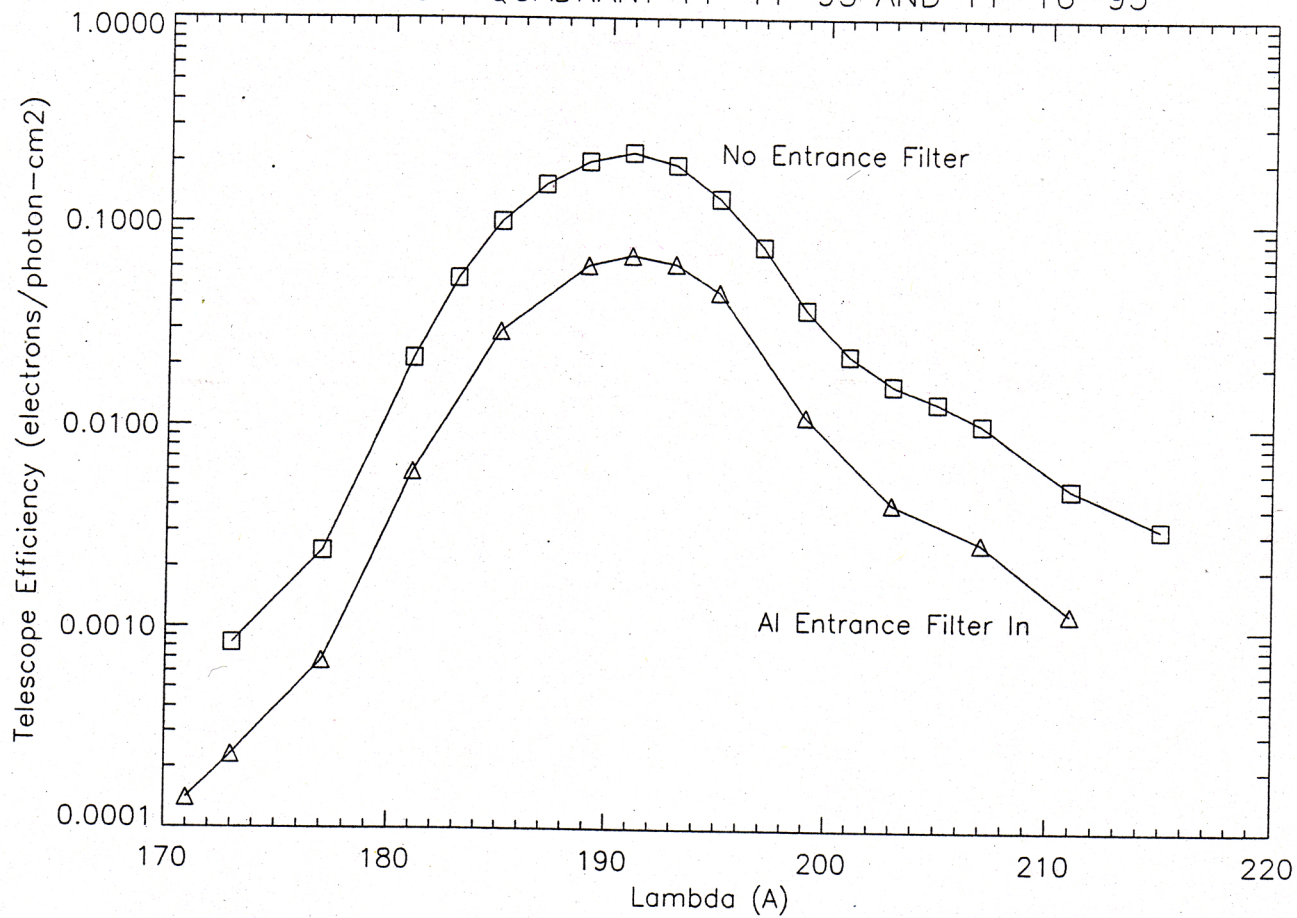
EVERYTHING INCLUDED!

- loss of photon thru. cascade to 2's level.
- angular redistribution
- frequency redistribution
- polarisation
- collisions
- high order scattering.

HELP FOR DESIGN OF THE INSTRUMENT

HELP FOR PREPARATION OF DATA PROCESSING.

EIT 195 A QUADRANT 11-11-93 AND 11-16-93



(4) Total effect of multiple scattering

The total flux increase due to multiple scattering may be obtained by combining a contributions thus far discussed. Although large differences exist in the elementary tribution, there is a modest dependence of the total correction factor upon pressure t 10^{-1} torr, as shown by Fig. 16. However, at high pressures (i.e. 1 and 10 torr), the corre

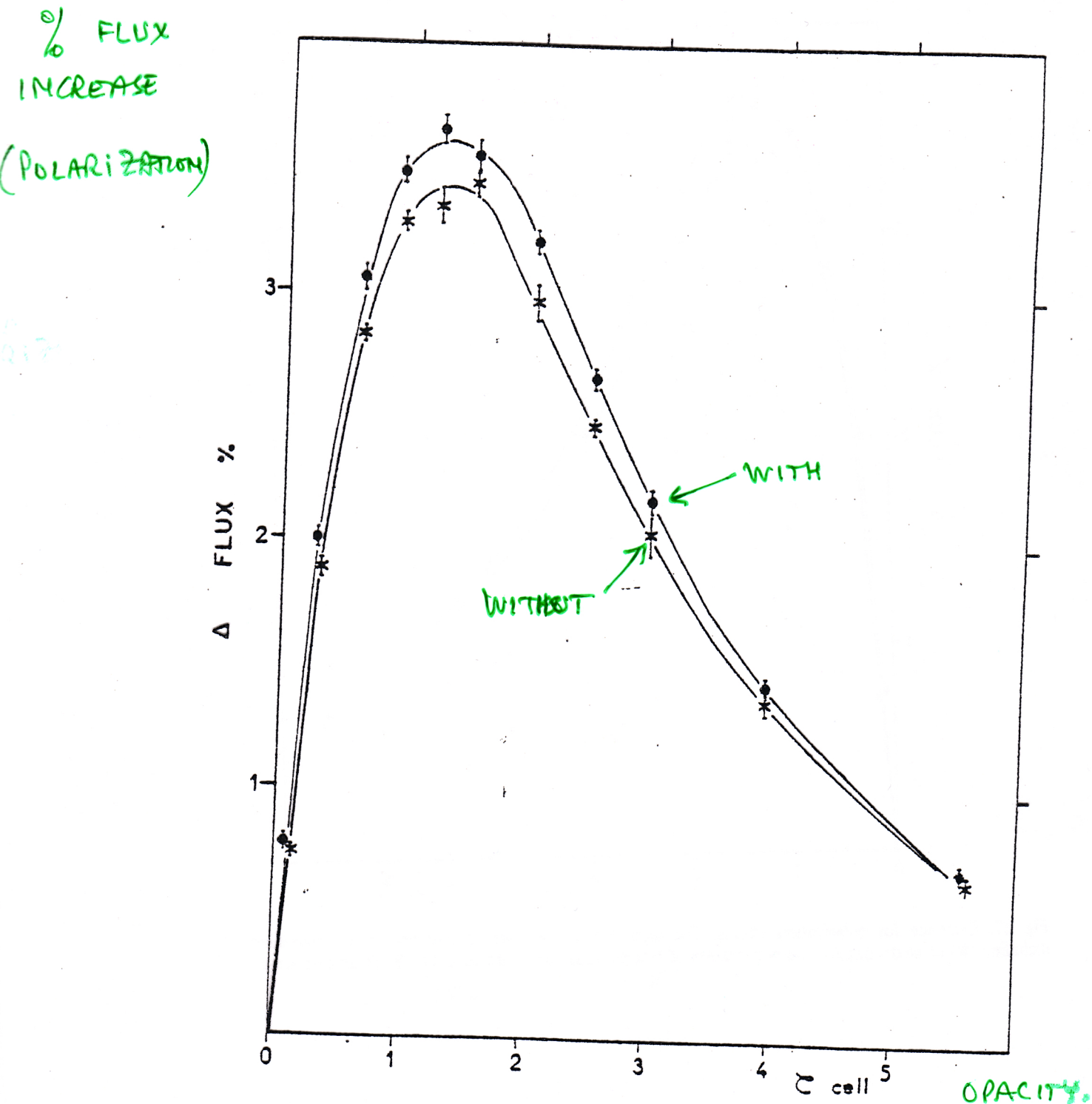


Fig. 17. Evidence for polarization effects. The total flux at 10^{-1} torr as obtained from computations including (●) or neglecting (×) the polarization of test photons. Units are as in Fig. 9. Error bars are as in Fig. 16.

2 TYPES OF CELL WALLS

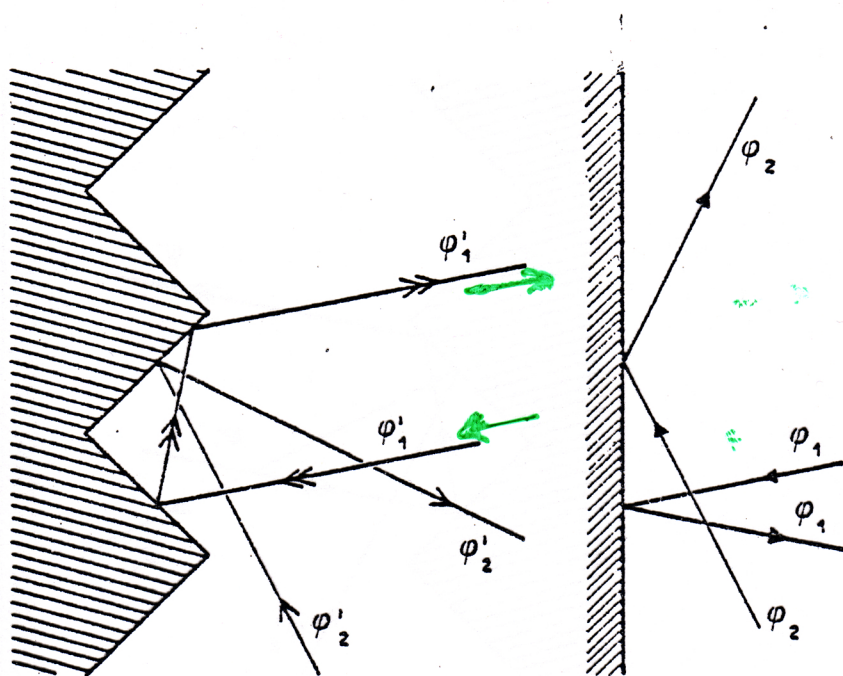


Figure 7 : Schéma montrant l'effet de "piège à lumière" créé par un état de surface "strié".

5. CONCLUSIONS

We developed appropriate tools for a detailed evaluation of the effect of multiple scattering on the transmission of an absorption cell operating close to the resonance line of helium 584 Å. Taking full advantage of the proficiency of Monte-Carlo methods, it was possible

% FLUX
INCREASE

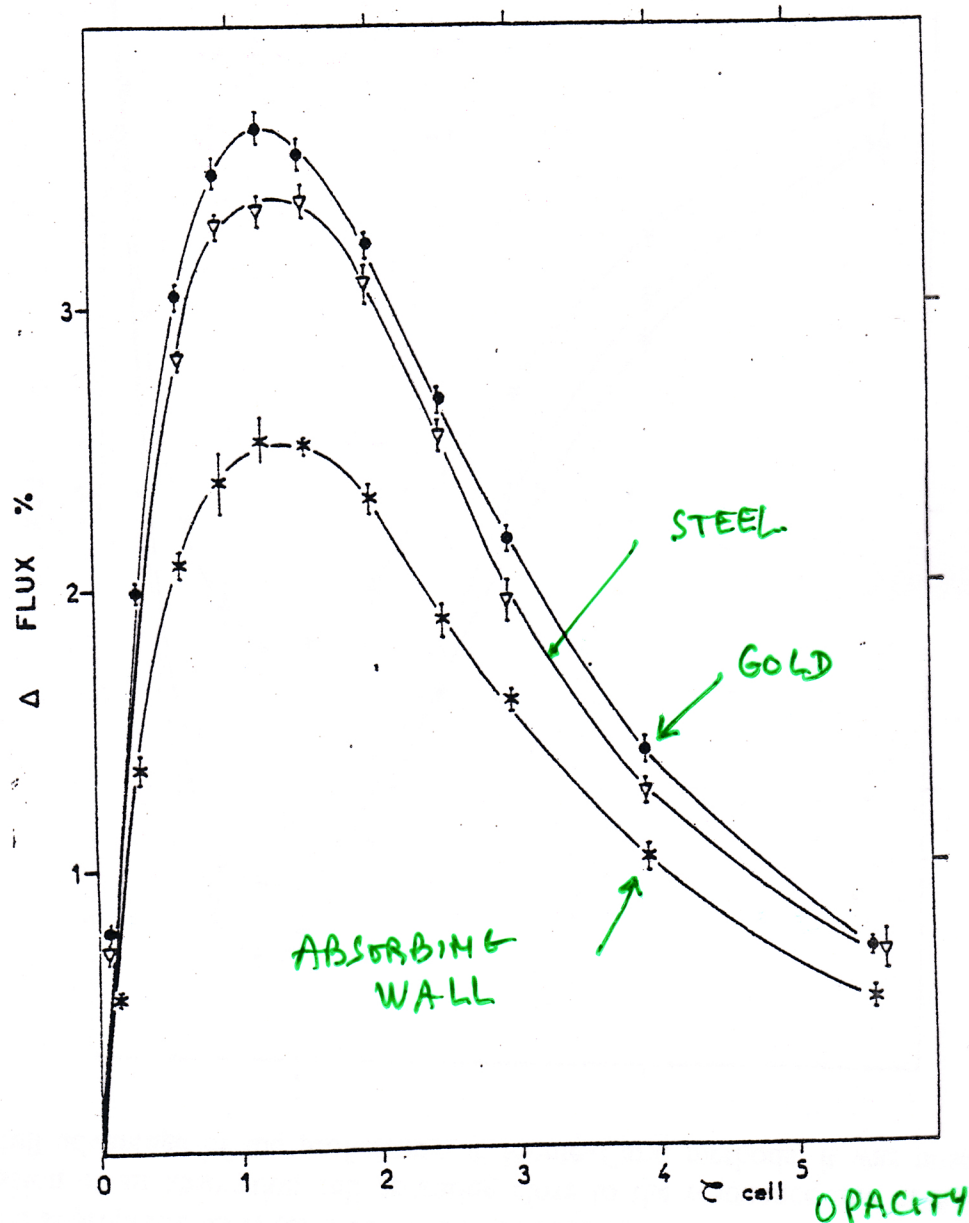


Fig. 18. Influence of optical constants of the cell. The total flux computed at 10^{-1} torr for three cases wall material: $\times$, completely absorbing material; $\bullet$, gold complex index of refraction, $C_n = 1.07 + 0.836j$; stainless steel index of refraction, $C_n = 0.83 + 0.48j$.

CONTRIBUTION FUNCTION (DIFFERENTIAL TRANSMISSION)

NAIVE CELL
(NO COLLISION,
NO MULTIPLE
SCATTERING)

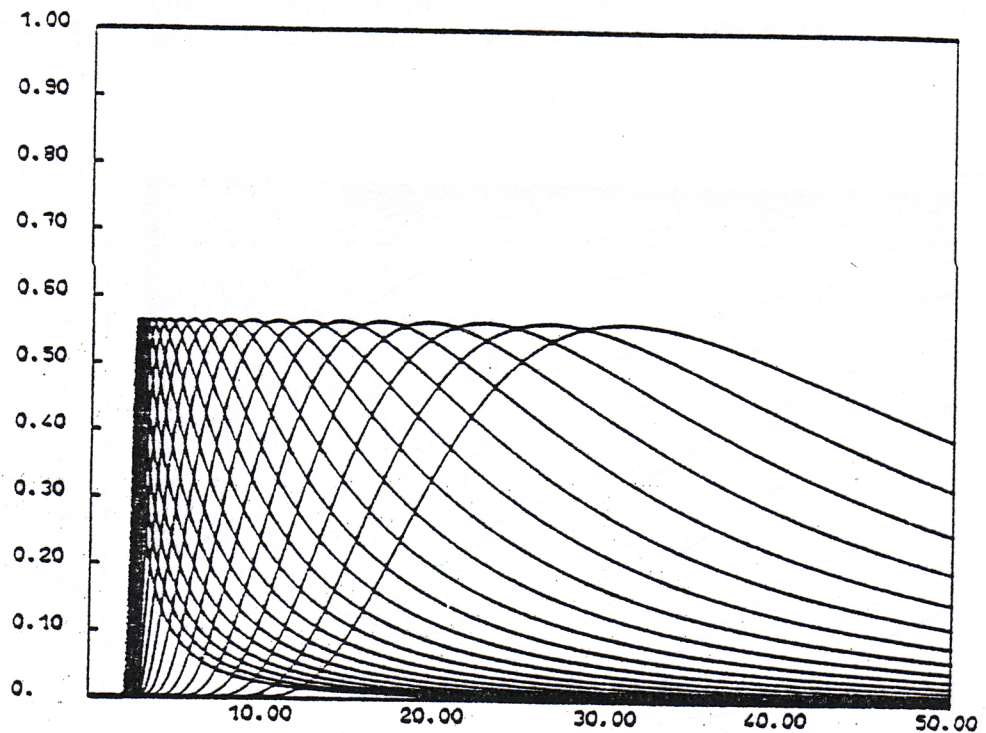


Figure 11 : Fonction de contribution pour des incréments de pression suivant une progression géométrique sans tenir compte de l'effet de collision ni de la diffusion multiple.

$$v = \frac{\Delta \lambda}{\Delta \lambda_0}$$

ACTUAL
CELL

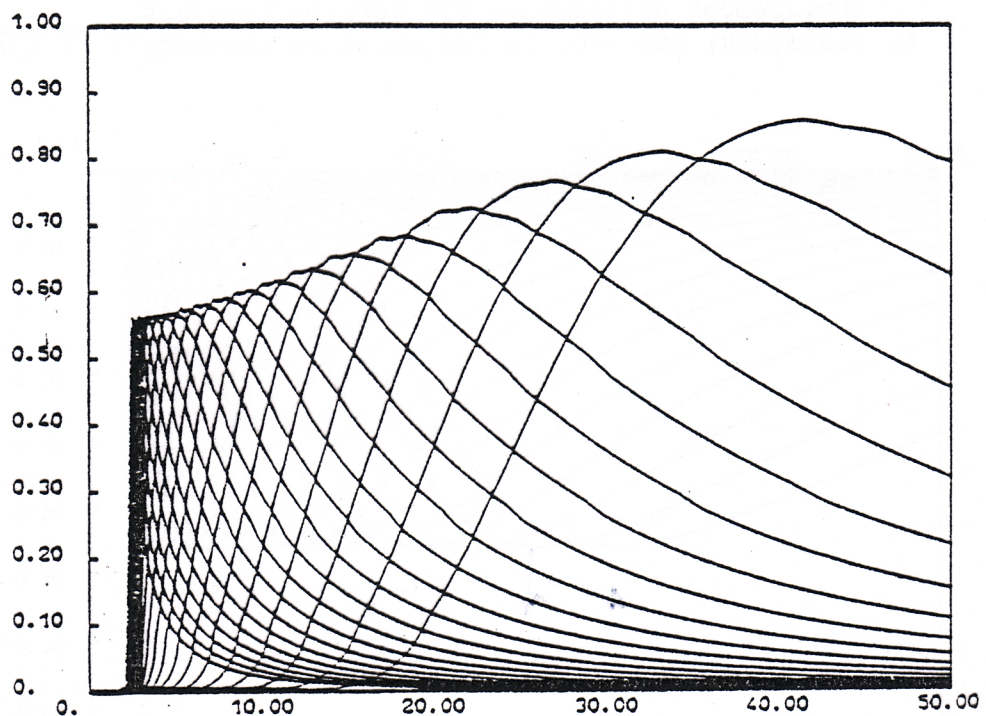


Figure 12 : Même chose que dans le cas de la Figure 11 pour la cellule de vol réelle.

$$v = \frac{\Delta \lambda}{\Delta \lambda_0}$$

OPTICAL SCHEME

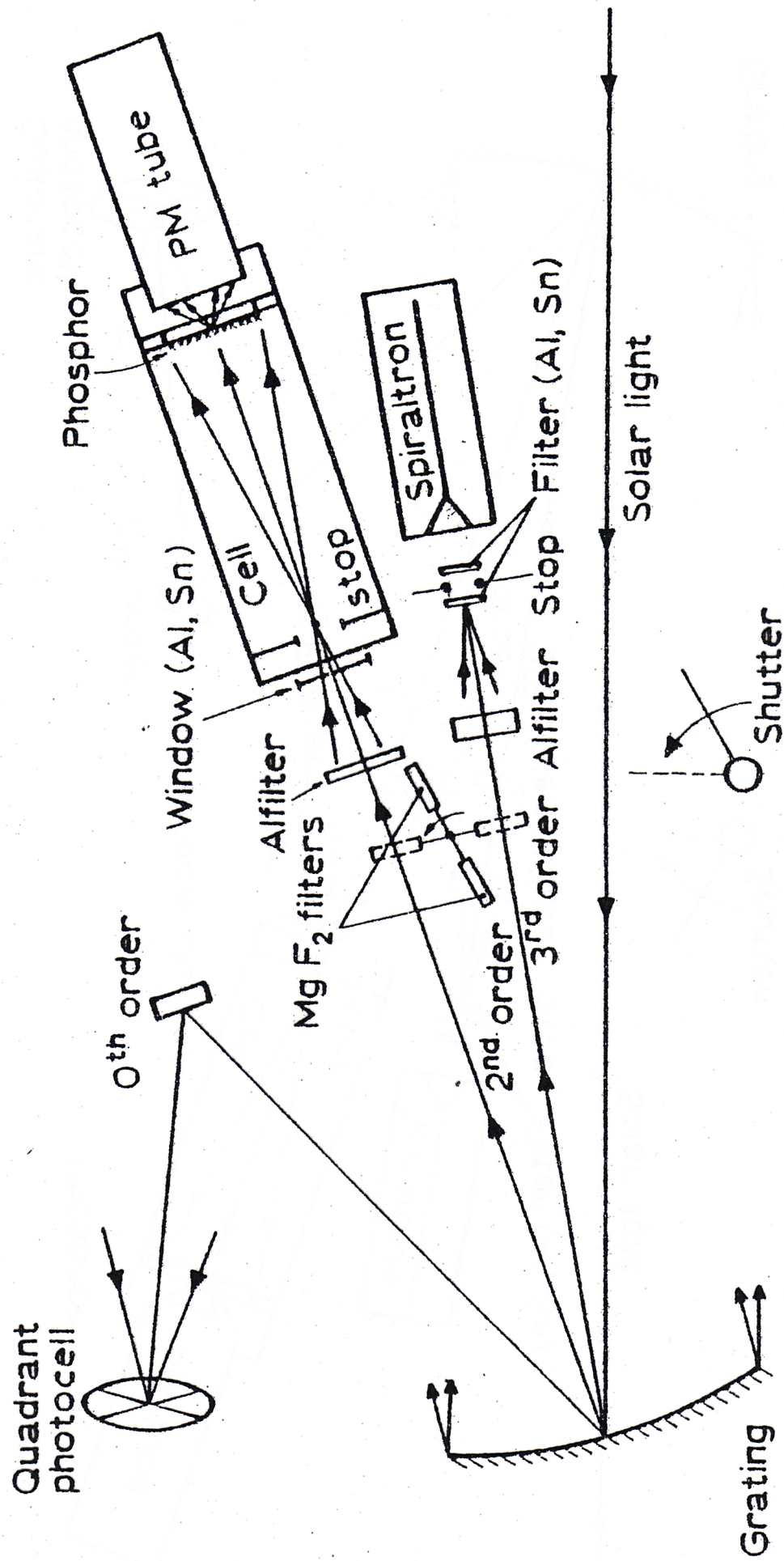


Fig. 6. Optical scheme of the rocket instrument.

FIELD TEST ASSEMBLY

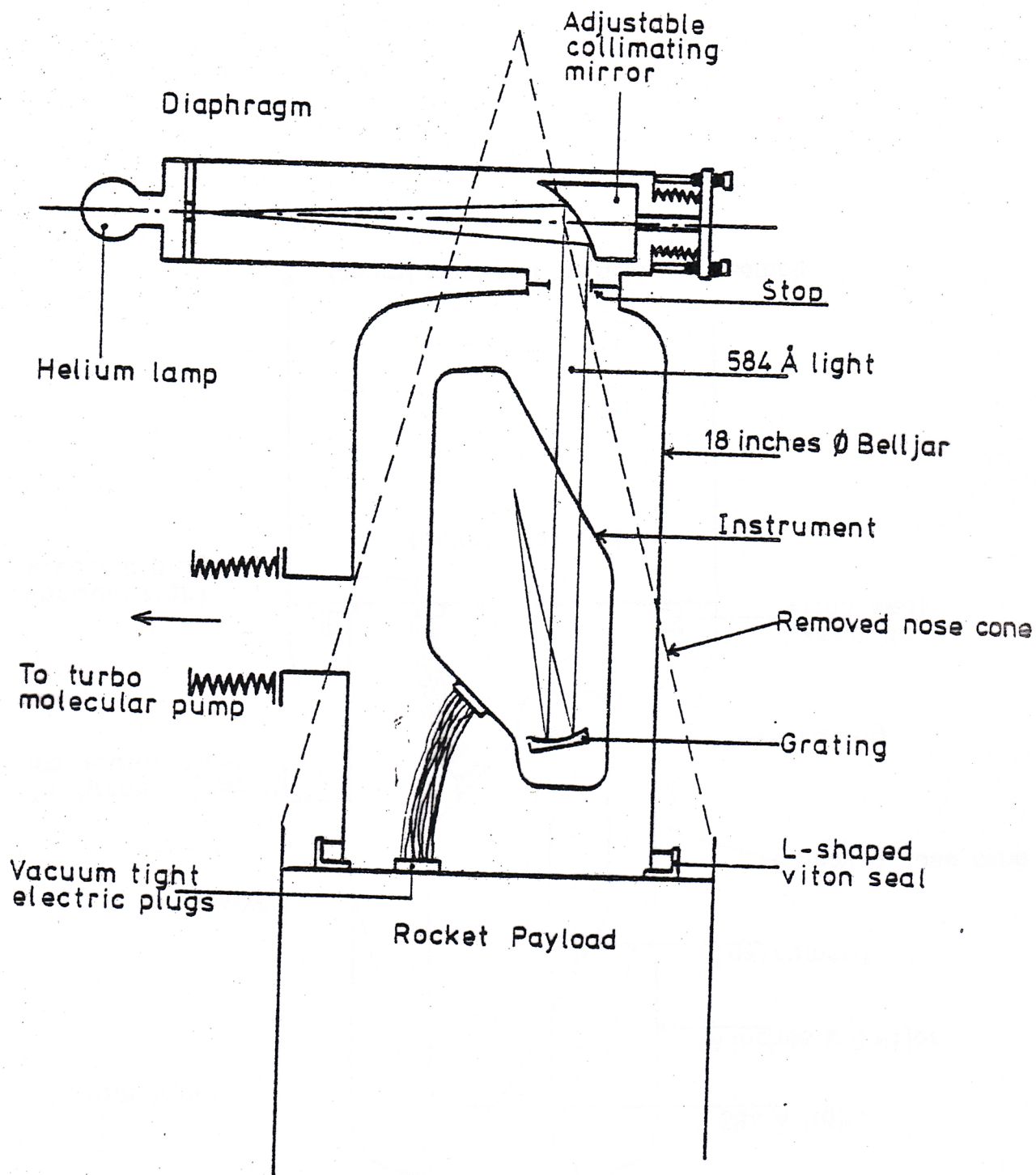


Fig. 9. Optical scheme of the field test assembly.

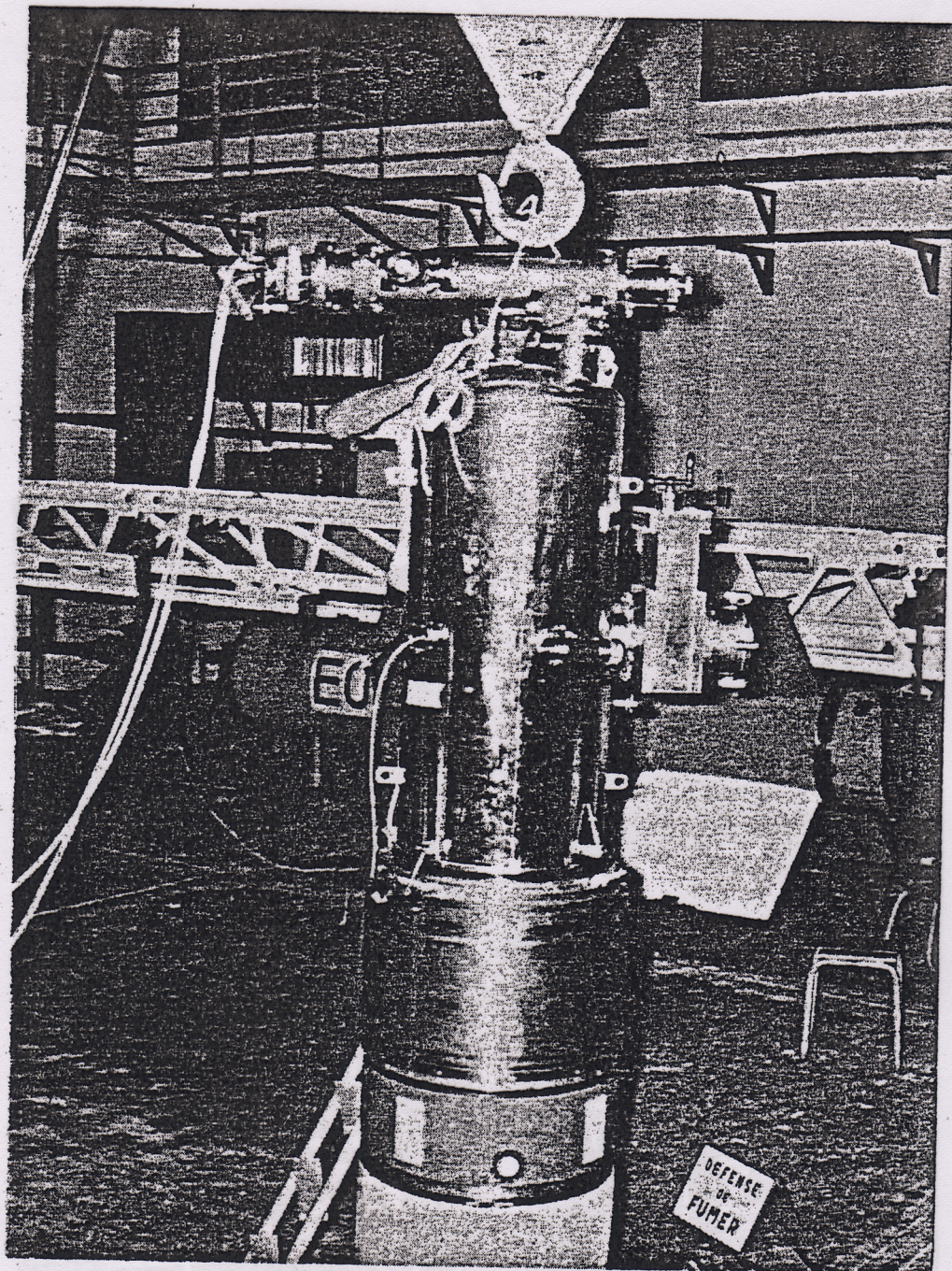


Fig. 8. View of test equipment used to check the instrument on board the flight vehicle.

GUYANA.

CASSIOPEE POINTING SYSTEM.



50057

TABLE OF FLIGHTS

FLIGHT#	LOCATION	DATE	COMMENTS
1	LANDES (F)	Feb. 1968	ROCKET CRASH
2	GUYANA (F)	March. 69	PREMATURE JETTISONING OF NOSE CONE
3	GUYANA (F)	Nov. 72	NO POINTING
4	White Sands (USA)	Feb. 74	110 KM ONLY
5	<u>"</u>	Jan. 75	O.K.

"

10 ANS D'EFFORTS,

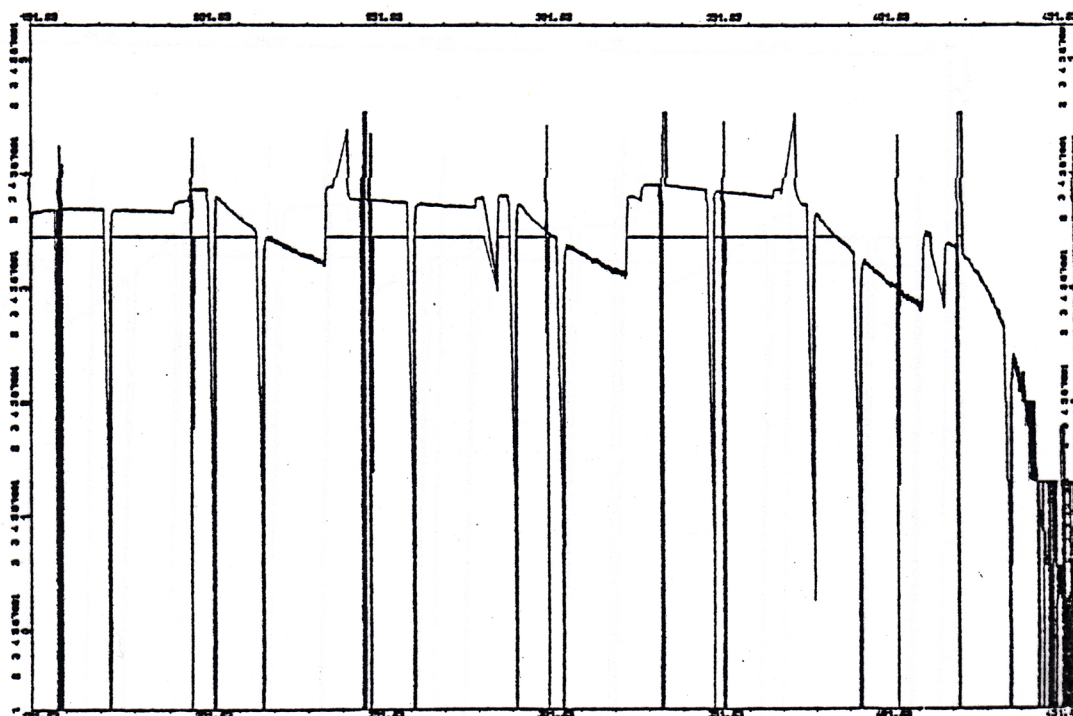
7 LAUNCH CAMPAIGNS

5 LAUNCHES "

CONCEPT DESIGNED AND PROPOSED IN 1964

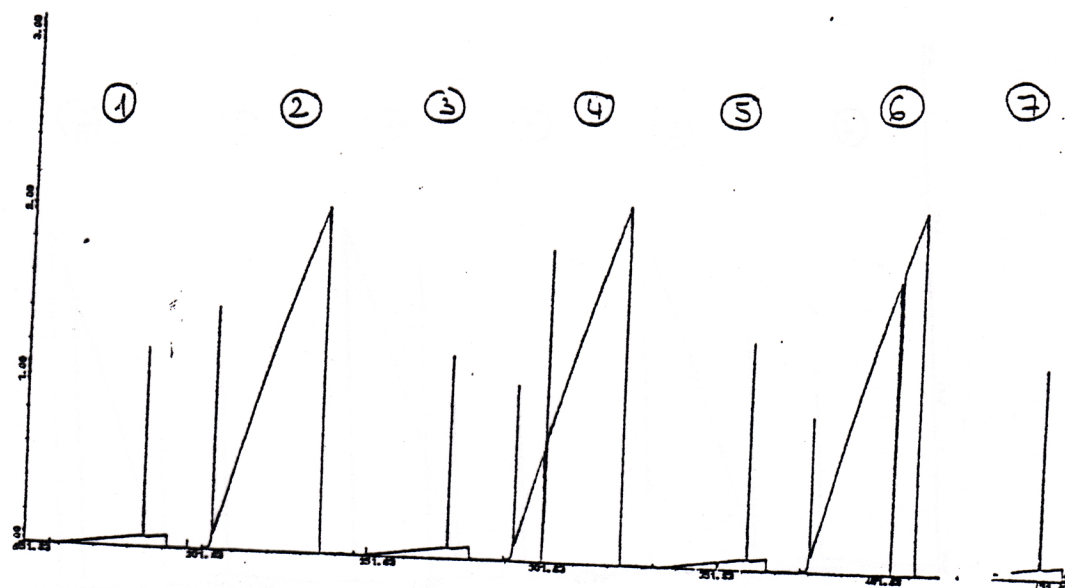
ACCEPTED AND FUNDED IN 1965.

20 JANUARY 1975
W SMR (USA)



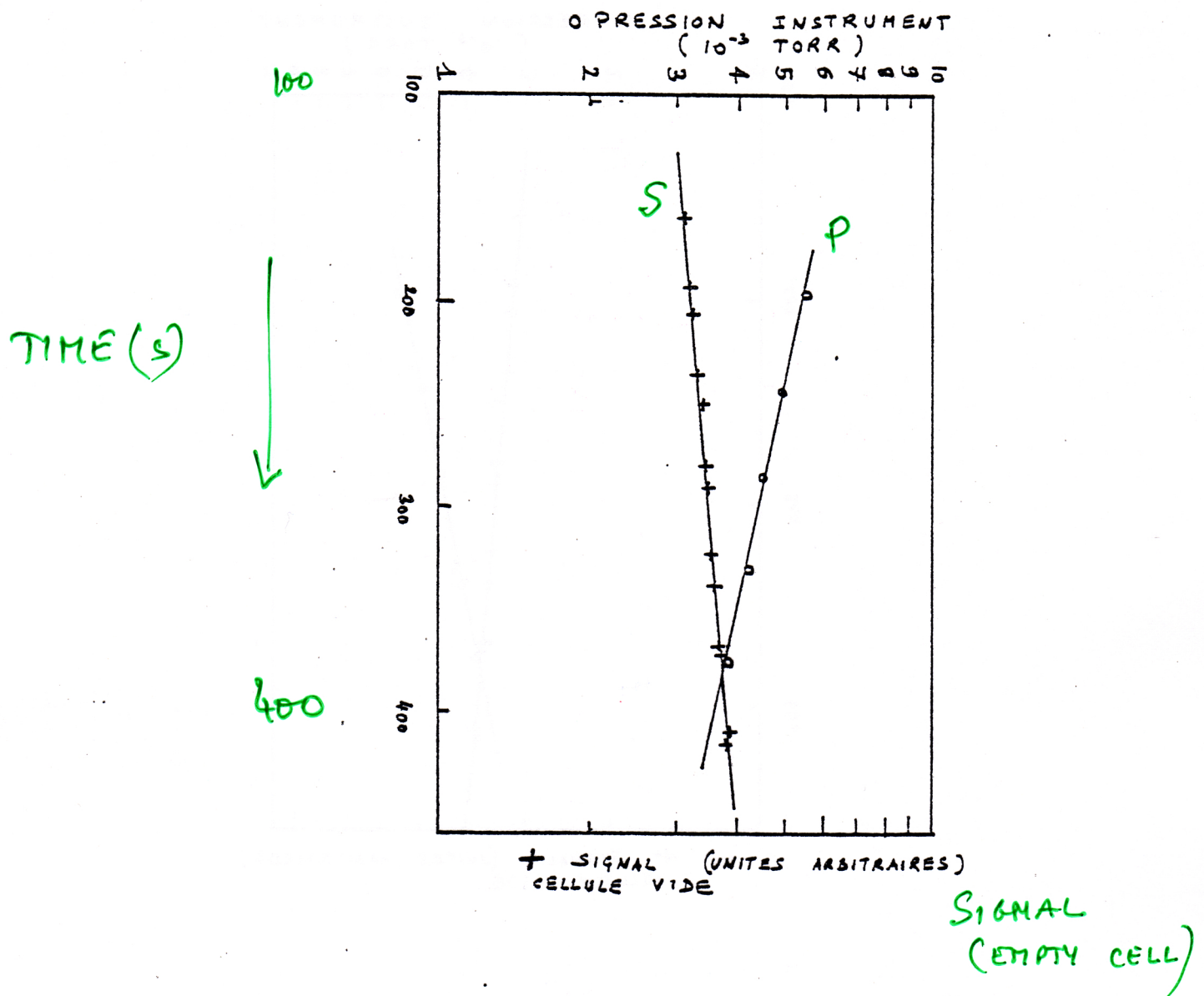
a)

7 cycles of measurements
in 400s



b)

FIGURE 1



EFFECT OF OUTGASING/ABSORPTION

Figure 4 : Mise en évidence de l'absorption due au dégazage de l'engin.

- . Abscisses, temps écoulé depuis la mise à feu (échelle linéaire 100-450 s) ;
- . Ordonnées, échelle de gauche : pression résiduelle (0) en torrs (échelle logarithmique entre 1 et $10 \cdot 10^{-3}$ torrs) ; échelle de droite : variations relatives du signal observé lorsque la cellule est vide, corrigé des effets atmosphériques et de la transmission des fenêtres (échelle logarithmique unités arbitraires de 1 à 10).

< ABSORPTION CURVE >

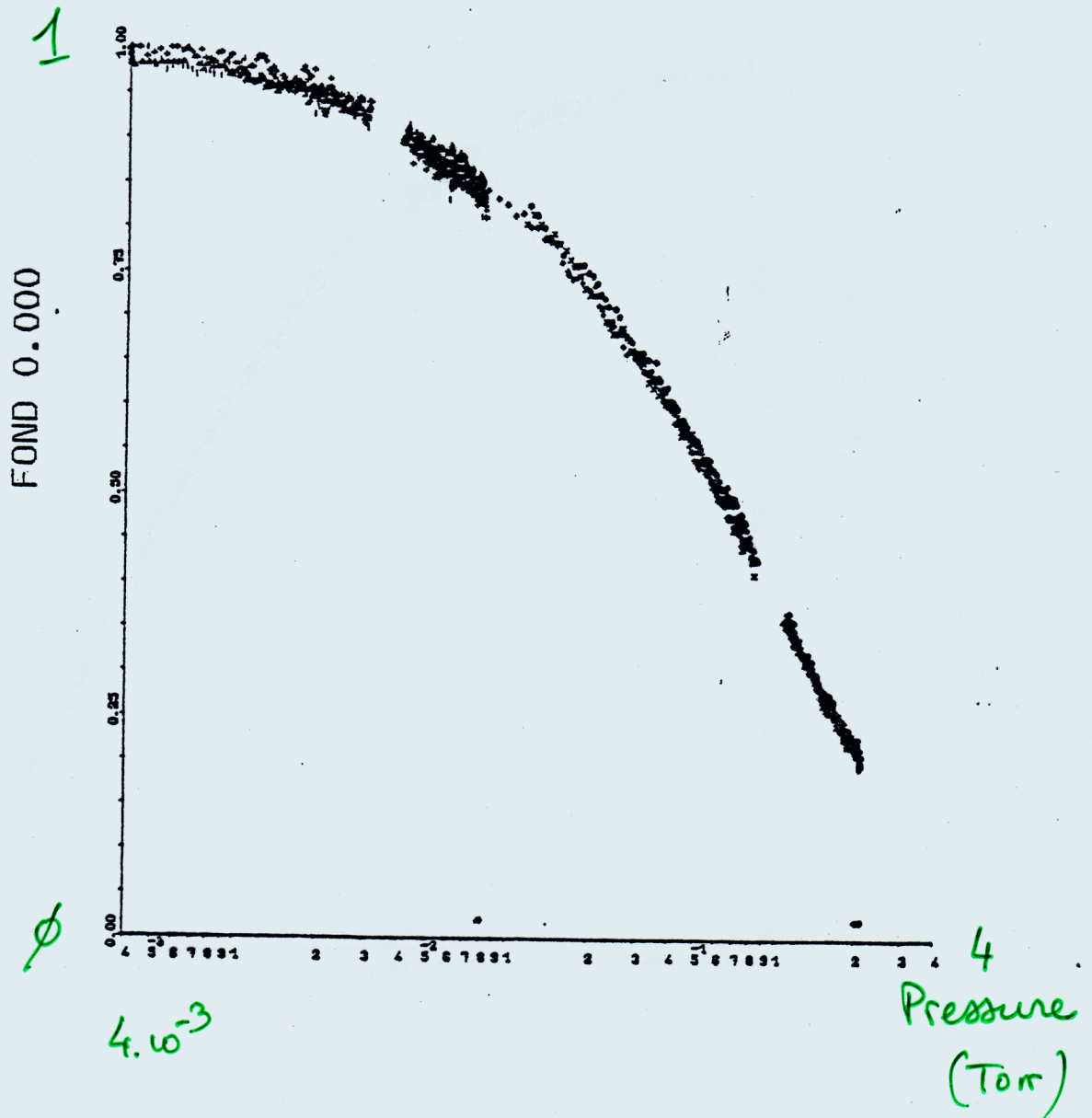


Figure 11 : Représentation de tous les points de mesure correspondant aux cycles 1 à 6.

Mêmes coordonnées que figure 10.
(Le symbole utilisé change avec le numéro de cycle).

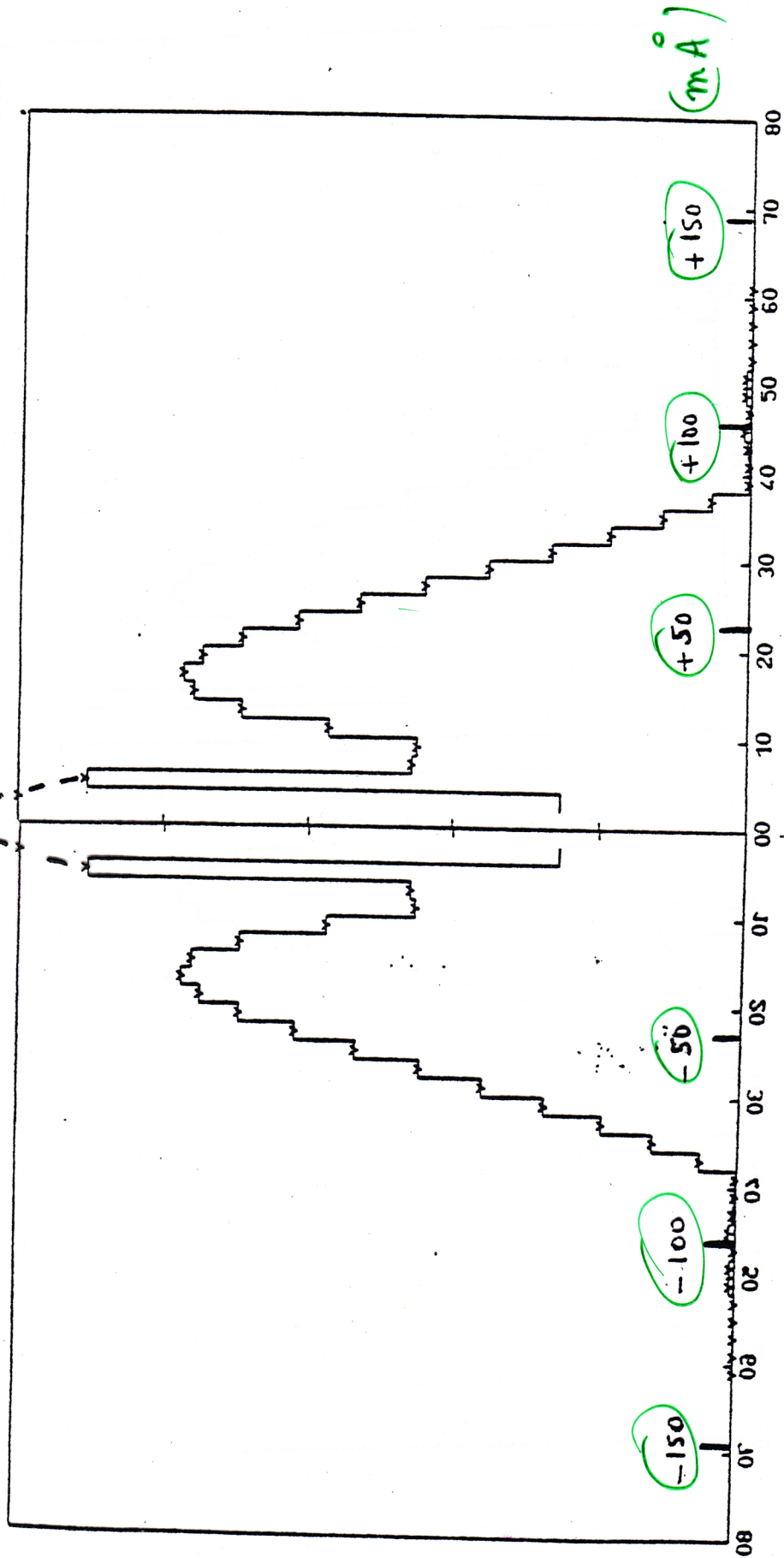


FIGURE VII - 0

$FWHM \approx 120 mA$

< ABSORPTION CURVE >

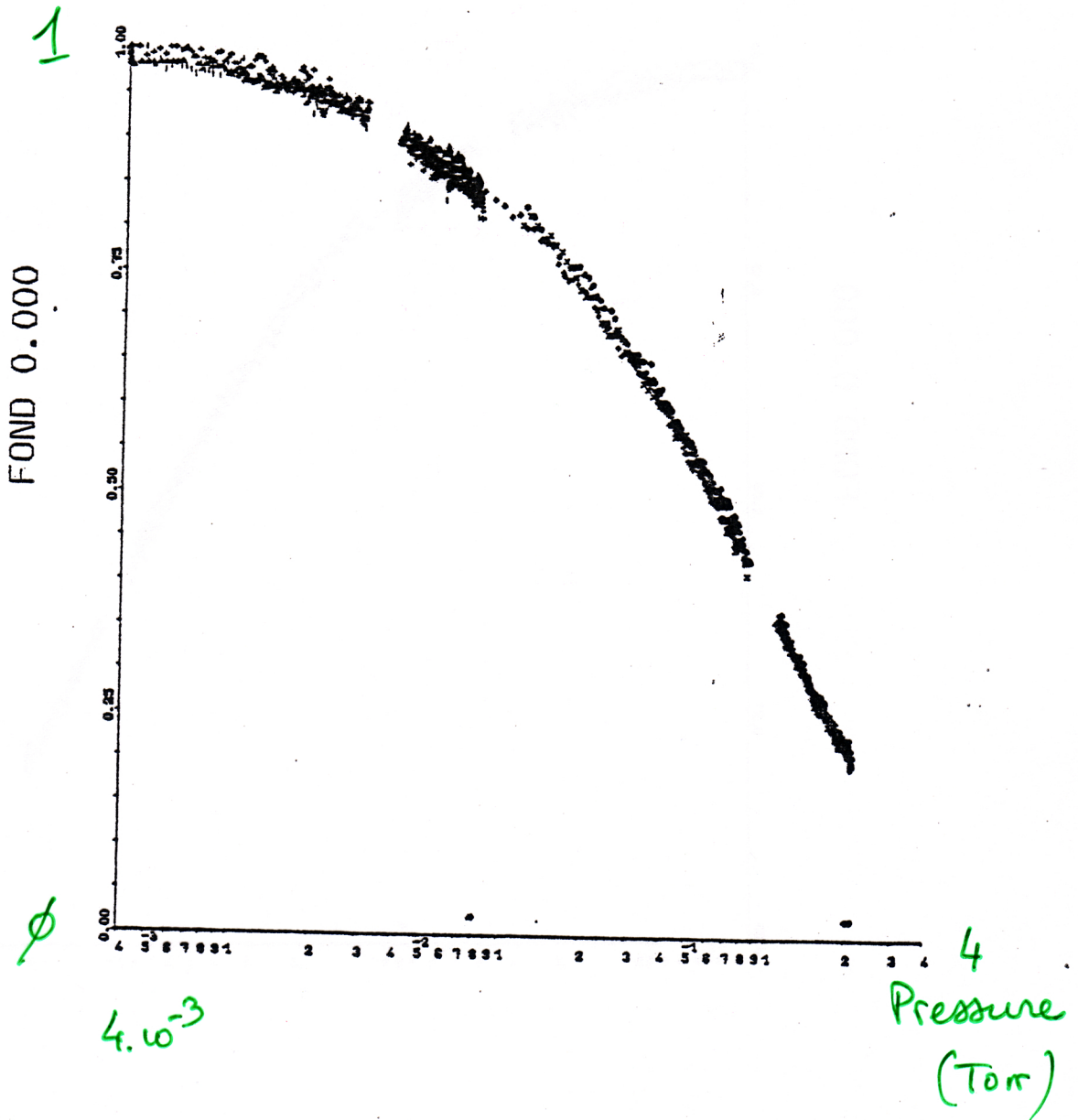


Figure 11 : Représentation de tous les points de mesure correspondant aux cycles 1 à 6.

Mêmes coordonnées que figure 10.
(Le symbole utilisé change avec le numéro de cycle).

GRATING INSTRUMENT

from C.U.

FWHM $\approx$
120 mÅ !

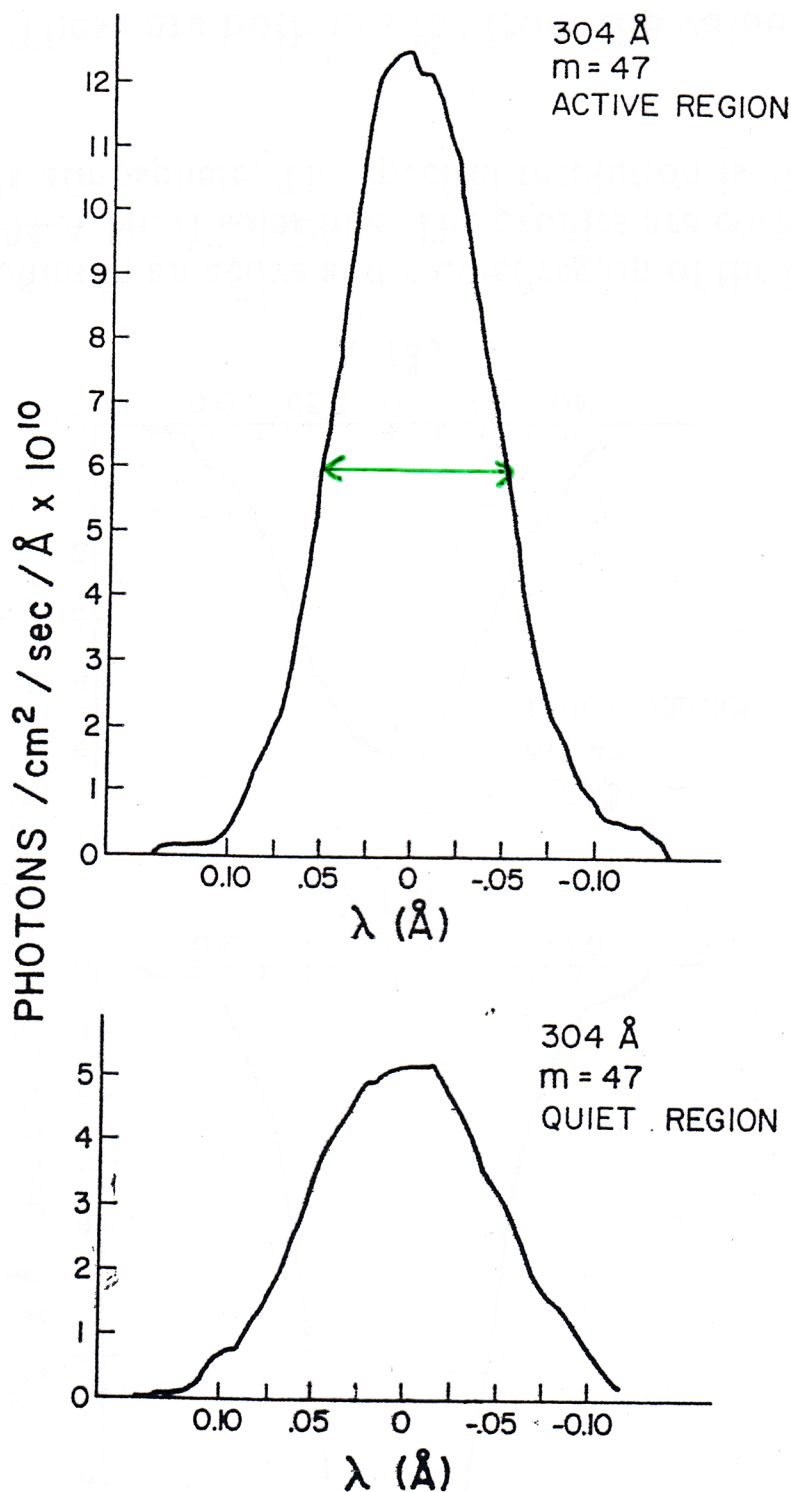


Fig. 6. Profiles in an active and a quiet region of the forty-seventh order of the 304-Å He II solar line. The profiles are corrected to outside the earth's atmosphere. The spectral resolution is about 0.01 Å.

respectively. These are both not far from the value of 2×10^{10} photons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Å}^{-1}$ that typical telluric measurements predict [Meier and Weller, 1974]. Use of the latter value and the measured solar 584-Å line integrated intensity of 1.3×10^9

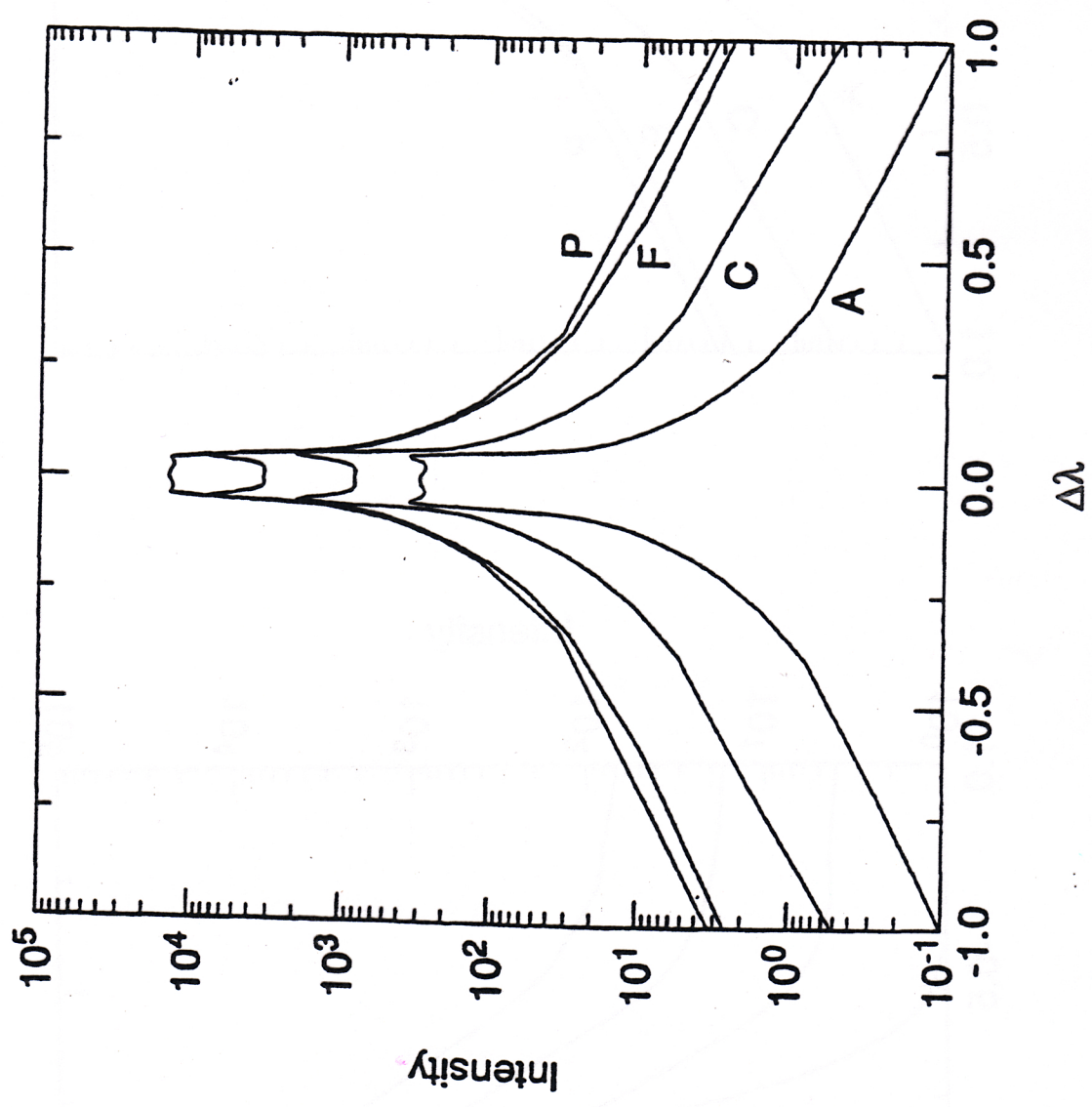


FIG. 13.—He I 584 Å line profile for models A, C, F, and P

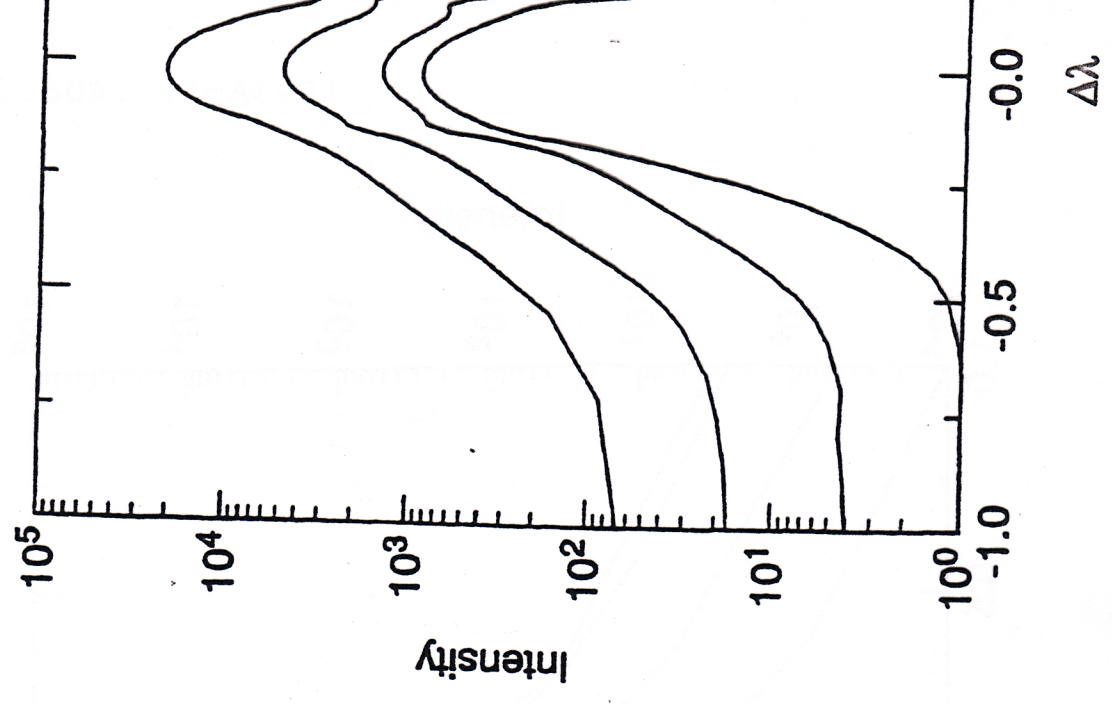
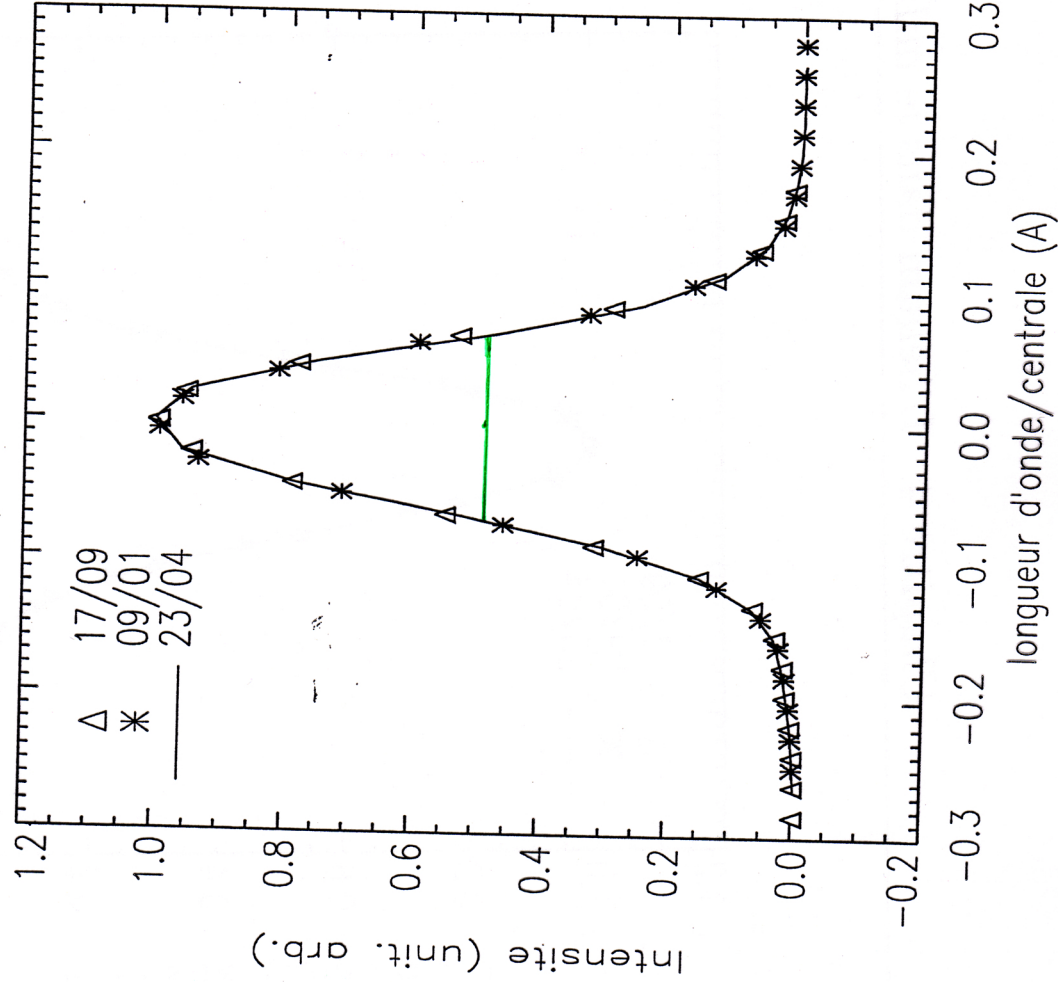


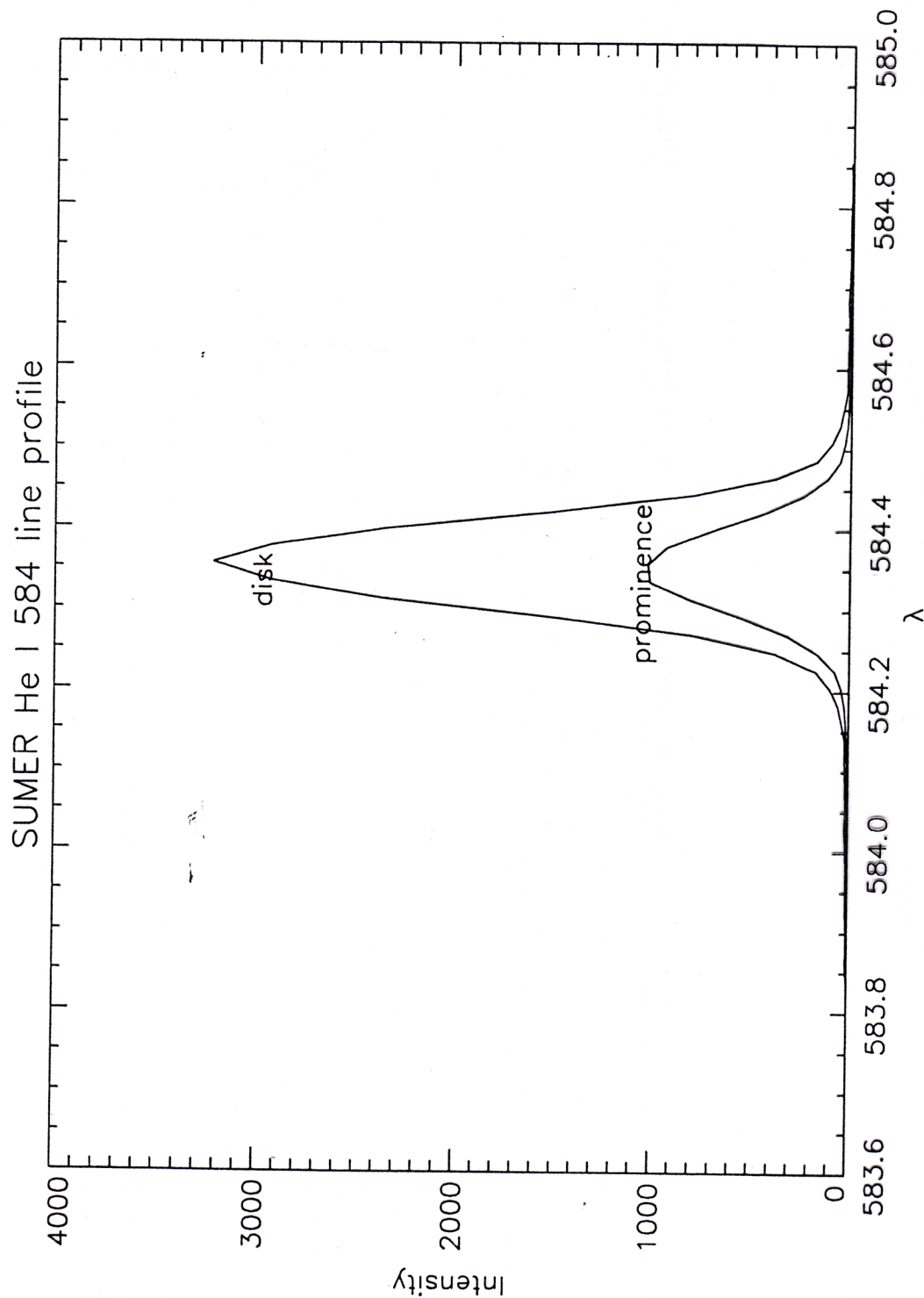
FIG. 15.—H 1026 Å (Ly β) line profile for

Chapitre 4. L'hélium dans le milieu interplanétaire

SUPER / SOHO

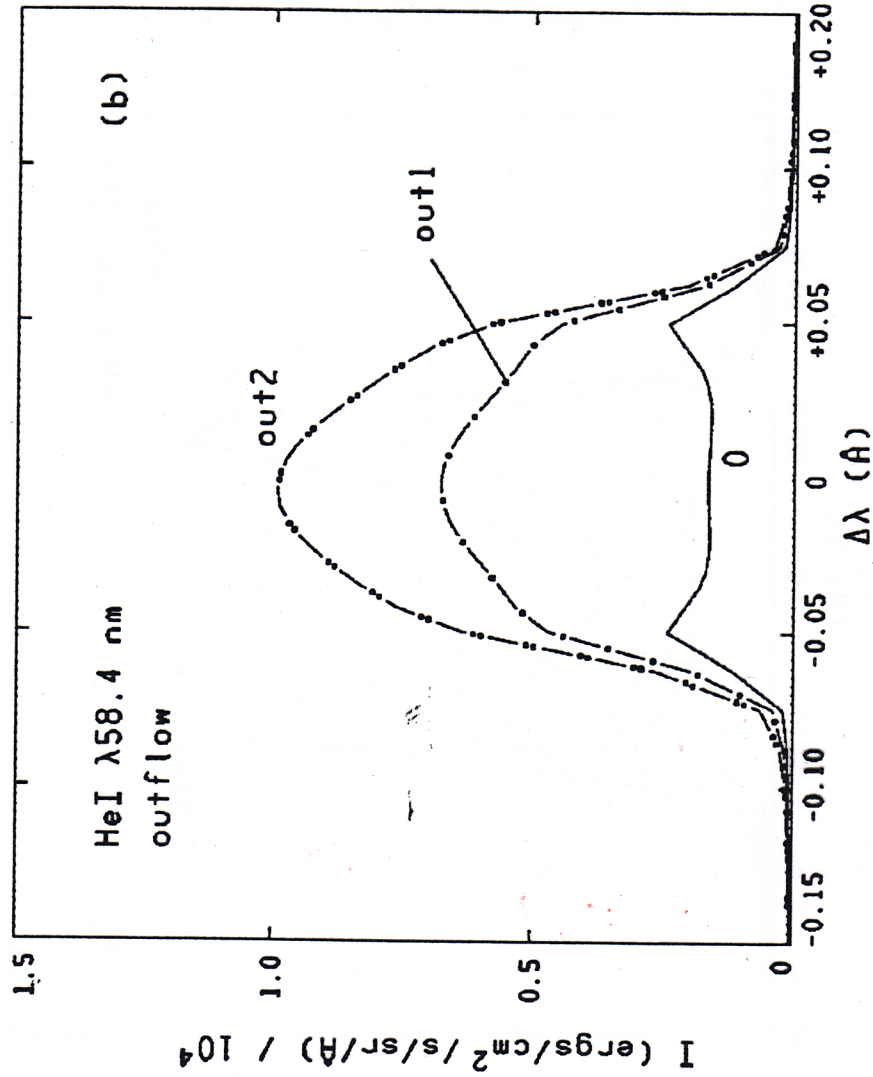
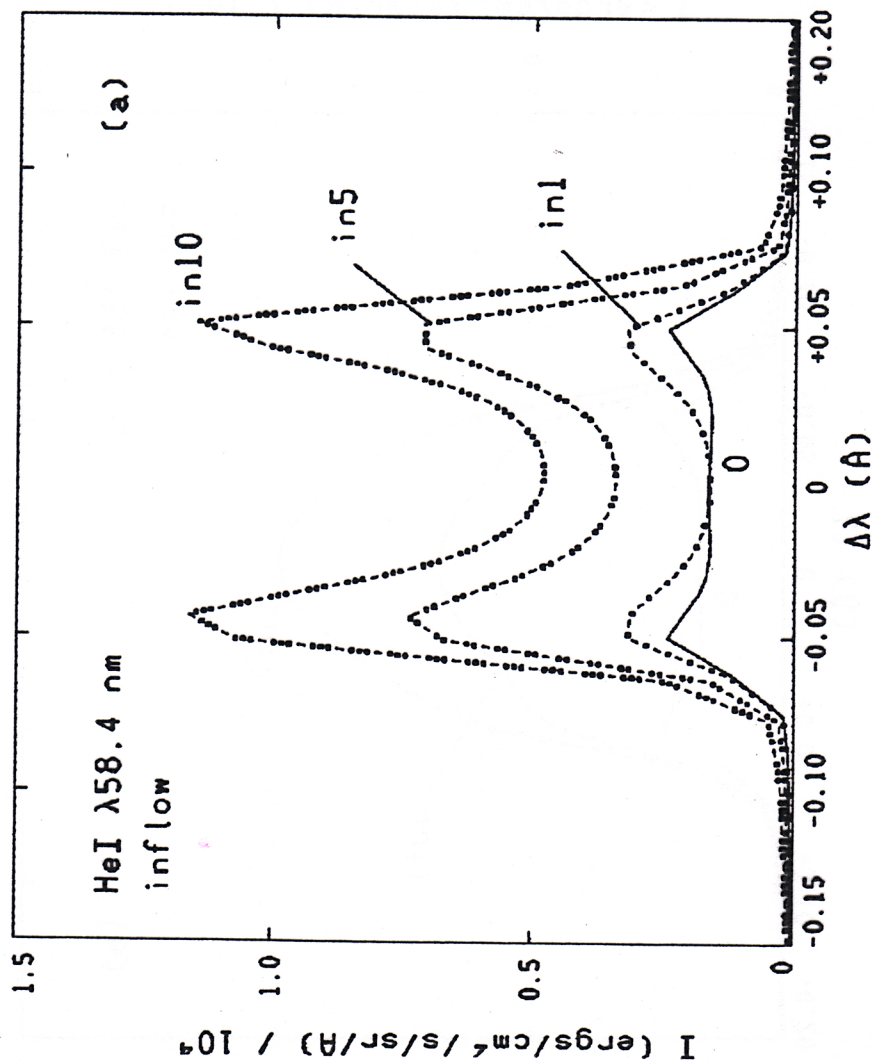
FWHM $\approx 130 \text{ mÅ}$





$\text{FWHM} \approx 120 \text{ mÅ}$

ENERGY BALANCE IN TRANSITION REGION. IV.



BOUDINE'S THESIS :

CLEVER DESIGN

SIMULATIONS

TESTING (BEFORE, AFTER)

OBSTINACY (not pigheadedness)

FAILURES

OBSTINACY
.....

SUCCESS

MERCI,

BOUDINE !

ET VIVE LA SPECTROSCOPIE !