

CEA 1800 - SCHUHL C.

SENSIBILITE DES CHAMBRES D'IONISATION A XENON GAZEUX (1961).

Sommaire. - Il apparaît intéressant d'utiliser du xénon comme gaz dans une chambre d'ionisation destinée à mesurer un faisceau d'électrons ou de positons de faible intensité et de grande énergie ou pour monitorer un faisceau de gamma. Dans les études des électrons de 5 à 50 MeV, le xénon permet de gagner un facteur 4,5 sur l'air pour la sensibilité d'une chambre d'ionisation.

CEA 1800 - SCHUHL C.

SENSITIVITY OF GASEOUS XENON IONISATION CHAMBERS (1961).

Summary. - It seems advantageous to fill an ionization chamber with xenon gas when this chamber is used for measuring a low intensity and high energy electron or positron beam, or monitoring a gamma beam. In the study of 5 to 50 MeV electrons, xenon allows for the ionization chamber yield, an improvement of a factor 4,5.

PREMIER MINISTRE
COMMISSARIAT A
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

SENSIBILITE DES CHAMBRES D'IONISATION
A XENON GAZEUX

par

Claude SCHUHL

Rapport CEA N° 1800

1960

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY
SERVICE DE DOCUMENTATION
Boite postale n° 2 - Gif-sur-Yvette (S.-et-O.)

- Rapport C. E. A. n° 1800 -

**Département de Physique Nucléaire
et de Physique du Solide
Section de Physique Nucléaire à Moyenne Energie**

SENSIBILITE DES CHAMBRES D'IONISATION A XENON GAZEUX

par

Claude SCHUHL

- 1961 -

SENSIBILITE DES CHAMBRES D'IONISATION

A XENON GAZEUX

Lorsque l'intensité moyenne d'un faisceau d'électrons (ou de positons) est trop petite pour être mesurée directement par un capteur, il est possible d'utiliser une chambre d'ionisation. Le gaz contenu dans cette chambre est ionisé par les particules incidentes et agit comme un amplificateur. L'amplification est égale au nombre de paires d'ions créées par la particule incidente le long de son parcours dans le gaz. L'étude des photons monochromatiques par annihilation en vol de positons monocinétiques⁽¹⁾ fait intervenir des intensités de positons justifiant l'utilisation de telles chambres. R.D. BIRKHOFF dans son étude du ralentissement des électrons donne⁽²⁾ des courbes des pertes d'énergie par ionisation dans le xénon, l'argon et l'air. Le peu de précision de la lecture sur les courbes nous oblige à refaire les calculs.

1 - Nombre de paires d'ions créées par centimètre de parcours par des électrons relativistes dans du xénon à une atmosphère et à 0°C(*)

Seule la perte d'énergie par collision est utilisée pour créer des paires d'ions. Or, d'après W.HEITLER⁽³⁾ dans le cas relativiste (c'est-à-dire si $\mu \ll E$)

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = N Z \Phi_0 \mu \frac{3}{4} \log \frac{E^3}{2 I^2 Z^2 \mu} \quad (1)$$

où N est le nombre d'atomes par cm^3 ($2,69 \cdot 10^{19}$), Z le numéro atomique du gaz (54), μ la masse au repos de l'électron, Φ_0 la section efficace de Thomson ($\Phi_0 = 6,653 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^2$), I le potentiel moyen d'ionisation (11 eV), E l'énergie totale de l'électron incident.

Si l'on connaît l'énergie moyenne W nécessaire pour créer une paire d'ions dans le gaz, l'équation (1) permet de calculer le nombre de paires d'ions formées par centimètre de parcours par des électrons d'énergie E (dans le cas de Xe⁽⁴⁾, $W = 21 \text{ eV}$)

$$n_{\text{p.i.}} = \frac{dN_{\text{p.i.}}}{dx} = \frac{N Z \Phi_0 \mu}{W} \cdot \frac{3}{4} \log \frac{E^3}{2 I^2 Z^2 \mu} \quad (2)$$

Dans le cas du xénon, nous obtenons :

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = 5470 + 2550 \log_{10} E \text{ (MeV)} \quad \text{eV/cm} \quad (3)$$

$$n_{\text{p.i.}} = 261 + 122 \log_{10} E \text{ (MeV)} \text{ paires d'ions/cm} \quad (4)$$

$$q = \{4,17 + 1,95 \log_{10} E \text{ (MeV)}\} 10^{-17} \text{ coulomb/cm} \quad (5)$$

*) Tous les calculs sont faits pour des gaz dont la température et la pression sont normales (T.P.N) c'est-à-dire $p = 1$ atmosphère et $t = 0^\circ \text{C}$ ($T = 273,1^\circ \text{K}$)

Le tableau 1 donne les valeurs numériques de ces grandeurs (colonnes 4,6 et 7).

Tableau 1

Perte d'énergie des électrons dans le xénon.

E (MeV) (1)	$(-\frac{dE}{dx})$ en eV/cm			r(cm) Parcours des élec- trons. (5)	ⁿ _{p.i.} Nombre de paires d'ions par cm (6)	^q (10 ⁻¹⁷ cou- lomb par cm) charge créée par cm (7)
	Totale (2)	Rayonne- ment.(3)	Collision (4)			
5	9890	2640	7250	580	347	5,52
10	13600	5600	8020	1100	383	6,12
15	17170	8690	8480	1500	405	6,49
20	20700	11910	8780	1830	419	6,70
25	24240	15210	9040	2100	432	6,91
30	27850	18540	9240	2330	442	7,07
40	35015	25600	9550	2700	456	7,32
50	42560	32750	9800	3000	468	7,50
fig.n°	1 et 2	1 et 2	1 et 2	3	4	5

2. Cas d'une épaisseur de xénon importante

Les résultats du paragraphe précédent n'ont de sens que si la perte d'énergie des électrons est suffisamment faible pour admettre que $(-\frac{dE}{dx})_{coll}$ est constante le long du parcours. Si l'épaisseur e du xénon est grande, il faut calculer l'intégrale de

^{*)} Nous avons calculé le parcours des électrons dans le xénon en interpolant les valeurs de $RNZ\frac{1}{L_0}$ en fonction du numéro atomique.

L'erreur sur R est estimée à environ 2 ou 3 %.

cette grandeur sur le parcours :

$$(-\Delta E)_{\text{coll}} = \int_R^{R-e} \left(-\frac{dE}{dx}\right) dr \quad (6)$$

où r est le parcours de l'électron d'énergie E , $\left(-\frac{dE}{dx}\right)$ doit être donné en fonction de r , et R est la valeur de r pour l'énergie de l'électron incident. Le tableau 1 (colonnes 4 et 5) nous fournit les éléments pour le calcul d'une telle intégrale.

Nous y avons adjoint les valeurs des pertes par rayonnement. Ces dernières ont été calculées à partir de l'approximation relativiste de BETHE et HEITLER⁽⁵⁾ :

$$\frac{r}{c} = \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ray.}} / \left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = \frac{E Z}{1600\mu} \quad (7)$$

soit pour le xénon : $\frac{r}{c} = 0,066 E \text{ (MeV)} \quad (8)$

3. Comparaison du xénon, de l'argon et de l'air.

Pour le calcul dans le cas de l'argon et de l'air, nous avons choisi, pour les potentiels moyens d'ionisation, $12 \text{ eV}^{\text{et}}$ pour l'énergie nécessaire pour créer une paire d'ions, respectivement 26 eV et $32 \text{ eV}^{\text{(4)}}$. Nous en déduisons les expressions :

Argon $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = 2075 + 852 \log_{10} E \text{ (MeV) eV/cm} \quad (9)$

Air *) $\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{coll}} = 1965 + 733 \log_{10} E \text{ (MeV) eV/cm} \quad (10)$

ainsi que :

Argon $n_{\text{p.i.}} = 79,8 + 32,7 \log_{10} E \text{ (MeV)} \quad (11)$

Air $n_{\text{p.i.}} = 61,4 + 22,9 \log_{10} E \text{ (MeV)} \quad (12)$

* Dans le cas de l'air nous avons pris pour valeur de Z^2 celle de $(\bar{Z})^2$, c'est-à-dire $(7,8)^2 = 60,9$. On obtiendrait un résultat légèrement différent en choisissant (Z^2) soit $52,1$. L'équation (10) s'écrirait alors : $2110 + 728 \log_{10} E$.

Le tableau 2 résume l'ensemble des résultats. Nous y reproduisons les résultats pour le xénon.

Tableau 2

Perte d'énergie des électrons par collisions dans Air, A et Xe (T.P.N.)

E (MeV)	$(-\frac{dE}{dx})_{coll}$ e ^v /cm			n _{p.i.} /cm			q(10 ⁻¹⁷ coulomb/cm)			Comparaison		
	Air	A	Xe	Air	A	Xe	Air	A	Xe	$\frac{Xe}{Air}$	$\frac{Xe}{A}$	$\frac{A}{Air}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
5	2480	2670	7250	77,2	102,6	347	1,25	1,64	5,52	4,48	3,38	1,33
10	2700	2930	8020	84,3	112,5	383	1,35	1,81	6,12	4,54	3,40	1,33
15	2825	3080	8480	88,4	118,2	405	1,41	1,89	6,49	4,58	3,42	1,34
20	2915	3180	8780	91,2	122,2	419	1,46	1,95	6,70	4,58	3,42	1,34
25	2988	3270	9040	93,4	125,5	432	1,49	2,01	6,91	4,62	3,44	1,34
30	3047	3330	9240	95,1	128,1	442	1,52	2,05	7,07	4,64	3,44	1,35
40	3135	3435	9550	97,9	132,1	456	1,57	2,12	7,32	4,65	3,46	1,35
50	3210	3520	9800	100,5	135,4	468	1,61	2,17	7,50	4,65	3,46	1,35
fig. r°	6	6	6	4	4	4	5	5	5			

L'argon et le xénon sont des gaz dont le coefficient d'attachement est faible, donc nous avons intérêt à remplacer systématiquement l'air par de l'argon. Mais lorsque l'intensité du faisceau d'électrons (ou de positons) est faible et que les caractéristiques mécaniques de la chambre d'ionisation ne nous permettent pas d'augmenter la pression du gaz, l'utilisation du xénon qui nous permet de gagner un facteur 4,6 sur la sensibilité de la chambre, s'avère rentable.

4. Valeurs tirées de l'article de R.D. BIRKHOFF (cf. fig.6)

R.D. BIRKHOFF⁽²⁾ donne les pertes d'énergies par ionisation pour l'air, l'argon et le xénon en MeV/g.cm^{-2} . Les premières colonnes du tableau 3 sont les valeurs lues sur son graphique (à $\pm 0,03$ près) et les dernières les valeurs en eV/cm déduites des premières en prenant pour valeurs de densité des gaz :
 $\rho_{\text{Air}} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{A}} = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ et $\rho_{\text{Xe}} = 5,70 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$.

Tableau 3

Perte d'énergie des électrons par collision dans l'air, l'argon et le xénon calculée par R.D. BIRKHOFF⁽²⁾.

E (MeV)	$(-dE/dx)_{\text{ion.}} (\text{MeV/g.cm}^{-2})$			$(-\frac{dE}{dx})_{\text{ion.}} (\text{eV/cm})$ (T.P.N.) d'après BIRKHOFF.		
	Air	A	Xe	Air	A	Xe
5	1,84	1,56	1,32	2380	2780	7580
10	1,97	1,67	1,41	2560	2970	8040
20	2,11	1,80	1,57	2730	3200	8940
50	2,32	2,00	1,73	3000	3560	9860

Ces valeurs sont très voisines des nôtres.

5 - Utilisation de la chambre d'ionisation à xénon gazeux pour la mesure d'un flux de gamma.

Lorsqu'un faisceau de photons tombe sur la chambre d'ionisation, il donne naissance à des électrons secondaires. Le nombre d'électrons créés par les photons dans le gaz lui-même est en général faible par rapport au nombre d'électrons provenant de l'interaction du faisceau de gamma avec la paroi de la chambre. Il faut calculer la distribution énergétique des électrons et des positons produits, tenir compte de leur absorption dans la paroi et en déduire l'efficacité de la chambre d'ionisation. Dans certains cas, lorsque la

pression du xénon sera élevée et son épaisseur importante, il sera nécessaire de tenir compte de son interaction avec le faisceau de photons. Pour ces motifs nous indiquons les sections efficaces d'absorption des photons par le xénon (cf.fig. 7 et 10) d'après G.R. WHITE.⁽⁶⁾

Tableau 4

Section efficace d'absorption des gamma dans le xénon.

$h\nu$ MeV	$\sigma : 10^{-24} \text{cm}^2/\text{atome}$				σ totale	
	Photo- électrique	Diffusion	Paires (noyaux)	Paires (électrons)	$10^{-24} \text{cm}^2/\text{at.}$	10^{-4}cm^{-1} (T.P.N.)*
0,5	4,18	16,5			20,7	5,57
1	0,923	11,6			12,52	3,37
2	0,286	7,95	0,55		8,79	2,57
5	0,088	4,47	3,16	0,018	7,74	2,09
10	0,044	2,75	6,02	0,062	8,88	2,39
15	0,033	2,04	7,52	0,097	9,69	2,61
20	0,022	1,632	8,74	0,122	10,52	2,83
30		1,186	10,47	0,163	11,82	3,18
40		0,942	11,51	0,194	12,65	3,41
50		0,786	12,44	0,224	13,45	3,62
100		0,442	14,72	0,306	15,47	4,16

* Nous avons pris pour le nombre d'atomes par cm^3 : $2,69 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$

Nous pensons qu'il est également utile de compléter notre série de renseignements par les coefficients d'absorption des gamma dans l'argon et l'air (cf.fig. 8,9 et 10) également d'après G.R. WHITE.⁽⁶⁾

Tableau 5

Section efficace d'absorption des gamma dans l'argon

$h\nu$ (MeV)	$\sigma : 10^{-24} \text{cm}^2/\text{atome}$				σ totale	
	Photo- électrique	Diffusion	Paires (noyaux)	Paires (électrons)	$10^{-24} \text{cm}^2/\text{at.}$	10^{-4}cm^{-1} (T.P.N.)*
0,5	0,03	5,24			5,27	1,418
1		3,81			3,81	1,024
2		2,64	0,05		2,69	0,723
5		1,491	0,35	0,006	1,85	0,498
10		0,918	0,68	0,021	1,62	0,436
15		0,679	0,90	0,032	1,61	0,433
20		0,544	1,05	0,041	1,64	0,441
30		0,396	1,25	0,056	1,70	0,457
40		0,314	1,39	0,066	1,77	0,476
50		0,262	1,50	0,074	1,84	0,495
100		0,1475	1,81	0,100	2,06	0,554

*) Nous avons pris pour le nombre d'atomes par cm^3 : $2,69 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$

Tableau 6

Section efficace d'absorption des gamma dans l'air **)

$h\nu$ MeV	$\sigma : 10^{-24} \text{cm}^2 / \text{atome}$				$\sigma \text{ totale}$	
	Photo- électrique	Diffusion	Paires (noyaux)	Paires (électrons)	$10^{-24} \text{cm}^2/\text{at.}$	10^{-4}cm^{-1} (T.P.N.)*
0,5	0,00015	2,090			2,090	1,13
1		1,527			1,527	0,822
2		1,059	0,0085		1,067	0,574
5		0,599	0,0596	0,0025	0,661	0,356
10		0,368	0,113	0,0065	0,487	0,264
15		0,273	0,148	0,0124	0,433	0,234
20		0,219	0,173	0,0165	0,408	0,220
30		0,159	0,209	0,0228	0,379	0,198
40		0,126	0,234	0,0267	0,387	0,208
50		0,105	0,253	0,0299	0,388	0,209
100		0,059	0,302	0,0401	0,391	0,210

*) Nombre d'atomes par cm^3 : $5,38 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$

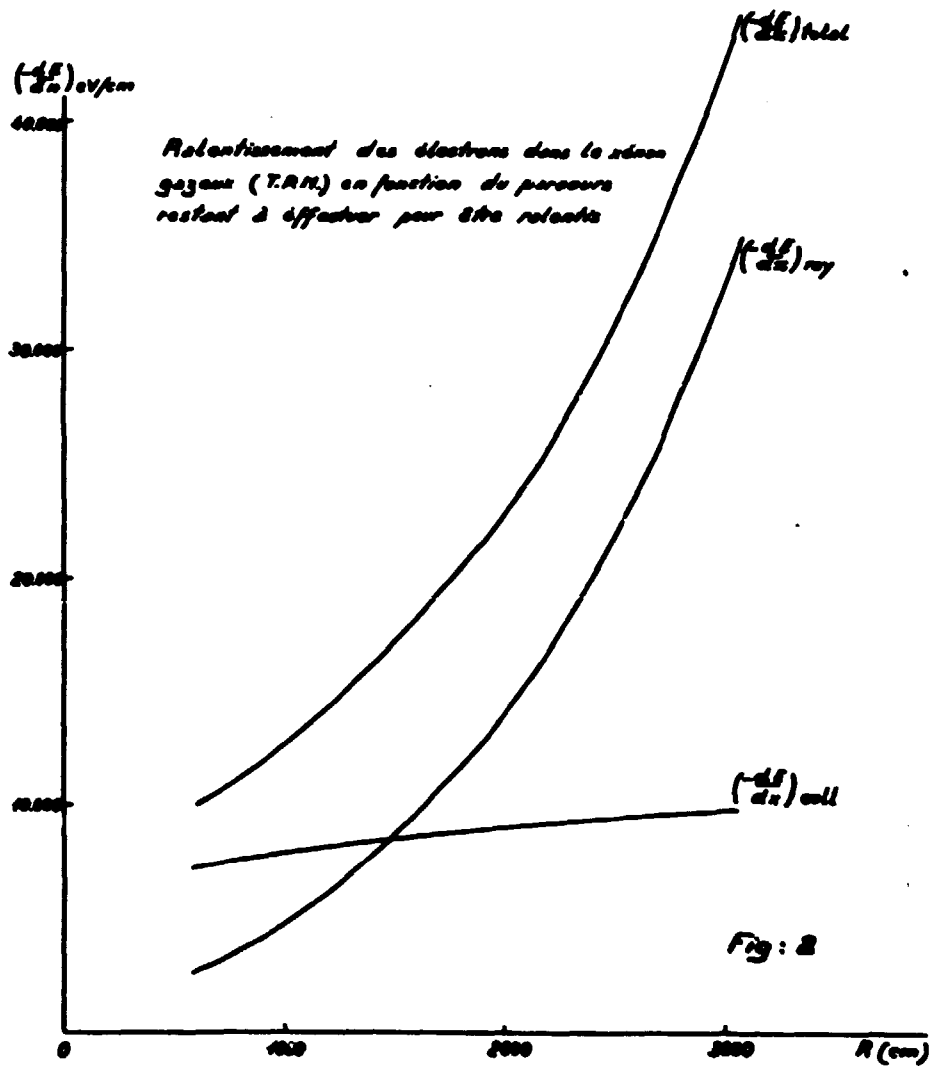
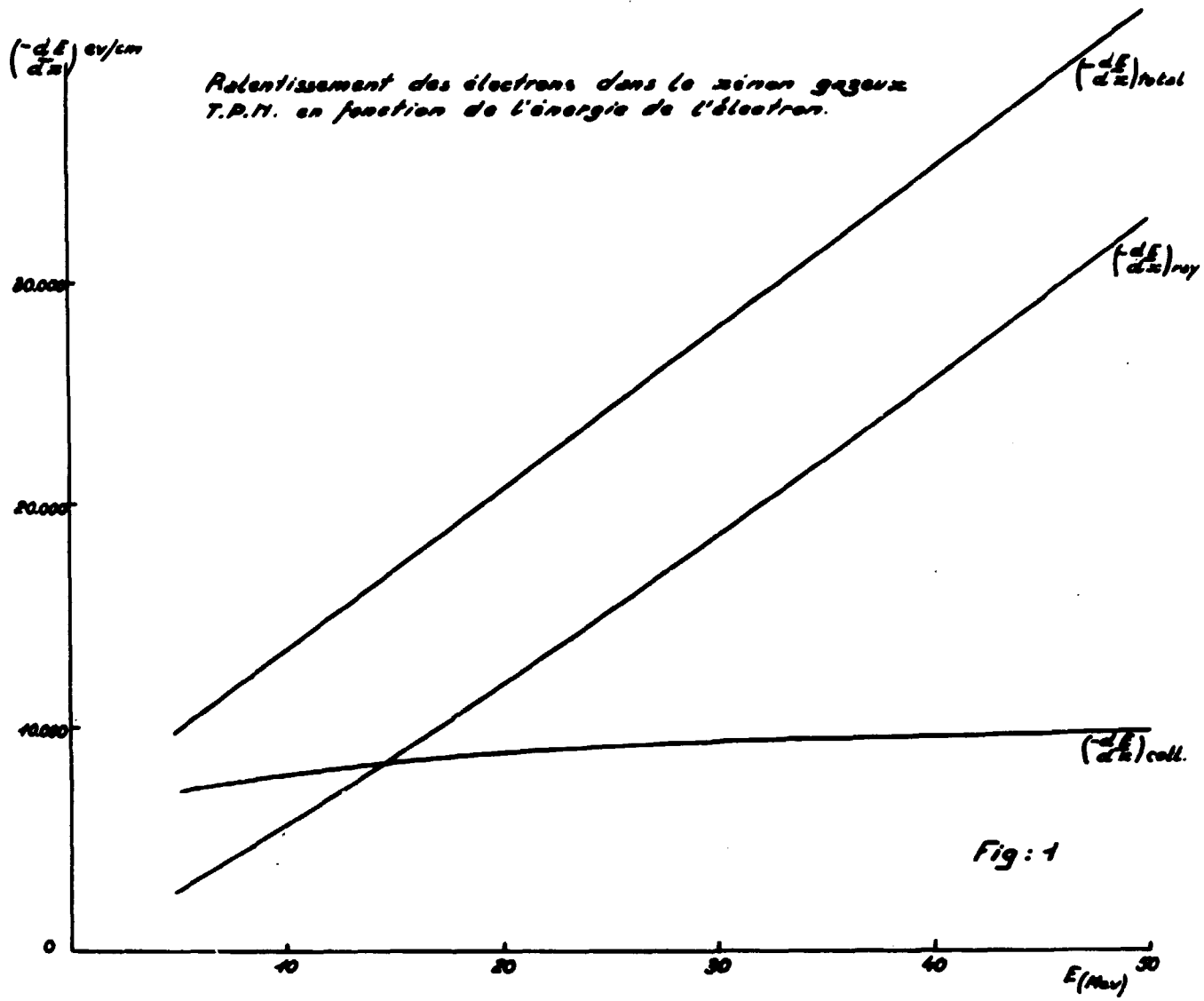
**) Composition admise N^2 (78%)
 O^2 (21%) A (1 %)

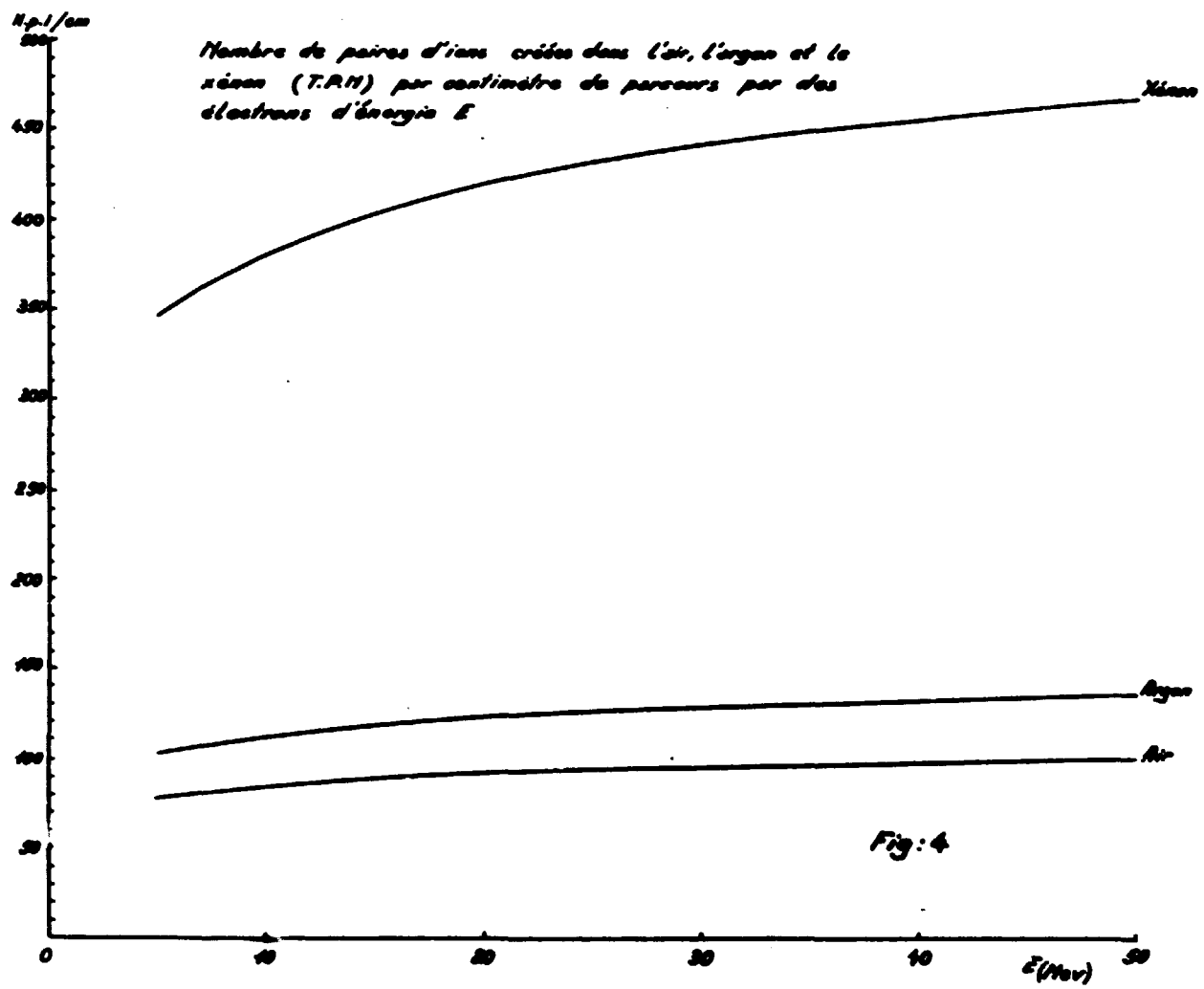
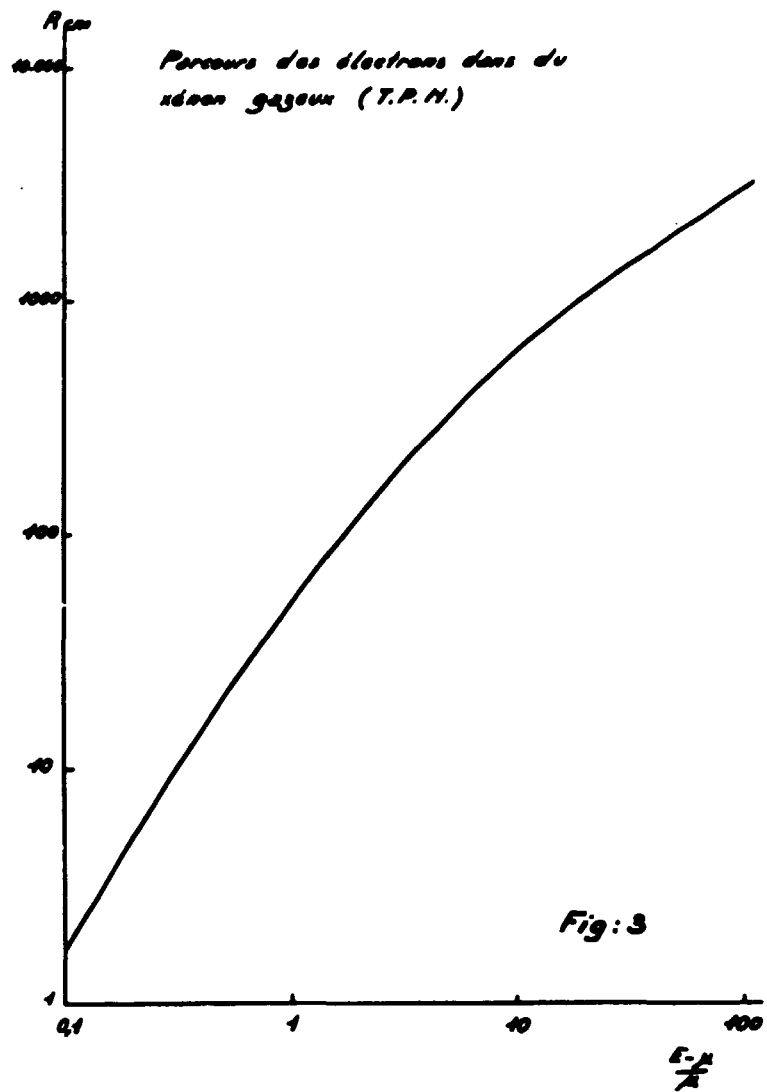
Dans le calcul je considère que "l'atome d'air" contient 0,78 atome d'azote + 0,21 atome d'oxygène et 0,005 atome d'argon. Si bien que $\sigma_{\text{air}} = 0,78 \sigma (\text{N}) + 0,10 \sigma (\text{O}) + 0,005 \sigma (\text{A})$. Ceci nous permet de considérer qu'il y a $5,34 \cdot 10^{19}$ "atomes" d'air par cm^3 .

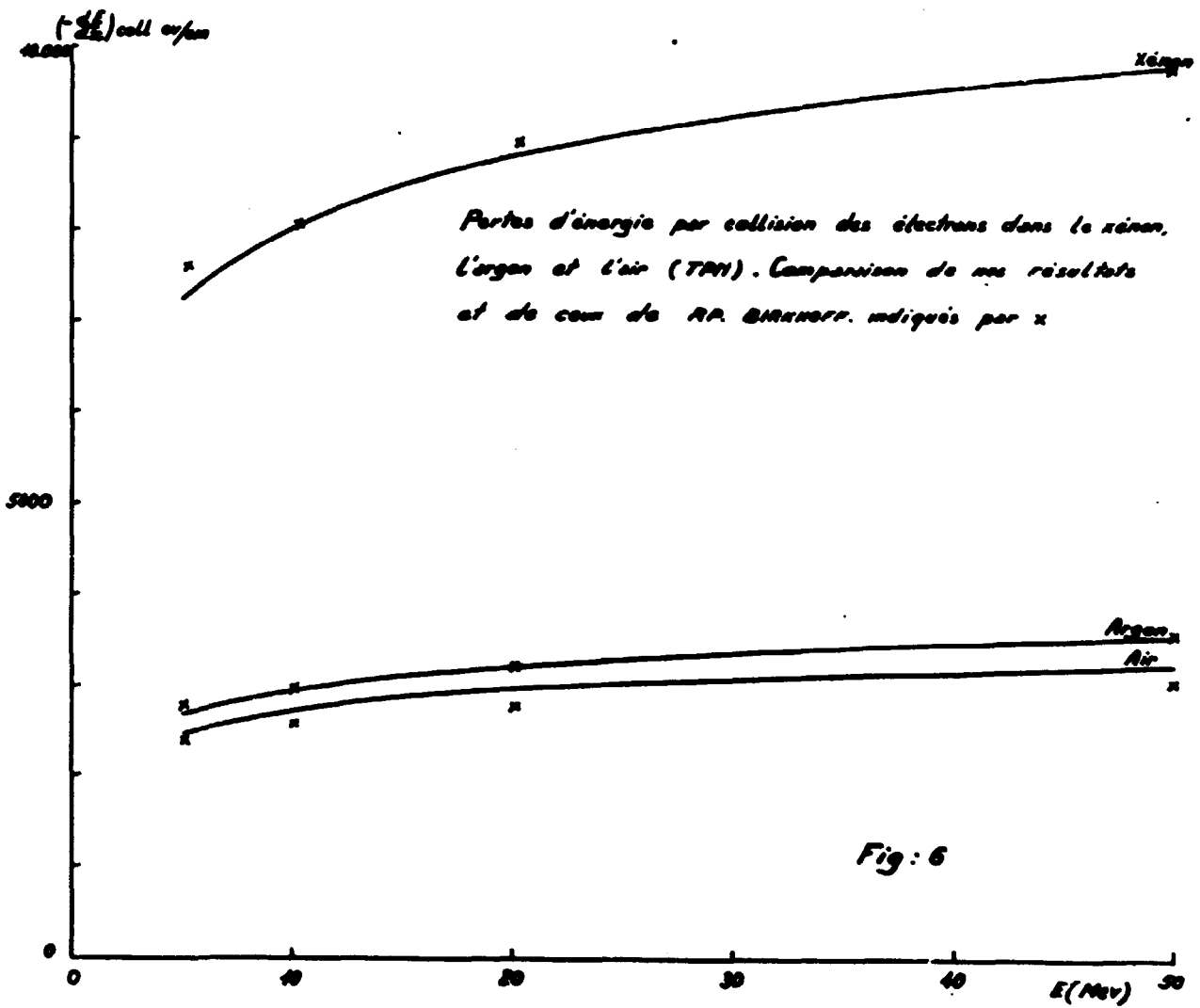
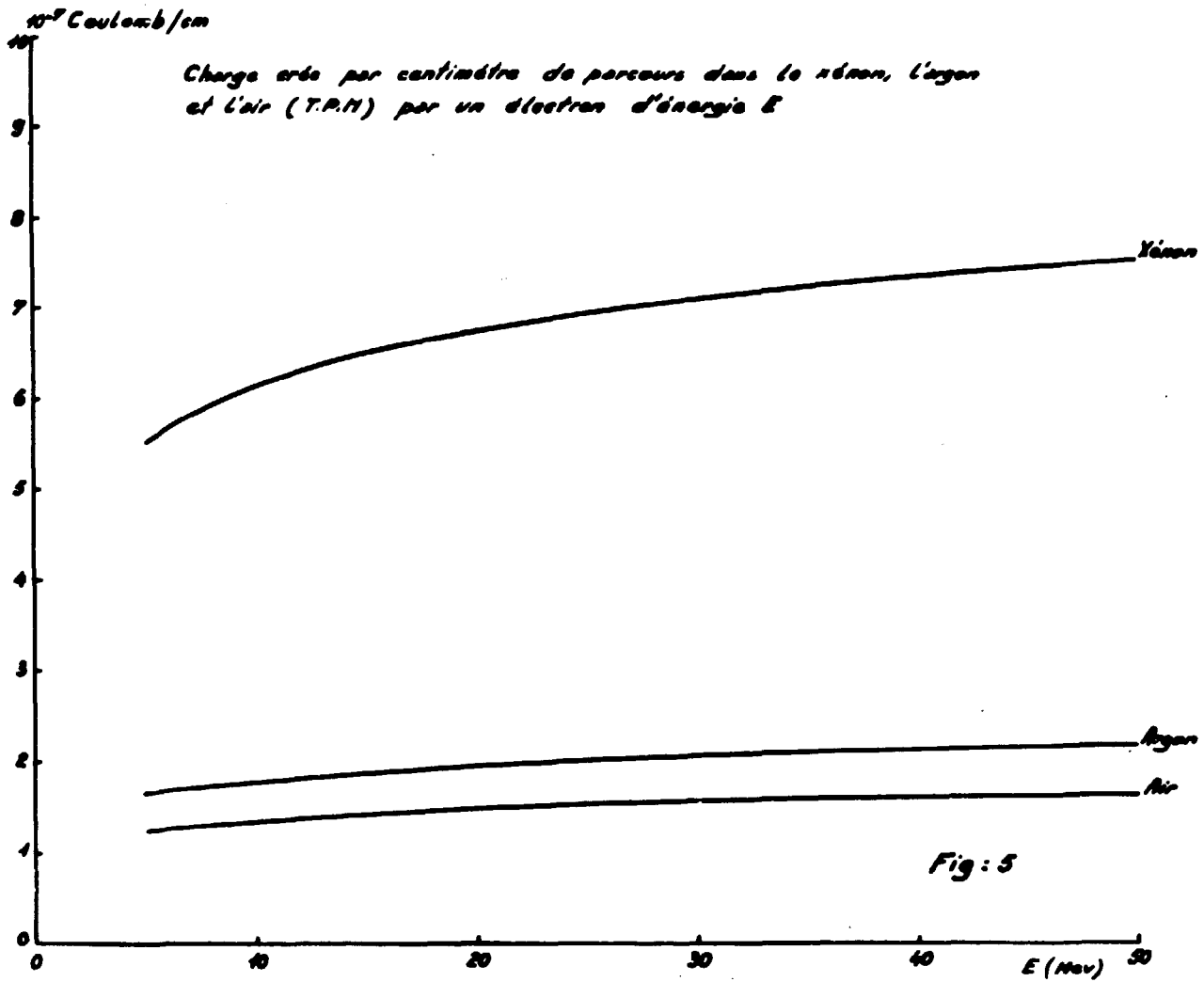
REFERENCES

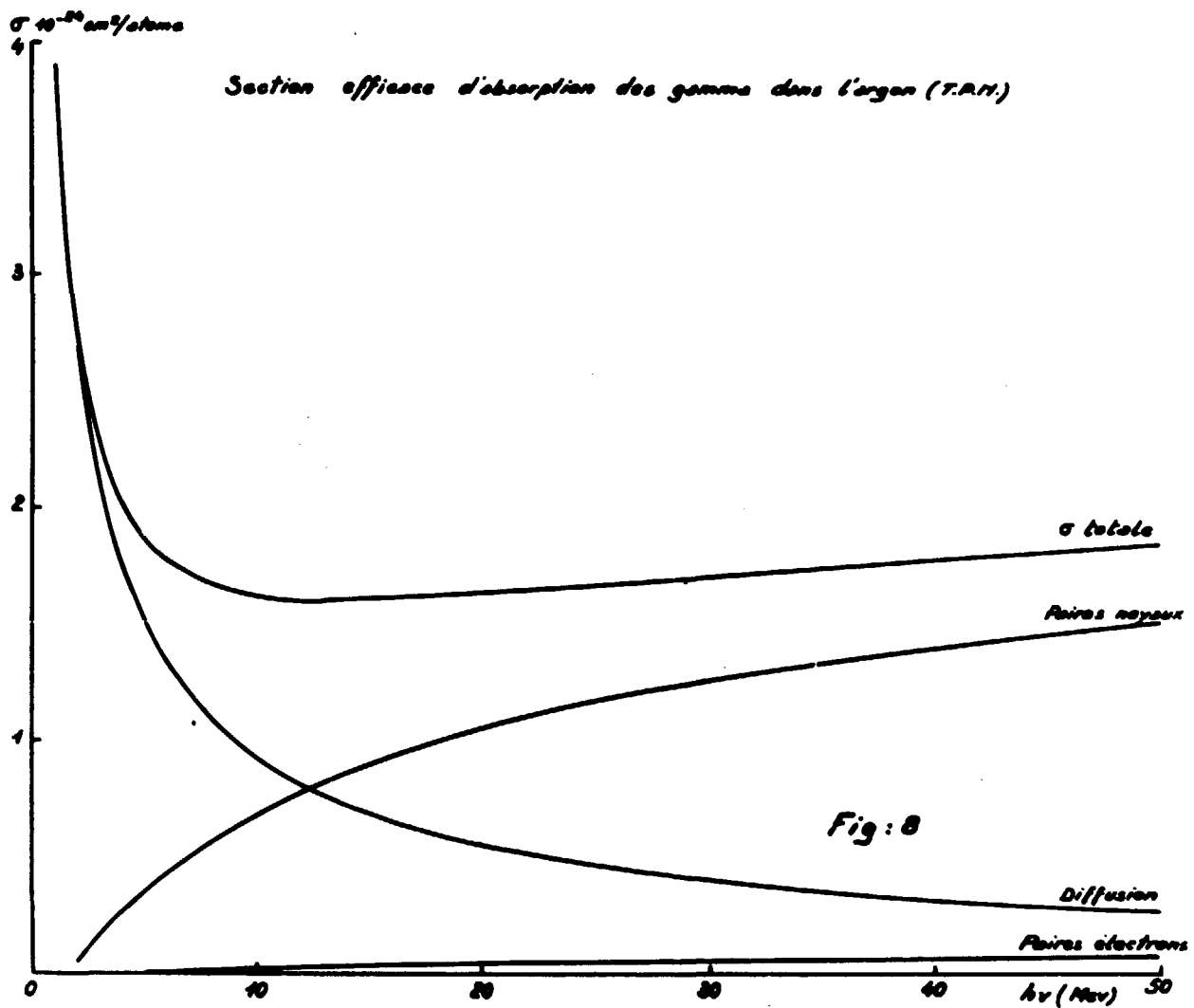
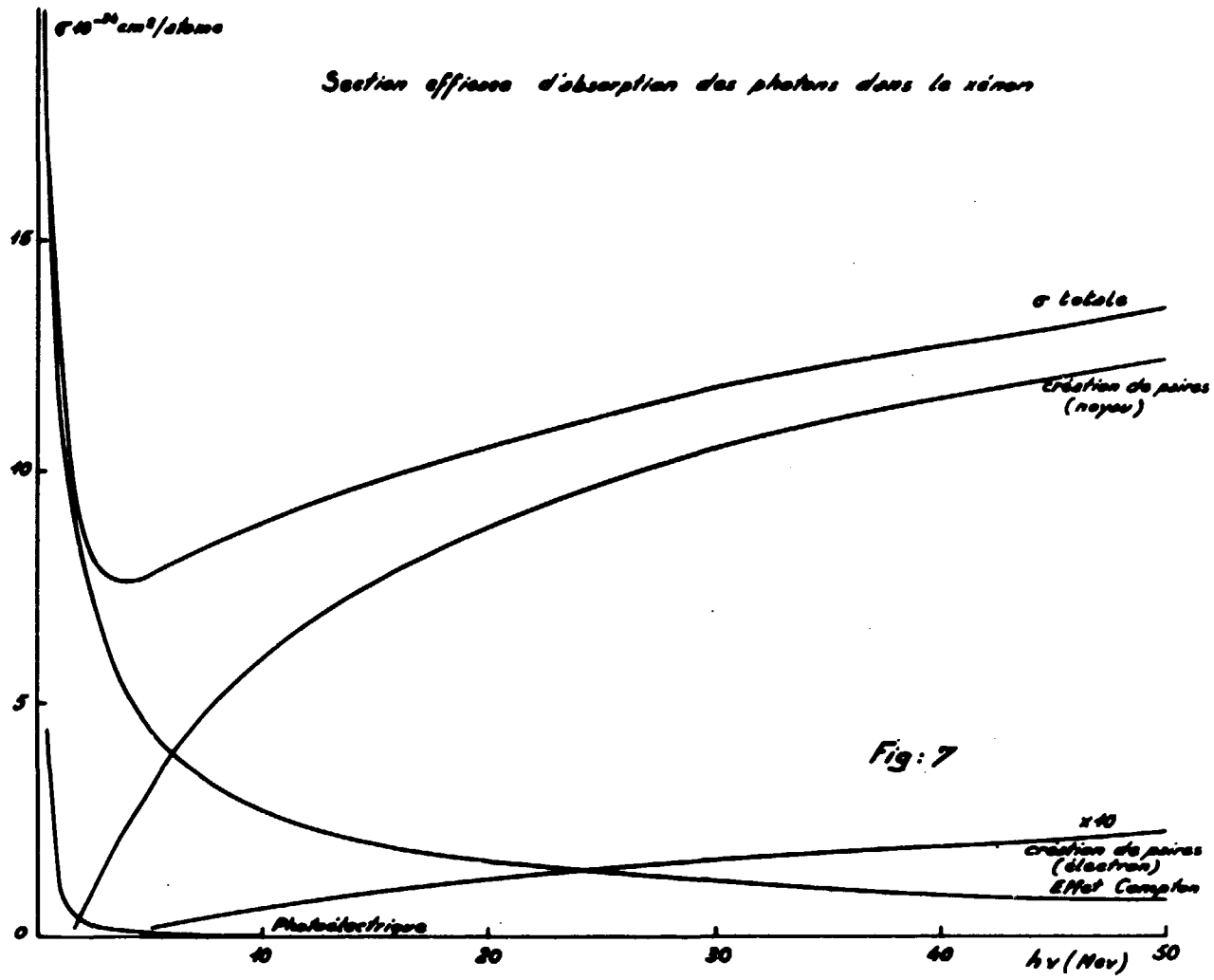
- (1) J. MILLER, C. SCHUHL, G. TAMAS et C. TZARA, J. Phys. Radium, 1960, 21, 755 L.
- (2) R.D. BIRKHOFF, Handbuch der Physik, 1958, 34, 70.
- (3) W. HEITLER, The quantum theory of radiation, University Press, Oxford, 3e ed. p.377.
- (4) K. SIEGBAHN, Beta- and gamma-ray spectroscopy, North-Holland Publish.Cy., Amsterdam, 1955, p.14.
- (5) R.D. BIRKHOFF, Handbuch der Physik, 1958, 34, p. 63, et K.SIEGBHAN , Beta- and gamma-ray spectroscopy, p.13.
- (6) G.R. WHITE, X-Ray attenuation coefficients, N.B.S. Report n°1003.

Manuscrit reçu le 20 décembre 1960.









$\sigma \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{atome}$

Section efficace d'absorption des gammes dans l'air
(T.P.N.) α atome d'air \approx 0,70 atome d'azote + 0,24
atome d'oxygène + 0,005 atome d'argon

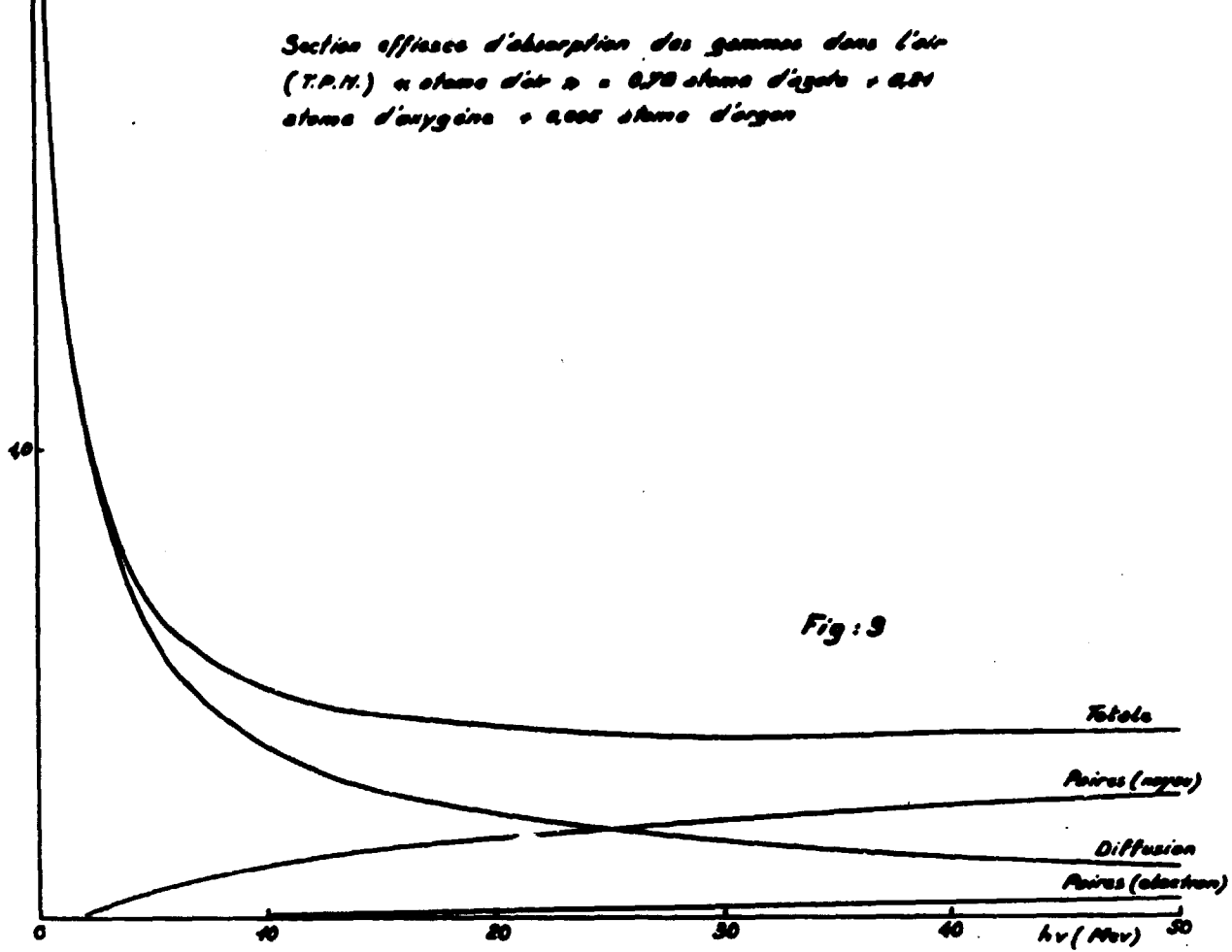


Fig: 9

$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$

Coefficient d'absorption totale des photons dans l'air,
l'argon, et le xénon (T.P.N.)

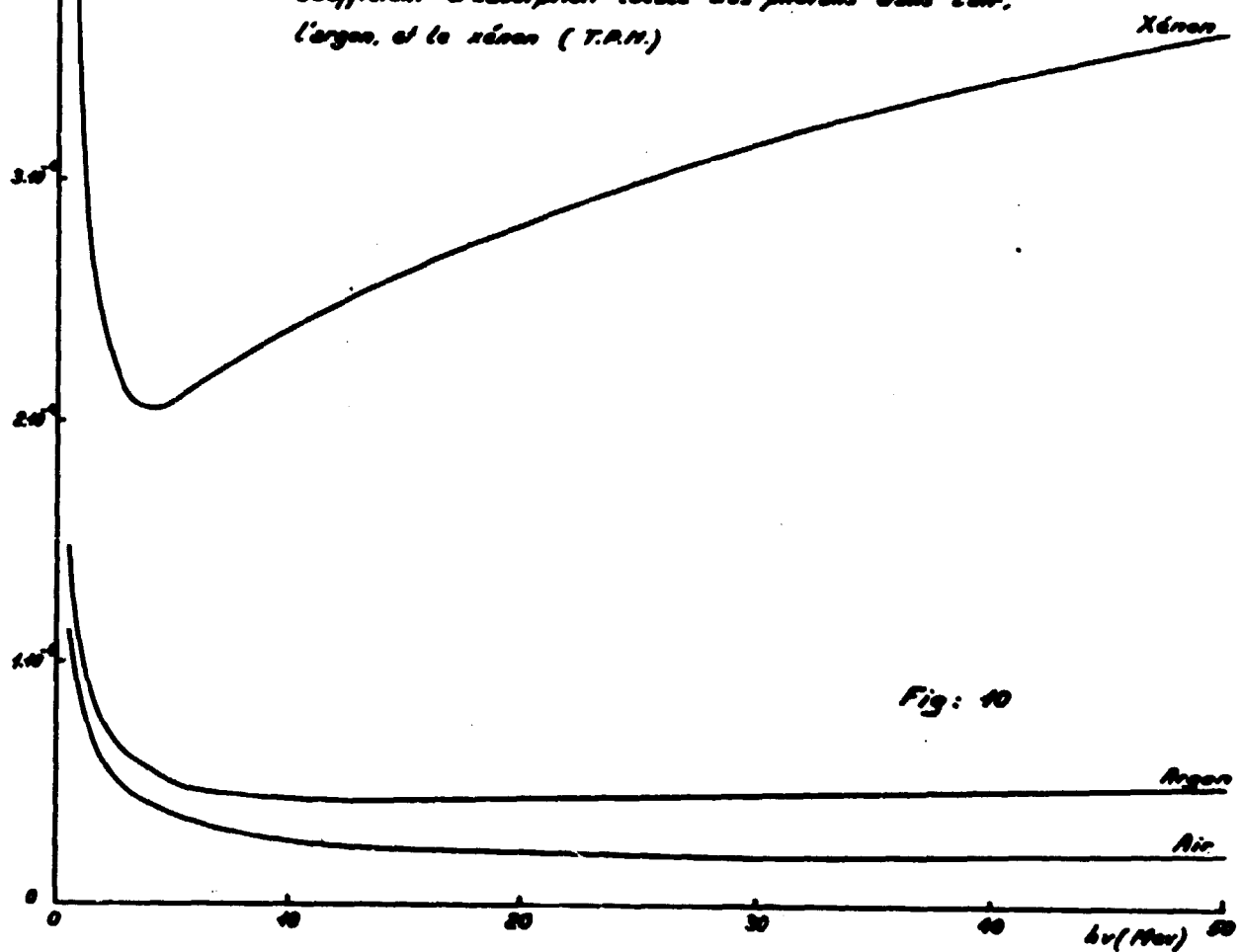


Fig: 10

FIN