

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Auteur(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 193.-195.
Nombre de volumes	125
Cote	CNAM-BIB P 1329-B et P 1329-C
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Note	La collection comporte des lacunes : n°24; n°58; n°63; n°67; n°76-n°77
Notice complète	https://www.sudoc.abes.fr/cbs//DB=2.1/SET=17/TTL=3/REL?PPN=261820893&RELTYPE=NT
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-B_P1329-C
LISTE DES VOLUMES	
	N°25 (1936)
	N°26 (1937)
	N°27 (1937)
	N°28 (1937)
	N°29 (1938)
	N°30 (1939)
	N°31 (1936)
	N°32 (1938)
	N°33 (1938)
	N°34 (1938)
	N°35 (1938)
	N°36 (1938)
	N°37 (1938)
	N°38 (1938)
	N°39 (1938)
	N°40 (1939)
	N°41 (1939)
	N°42 (1939)
	N°43 (1939)
	N°44 (1939)
	N°45 (1938)
	N°46 (1940)
	N°47 (1940)
	N°48 (1940)
	N°49 (1940)
	N°50 (1940)
	N°51 (1941)
	N°52 (1941)
	N°53 (1941)
	N°54 (1941)
	N°55 (1942)
	N°56 (1942)
	N°57 (1942)
	N°59 (1942)

	N°60 (1941)
	N°61 (1942)
	N°62 (1943)
	N°64 (1943)
	N°65 (1943)
	N°66 (1943)
	N°68 (1943)
	N°69 (1943)
	N°70 (1943)
	N°71 (1943)
	N°72 (1944)
	N°73 (1943)
	N°74 (1944)
	N°75 (1944)
	N°78 (1944)
	N°79 (1944)
	N°80 (1944)
	N°81 (1944)
	N°82 (1944)
	N°83 (1944)
	N°84 (1944)
	N°85 (1944)
	N°86 (1945)
	N°87 (1945)
	N°88 (1945)
	N°89 (1945)
	N°90 (1945)
	N°91 (1945)
	N°92 (1945)
	N°93 (1945)
	N°94 (1945)
	N°95 (1946)
	N°96 (1946)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	N°97 (1946)
	N°98 (1944)
	N°99 (1945)
	N°100 (1945)
	N°101 (1946)
	N°102 (1946)
	N°103 (1946)
	N°104 (1946)
	N°105 (1946)
	N°106 (1946)
	N°107 (1947)
	N°108 (1947)
	N°109 (1947)
	N°110 et 111 (1947)
	N° 112 (1947)
	N° 113 (1947)
	N° 114 (1947)
	N° 115 (1947)
	N° 116 (1947)
	N° 117 (1947)
	N° 118 (1948)
	N° 119 (1948)
	N° 120 (1948)
	N° 121 (1948)
	N° 122 (1947)

	N° 123 (1948)
	N° 124 (1948)
	N° 125 (1948)
	N° 126 (1948)
	N° 127 (1948)
	N° 128 (1948)
	N° 129 (1948)
	N° 130 (1949)
	N° 131 (1949)
	N° 132 (1949)
	N° 133 (1948)
	N° 134 (1949)
	N° 135 (1948)
	N° 136 (1949)
	N° 137 (1950)
	N° 138 (1950)
	N° 139 (1950)
	N° 140 (1950)
	N° 141 (1950)
	N° 142 (1948)
	N° 143 (1950)
	N° 144 (1950)
	N° 145 (1951)
	N° 146 (1951)
	N° 147 (1951)
	N° 148 (1951)
	N° 149 (1951)
	N° 150 (1951)
	N° 151 (1951)
	N° 152 (1951)
	N° 153 (1952)
	N° 154 (1952)
	N° 155 (1952)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Publication : Laboratoire d'essais
Volume	N°97 (1946)
Adresse	Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1946
Collation	1 vol. (p. [175-181]) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	12
Cote	CNAM-BIB P 1329-C (17)
Sujet(s)	Conservatoire national des arts et métiers (France) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Revue
Langue	Anglais Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	07/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/039014541
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?P1329-C.17

8° Hu. 107

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LABORATOIRE D'ESSAIS



BULLETIN
DU
LABORATOIRE D'ESSAIS

1946 - N° 17

PUBLICATION N° 97

(Voir le sommaire au verso)

SOMMAIRE

J. DEVAUX — Contribution à l'étude de la mesure de l'absorption
des rayons X par la matière (*fin*)



CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA MESURE DE L'ABSORPTION DES RAYONS X PAR LA MATIÈRE (suite)

Chapitre III

APPLICATION A LA MESURE DES COEFFICIENTS D'ABSORPTION DES LIQUIDES

Envisageant l'utilisation de notre appareil pour l'analyse des corps organiques, nous avons déterminé, par cette première série d'expériences, les coefficients d'absorption de l'hydrogène, du carbone, de l'azote et de l'oxygène, pour les longueurs d'onde $K\alpha$ du cuivre et du molybdène. Nous avons ensuite établi une méthode permettant la recherche des impuretés dans les corps organiques.

1. — MESURES EFFECTUÉES SUR LES HYDROCARBURES.

Ces mesures nous ont permis de déterminer les coefficients d'absorption massiques du carbone et de l'hydrogène.

Les hydrocarbures ont une formule chimique brute de la forme :

$$\text{III-1)} \quad C_n H_p$$

$$\text{(III-3)} \quad n(CH_p) = n(CH_x) \text{ en posant } x = \frac{p}{n}$$

La relation (III-2) s'écrit alors :

$$\text{(III-4)} \quad \mu_n(CH_x) = \frac{\mu}{12+x} \left[12\mu_c + x\mu_H \right]$$

μ_c et μ_H étant des constantes, la courbe représentant les valeurs de μ_{CH_x} en fonction de x est une hyperbole.

On peut remplacer cette courbe par une droite en prenant comme ordonnée :

$$Y(12+x)\mu_{CH_x}$$

L'équation de cette droite est alors :

$$\text{(III-5)} \quad Y = 12\mu_c + x\mu_H$$

son ordonnée à l'origine nous donnera μ_c et sa pente μ_H .

Nous avons tracé les droites (figure 20) donnant les écarts minima avec une série de valeurs expérimentales déterminées à partir de mesures sur des hydrocarbures

TABLEAU VI

λ	μ_H	μ_c
1,54	0,69	4,28
0,71	0,53	0,56

d'une très grande pureté (1) pour les longueurs d'onde $CuK\alpha$ et $MoK\alpha$.

Les valeurs des coefficients d'absorption massiques du carbone et de l'hydrogène déduites de ces droites sont données au tableau VI.

Dans le tableau VII, nous avons donné des valeurs expérimentales (μ_{exp}) du coefficient d'absorption, les valeurs calculées (μ_{th}) à l'aide de l'équation (III-2) et l'erreur relative $\Delta\%$ entre ces deux valeurs :

$$\text{(III-6)} \quad \Delta\% = \left(\frac{\mu_{exp} - \mu_{th}}{\mu_{th}} \right) \times 1000$$

On voit que dans toutes ces mesures sauf 2, l'erreur est inférieure à 4 %. L'erreur élevée dans la mesure sur le Pinène provient d'une oxydation du produit entre les expériences faites avec les rayonnements $CuK\alpha$ et $MoK\alpha$.

Nous remarquons d'après les valeurs du tableau VI que le rapport des coefficients d'absorption massiques du carbone et de l'hydrogène varie considérablement avec la longueur d'onde employée.

(1) Nous remercions ici les Laboratoires de Chimie de l'Ecole Normale Supérieure et de la Sorbonne, ainsi que la maison « Rhône-Poulenc » qui nous ont généreusement donné les échantillons qui nous étaient nécessaires pour toutes ces mesures sur les composés organiques.

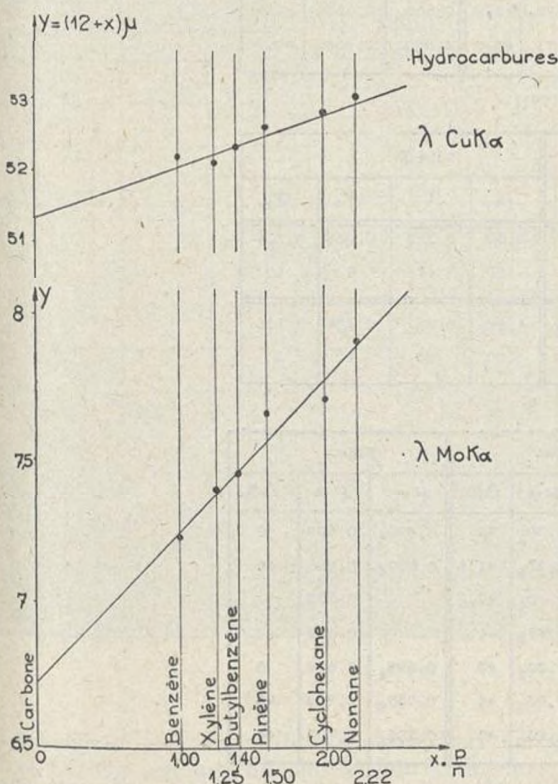


Figure 20

Fig. 20

Si la loi d'additivité énoncée au chapitre premier est exacte, le coefficient d'absorption massique d'un hydrocarbure sera donné par la relation :

$$\text{(III-2)} \quad \mu_{C_n H_p} = \frac{1}{12n+p} \left[12n\mu_c + p\mu_H \right]$$

Mais on peut encore écrire la formule brute d'un hydrocarbure sous la forme :

Nous avons vu au chapitre premier, page 7, équation (I-9) que le coefficient d'absorption massique μ peut être considéré comme étant la somme de deux coefficients τ et σ le coefficient τ correspondant à l'absorption vraie et le coefficient σ à la diffusion. Ce dernier coefficient se décomposant lui-même en :

$$(III-7) \quad \sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

σ_1 et σ_2 correspondant respectivement à la diffusion cohérente et à la diffusion COMPTON. Or ces coefficients σ_1 et σ_2 peuvent se calculer d'après les formules :

$$(III-8) \quad \sigma_1 = \frac{2\pi e^4}{m^2 c^4} \int_0^\pi \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} \sin \Phi (\Sigma/n)^2 d\Phi$$

$$(III-9) \quad \sigma_2 = \frac{2\pi e^4}{m^2 c^4} \int_0^\pi \frac{1 + \cos^2 \Phi}{2} \sin \Phi (Z - \Sigma/2)^2 d\Phi$$

par rapport à la partie relative à la diffusion, alors que pour le carbone, c'est l'absorption vraie qui est le facteur prépondérant.

2. — DÉTERMINATION DE LA FORMULE BRUTE D'UN HYDRO-CARBURE.

On peut utiliser, à cet effet, les graphiques représentés figure 20, de la façon suivante.

Supposons que nous ayons mesuré le coefficient d'absorption massique μ_A d'un corps A ne contenant que du carbone et de l'hydrogène, nous traçons sur un papier-calque, à la même échelle que le graphique, la droite représentant $Y = (12 + x) \mu_A$ en fonction de x , en superposant ce calque au graphique, le point d'intersection des deux droites nous donnera la valeur de $x = p/n$ correspondant à la formule brute du corps A : $n(\text{CH}_x)$, avec une précision de l'ordre de quelques unités pour cent.

TABEAU VII

Corps	Formule brute	x	CuK α			MoK α		
			μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$	μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$
Benzène	C ₆ H ₆	1,00	4,02	4,00 ₄	+4,0	0,556 ₃	0,557 ₇	-2,5
Xylène	C ₈ H ₁₀	1,25	3,93	3,94 ₁	-2,8	0,558 ₃	0,557 ₂	+2,0
Butylbenzène	C ₁₀ H ₁₄	1,40	3,90	3,90 ₅	-1,3	0,556 ₀	0,556 ₉	-1,6
Pinène	C ₁₀ H ₁₆	1,60	3,87	3,85 ₈	+3,1	0,563 ₃	0,556 ₅	+12
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	2,00	3,77	3,76 ₇	+0,8	0,550 ₅	0,555 ₇	-9,4
Nonane	C ₉ H ₂₀	2,22	3,73	3,71 ₉	+3,0	0,555 ₇	0,555 ₃	+0,7

TABEAU VIII

λ	0,71 Å				1,54 Å			
	μ	τ	σ_1	σ_2	μ	τ	σ_1	σ_2
H	0,53	0,173	0,010	0,347	0,69	0,323	0,033	0,334
$\lambda =$	100	33	2	65	100	47	5	48
C	0,56	0,35 ₄	0,062 ₅	0,143	4,28	3,95 ₇	0,167	0,136
$\lambda =$	100	63	11	26	100	93	4	3

TABEAU X

Corps	Formule brute	CuK α			MoK α		
		μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$	μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$
Ether anhydre	C ₄ H ₁₀ O	5,30 ₈	5,30 ₂	+1	0,698 ₆	0,699	0
Alcool méthylique	C ₂ H ₆ O	7,32 ₆	7,31 ₆	+1,5	0,889 ₄	0,886	+4
Furfurol	C ₅ H ₄ O ₂	6,46 ₂	6,45 ₄	+1,5		0,779	
Diéthylcétone	C ₅ H ₁₀ O	5,14 ₀	5,15 ₉	-4		0,679	
Alcool butylique n.	C ₄ H ₁₀ O	5,31 ₈	5,30 ₂	+3	0,699 ₄	0,699	0
Acétone	C ₃ H ₆ O	5,85 ₇	5,83 ₁	+4	0,735 ₉	0,739	-3
Méthyléthylcétone	C ₄ H ₈ O	5,44 ₀	5,43 ₀	+2	0,706 ₆	0,703	+4

$$\left(\frac{1}{1 + 0,0243(1 - \cos \Phi)} \right) d\Phi$$

et les tables données dans le livre de COMPTON et ALLISON, « X rays in theory and Experiment ».

Le coefficient τ se déduit par différence entre la valeur expérimentale de μ et la valeur théorique de $(\sigma_1 + \sigma_2)$:

$$(III-10) \quad \tau = \mu - (\sigma_1 + \sigma_2)$$

Le tableau VIII donne la valeur de ces coefficients et leur importance relative en % (μ étant pris égal à 100).

On voit que pour l'hydrogène, la partie du coefficient d'absorption correspondant à l'absorption vraie est faible

3. — MESURES EFFECTUÉES SUR DES COMPOSÉS OXYGÉNÉS.

Ces mesures nous ont permis, d'une part, de vérifier les valeurs des coefficients μ_C et μ_H obtenus précédemment; d'autre part, de mesurer le coefficient d'absorption massique de l'oxygène.

La formule brute des composés ternaires contenant de l'hydrogène, du carbone et de l'oxygène peut s'écrire :

$$(III-11) \quad q(\text{C}_n\text{H}_p\text{O})$$

l'absorption étant indépendante du coefficient q , celui-ci n'intervient pas dans nos mesures. Le coefficient d'absorption massique du composé est donné par :

$$(III-12) \quad \frac{\mu}{C_n H_p O} = \frac{1}{12n + p + 16} \left[12n \mu_c + p \mu_H + 16 \mu_o \right]$$

En posant :

$$(III-13) \quad M = 12n + p + 16$$

le coefficient d'absorption massique de l'oxygène sera déduit de la valeur expérimentale de μ par la formule :

$$(III-14) \quad \mu_o = \frac{1}{16} \left[M \mu_{C_n H_p O} - (12n \mu_c + p \mu_H) \right]$$

En prenant la moyenne des résultats donnés par toutes nos mesures, on obtient pour coefficient de l'oxygène, les valeurs indiquées tableau IX.

Nous avons consigné sur le tableau X les valeurs expé-

TABLEAU IX

λ	0,71	1,54
μ_o	1,22	11,25

riméntales des coefficients d'absorption massiques de corps extrêmement purs et l'erreur entre ces valeurs expérimentales et les valeurs théoriques obtenues en appliquant la

en appelant μ le coefficient d'absorption massique du composé de formule brute $(C_n H_p O)$.

Si nous avons expérimentalement deux valeurs μ_1 et μ_2 du coefficient d'absorption pour des longueurs d'onde λ_1 et λ_2 nous aurons un système de deux équations comme (III-15) à deux inconnues n et p , de la forme.

$$(III-16) \quad \begin{aligned} A_1 n + B_1 p &= C_1 \\ A_2 n + B_2 p &= C_2 \end{aligned}$$

$$\text{où } A = 12 \left(\mu - \frac{\mu_c}{n} \right) \quad B = \left(\mu - \frac{\mu_H}{p} \right) \quad C = 16 \left(\mu_o - \mu \right)$$

qui nous permettra de déterminer n et p et d'obtenir ainsi la formule brute cherchée.

Les solutions sont données par :

$$n = \frac{1}{\Delta} (C_1 B_2 - B_1 C_2) \quad p = \frac{1}{\Delta} (A_1 C_2 - C_1 A_2)$$

où

$$\Delta = (A_1 B_2 - A_2 B_1)$$

Prenons un exemple concret, les mesures que nous avons faites pour l'acétone et cherchons la formule brute par cette méthode. Nous avons :

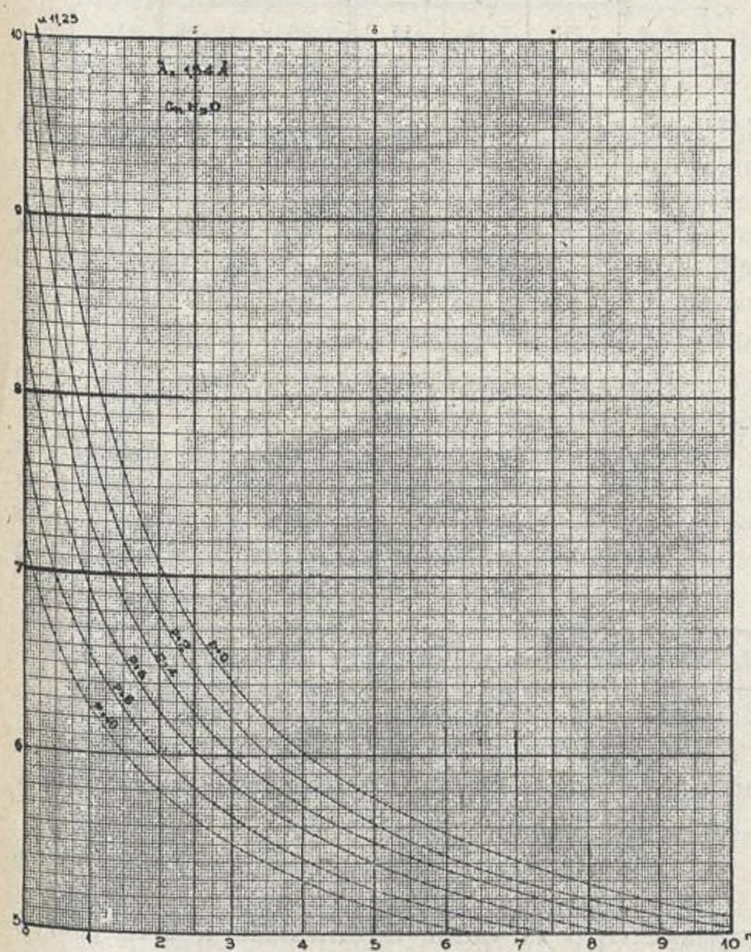


Fig. 21

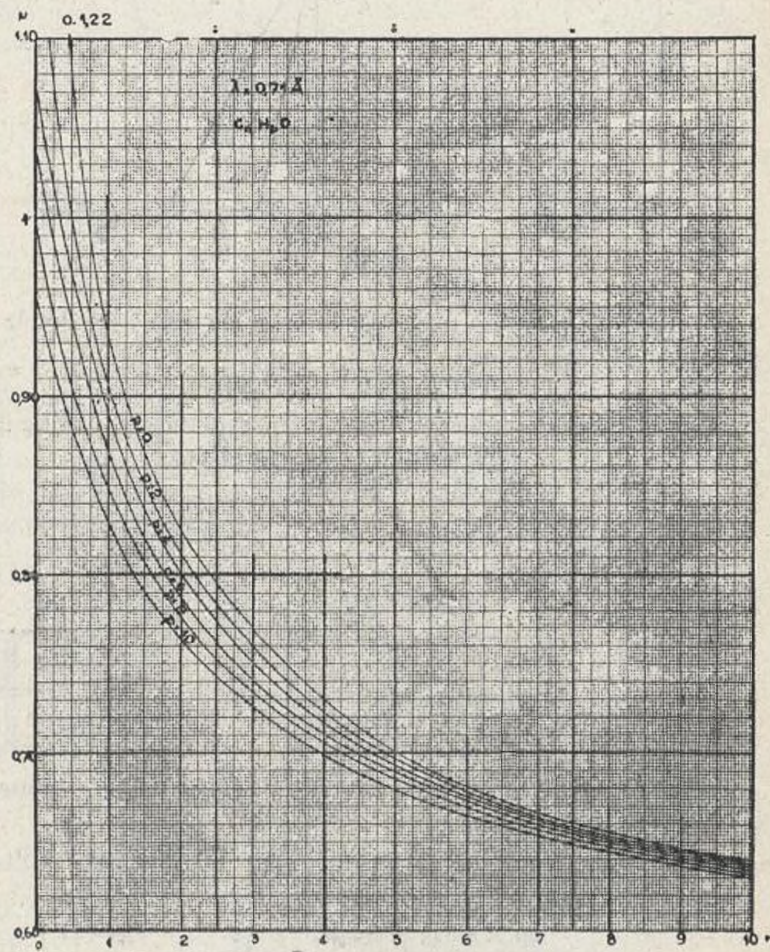


Fig. 22

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1,54 \text{ A} & A_1 &= 12 (5,85_7 - 4,28) = 18,92_1 \\ B_1 &= 5,85_7 - 0,69 = 5,16_7 & C_1 &= 16 (11,25 - 5,85_7) = 86,28_8 \\ \lambda_2 &= 0,71 \text{ A} & A_2 &= 12 (0,736 - 0,56) = 2,11_2 & B_2 &= (0,736 - 0,53) = 0,20_6 \\ & & C_2 &= 16 (1,22 - 0,736) = 7,74_4 & \Delta &= -7,0144 \end{aligned}$$

$$\text{d'où } n = \frac{22,24}{7,01} = 3,2 \quad p = \frac{35,69}{7,01} = 5,1$$

A l'aide des abaques, on obtient ces résultats sans calculs, en procédant de la façon suivante : on superpose à l'un des abaques une feuille de papier-calque sur laquelle on prend comme coordonnées n et p , l'échelle des n étant la même que celle de l'abaque, l'échelle des p quelconque, on a ainsi une droite représentant une des équations (III-16); reportant ensuite le calque sur l'autre abaque, on obtient une deuxième droite, l'intersection de ces deux droites donne les valeurs de n et p cherchées (fig. 23).

loi d'additivité avec les coefficients donnés aux tableaux VI et IX. On voit que les plus grands écarts entre les valeurs théoriques et les valeurs expérimentales sont de 14 %.

4. — APPLICATION A LA DÉTERMINATION DE LA FORMULE BRUTE $C_n H_p O$ D'UN COMPOSÉ TERNAIRE.

Avec les données des tableaux VI et IX, nous avons construit deux abaques (figures 21 et 22) donnant la valeur de μ en fonction de n pour différentes valeurs du paramètre p , l'un pour la longueur d'onde 1,54 A, l'autre pour la longueur d'onde 0,71 A.

Ces abaques représentent graphiquement la formule (III-12) que l'on peut écrire :

$$(III-15) \quad 12 \left(\mu - \frac{\mu_c}{n} \right) n + \left(\mu - \frac{\mu_H}{p} \right) p = 16 \left(\mu_o - \mu \right)$$

On voit que si cette méthode nous donne la valeur de n avec une assez bonne précision, il n'en est pas de même pour la valeur de p ; en effet, l'absorption par l'hydrogène et sa masse étant très faibles, la précision de la mesure n'est pas grande.

Toutefois, cette méthode permet de contrôler les résultats obtenus par d'autres procédés ou de vérifier le degré de pureté d'un corps connu, car l'impureté a, en général, un coefficient d'absorption très différent de celui de la substance étudiée, et est ainsi très facilement décelable par cette méthode.

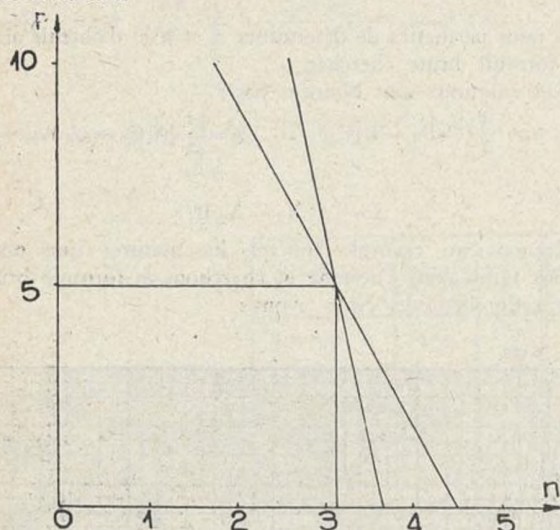
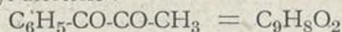
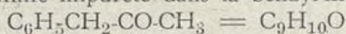


Fig. 23

A titre d'exemple, prenons le cas du dosage de la phényl-méthyl-dicétone :



considéré comme impureté dans la benzyl-méthyl-cétone :



les coefficients d'absorption massiques sont :

$$\mu_{\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_2} = 5,59_3 \quad \mu_{\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}} = 4,84^5$$

TABLEAU XI

λ	0,71	1,54
μ_N	0,89	7,10

calculés d'après les valeurs obtenues précédemment pour μ_C , μ et μ_0 .

Le coefficient d'absorption massique du mélange contenant 1 % de l'impureté sera :

$$\mu = \frac{99 \times 4,84_5 + 5,59_3}{100} = 4,85_2$$

pour les longueurs d'onde 0,71 et 1,54 Å. Les valeurs moyennes obtenues sont données au tableau XI.

6. — MESURES SUR L'EAU.

D'après la loi d'additivité, on devrait avoir :

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{18} (2\mu_{\text{H}} + 16\mu_{\text{O}})$$

ce qui, avec les coefficients trouvés précédemment nous donnerait les μ_{th} indiqués au tableau XIII. Nous avons reporté sur le même tableau les valeurs expérimentales obtenues avec les deux longueurs d'onde 0,71 et 1,54 Å. On voit que, dans les deux cas, la valeur expérimentale est plus faible que la valeur théorique, la différence étant, dans les deux cas, de 1%, donc nettement plus grande que les erreurs expérimentales que nous avons rencontrées jusqu'ici.

L'hypothèse d'une impureté dans l'eau employée est à rejeter, car nous avons fait des expériences répétées avec

TABLEAU XIII

	0,71 Å			1,54 Å		
	μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$	μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$
H ₂ O	1,13	1,14	-1	9,98	10,08	-10

différentes eaux et qui ont toutes donné des résultats concordants.

D'ailleurs, la présence de sels dissous dans l'eau donnerait un coefficient d'absorption plus élevé et non plus faible que le coefficient théorique, et, d'autre part, il ne pouvait y avoir de gaz, puisque nous utilisons de l'eau bi-distillée bouillie.

7. — MESURES SUR DES SOLUTIONS AQUEUSES D'ALCOOL ÉTHYLIQUE.

Pour nous rendre compte si la différence signalée plus haut existait réellement, ou bien était due à une erreur expérimentale dont la cause nous avait échappé, nous avons fait une série de mesures sur diverses solutions

TABLEAU XIV

P	73,12	63,38	57,40	45,76	36,95	31,47	23,67	19,18	0
μ	7,24 ₃	7,54 ₅	7,83 ₂	8,26 ₉	8,62 ₄	8,75 ₁	9,05 ₃	9,23 ₅	9,98 ₀

aqueuses d'alcool éthylique de titre connu, avec le rayonnement de longueur d'onde 1,54 Å.

Les résultats de ces mesures sont représentés tableau XIV où P est le pourcentage en poids d'alcool dans le mélange et μ la valeur expérimentale trouvée pour le coefficient d'absorption. La courbe (fig. 24) représente

TABLEAU XII

Corps	Formule brute	CuK α			MoK α		
		μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$	μ_{exp}	μ_{th}	$\Delta\%$
Pyridine	C ₅ H ₅ N	4,56 ₀	4,55 ₂	+2	0,62 ₀	0,61 ₇	+5
Aniline	C ₆ H ₇ N	4,43 ₁	4,43 ₄	-1	0,60 ₄	0,60 ₆	-3
Dibenzylamine	C ₁₄ H ₁₅ N	4,19 ₈	4,20 ₇	-2	0,58 ₀	0,58 ₂	-1
Nitrobenzène	C ₆ H ₅ NO ₂	6,24 ₅	6,26 ₈	-4	0,76 ₈	0,76 ₈	0

on voit que la méthode permet de déceler facilement cette impureté à 2% près.

5. — MESURES SUR LES COMPOSÉS AZOTÉS.

Des mesures sur divers composés organiques liquides contenant de l'azote, nous ont permis de déterminer la valeur du coefficient d'absorption massique de l'azote

graphiquement ces résultats, elle montre que la droite moyenne de toutes les mesures ne passe pas par le point théorique $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 10,08$; par contre, elle passe bien par la valeur théorique calculée pour l'alcool éthylique absolu (6,24).

Voyons si l'on peut expliquer ce phénomène par l'ioni-

sation des atomes dans la molécule d'eau. Nous avons vu, page 34, que l'on pouvait seulement calculer les coefficients σ_1 et σ_2 correspondant à la diffusion. Si l'on suppose que le coefficient τ correspondant à l'absorption vraie n'est pas affecté par l'ionisation (sauf dans le cas de l'ion hydrogène H^+ où l'absence d'électron le rend nul), on trouve une différence très faible entre μ_{H^+O} et $\mu_{H^+} + \mu_{O^{2-}}$, de l'ordre de 2 % qui ne peut expliquer la différence trouvée. Toutefois, le manque de précision de

TABLEAU XV

	0,71 Å			1,54 Å		
	A	B	C	A	B	C
H	0,435	-	0,53	0,48	-	0,69
C	0,605	0,70	0,56	4,52	5,50	4,28
N	0,870	1,10	0,89	7,40	8,51	7,10
O	1,22	1,50	1,22	11,16	12,7	11,25

ces calculs ne nous permet pas de conclure au sujet de cette anomalie.

8. — Le tableau XV représente les valeurs des coefficients d'absorption massiques pour l'hydrogène, le carbone, l'azote et l'oxygène donnés par :

ALLEN (colonne A).

BRAGG (colonne B).

Obtenus par nous (colonne C).

Chapitre IV

APPLICATIONS DIVERSES

A. — MESURE DES COEFFICIENTS D'ABSORPTION DES SOLIDES.

Contrairement à ce qui a lieu dans les mesures sur les liquides, la principale difficulté rencontrée dans les mesures sur les solides est la mesure de l'épaisseur. En effet, il faut utiliser des lames très minces à cause de la grande valeur de l'absorption, on a donc une erreur relative très grande sur la mesure de l'épaisseur.

1. — CARBONE.

Nous avons essayé d'obtenir le coefficient d'absorption massique du carbone, en prenant comme échantillon du charbon de sucre, en poudre finement pulvérisée puis agglomérée, nous n'avons pas obtenu d'échantillon suffisamment homogène pour pouvoir obtenir des mesures précises.

2. — LAMES MINCES D'ALLIAGES.

On peut utiliser la méthode à la mesure de la composition d'une lame mince d'épaisseur connue d'un alliage binaire.

Nous avons fait des mesures sur un alliage aluminium fer (la proportion de fer dans l'aluminium étant de l'ordre de 1 %) en cinq points différents d'une feuille laminée de cet alliage.

Si x est l'épaisseur de la lame au point où l'on fait la mesure, ρ_{Al} et ρ_{Fe} les poids d'aluminium et de fer par unité de surface, on a la relation :

$$(IV-1) \quad \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Al}} + \frac{\rho_{Fe}}{\rho_{Fe}} = x$$

où ρ_{Al} et ρ_{Fe} sont respectivement les densités de l'aluminium et du fer; cette hypothèse n'est valable qu'en première approximation, puisqu'elle suppose qu'il n'y a pas contraction. Comme :

$$\rho_{Al} = 2,70 \quad \text{et} \quad \rho_{Fe} = 7,88$$

la relation (IV-1) peut s'écrire :

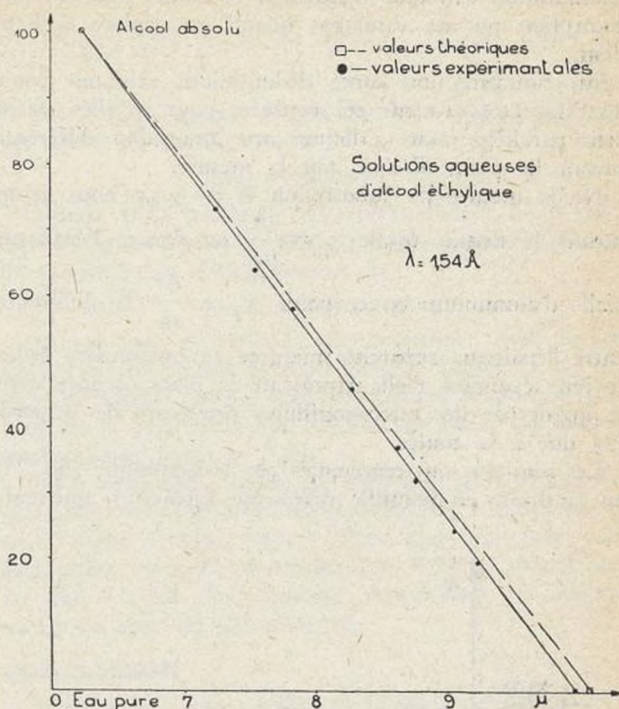


Fig. 24

$$(IV-2) \quad \mu_{Al} = 2,70 \left(x - \frac{\rho_{Fe}}{7,88} \right) = 2,70x - 0,342 \rho_{Fe}$$

Les coefficients d'absorption massiques de l'aluminium et du fer pour la longueur d'onde 1,54 Å étant respectivement :

$$\mu_{Al} = 49,0 \quad \text{et} \quad \mu_{Fe} = 328$$

(d'après ALLEN)

l'absorption en un point sera :

$$(IV-3) \quad \mu_p x = \mu_{Al} \rho_{Al} + \mu_{Fe} \rho_{Fe}$$

les équations (IV-2) et (IV-3) donnent :

$$(IV-4) \quad \rho_{Fe} = \frac{\mu_p x - 132,3 x}{311,33}$$

$\mu_p x$ est déterminé expérimentalement (mesure de l'absorption) ainsi que x (mesure de l'épaisseur au point considéré avec un micromètre Solex).

TABLEAU XVI

Point examiné	1	2	3	4	5
Epaisseur x cm	0,0172	0,0168	0,0168	0,0170	0,0172
$\mu_p x$	2,464	2,347	2,388	2,408	2,452
Poids en gr. de Fe dans 100g d'alliage	1,31	0,87	1,17	1,11	1,23

Nous avons reporté au tableau XVI les proportions en poids de fer dans l'alliage étudié, calculées par la méthode que nous venons d'indiquer. On voit toute l'importance de ces mesures qui permettent l'étude du phénomène de ségrégation dans les alliages binaires.

3. — COMPARAISON D'UNE LAME D'AL. LAMINÉ ET D'UNE LAME D'AL. COULÉ.

Les mesures faites sur une lame à faces parallèles

d'aluminium extra-pur d'épaisseur constante donnent une absorption qui ne varie pas quand on déplace l'échantillon.

Au contraire, une lame d'aluminium extra-pur coulé dont les faces avaient été rectifiées pour qu'elles soient bien parallèles nous a donné une absorption différente suivant le point où l'on fait la mesure.

De la mesure de l'absorption $A = \mu \rho x$ nous avons déduit la densité locale $\rho_0 = \frac{A}{\mu x}$ ou encore l'épaisseur réelle d'aluminium en ce point $x_0 = \frac{A}{\mu \rho}$; la différence

entre l'épaisseur apparente mesurée au micromètre Solex et cette épaisseur réelle représente la place occupée dans le lingot par des micro-soufflures provenant de la porosité due à la coulée.

Les résultats sont représentés par le graphique (fig. 25) où la droite en pointillé représente l'épaisseur apparente

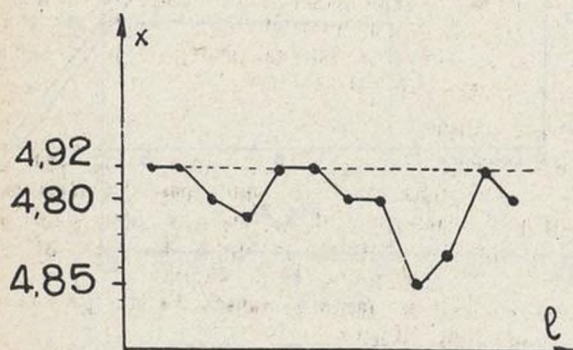


Fig. 25

mesurée et la courbe en trait plein, l'épaisseur déduite des mesures d'absorption, c'est-à-dire celle sur laquelle on peut réellement compter pour le calcul des efforts que pourrait subir une telle pièce. Nous avons fait également une radiographie de cette plaque (fig. 26) qui montre le phénomène d'une manière qualitative (cette radiographie sera reproduite ultérieurement et ne figure pas dans ce bulletin).

Pour les mesures des coefficients d'absorption, il faut connaître avec précision (de l'ordre de 1 %) le poids par unité de surface; alors qu'avec les liquides cette condition est parfaitement réalisée, puisqu'on peut mesurer d'une façon très précise l'épaisseur de la cuve et la densité du liquide à la température à laquelle on fait la mesure; pour les solides ayant un coefficient d'absorption élevé, il est difficile d'obtenir cette précision sur la mesure de l'épaisseur d'une lame mince. On peut tourner cette difficulté si l'on a affaire à un corps homogène d'épaisseur constante (ce qu'on vérifie en déplaçant l'échantillon dans le faisceau) en mesurant les dimensions latérales de l'échantillon et en le pesant, mesures qui pourront être faites avec la précision requise.

B. — MESURE DES ÉPAISSEURS.

La mesure donne la valeur du produit $\mu \rho x$, si donc on a affaire à un corps homogène dont le coefficient d'absorption et la densité sont connus, on peut déduire de la mesure la valeur de l'épaisseur x en un point. On arrive par cette méthode à une très grande sensi-

bilité. Ainsi, pour une bande d'aluminium extra-pur laminé de 0,25 mm d'épaisseur, une variation d'épaisseur de 1 micron se traduit par un déplacement du spot du galvanomètre de 4 cm. On peut donc apprécier facilement, dans ce cas, 1/10^e de micron, les mesures sont aussi précises qu'avec un micromètre pneumatique Solex.

D'autre part, les avantages de cette méthode sont les suivants :

1° La surface explorée est petite, de l'ordre de 2 mm \times 0,2 mm grâce au fait que l'échantillon est placé très près du point de focalisation des rayons X. Ceci représente une surface bien plus faible que celle des palpeurs généralement utilisés dans les machines à mesurer.

2° Dans le cas d'une mesure mécanique, la pression exercée par la machine peut, dans le cas de matières très tendres, influencer sur la valeur trouvée pour l'épaisseur. Ce n'est pas le cas ici, puisqu'on n'exerce aucune pression sur l'échantillon.

3° On peut envisager une mesure continue en faisant déplacer le ruban d'un mouvement uniforme entre les deux chambres et en recevant le spot du galvanomètre sur un tambour enregistreur dont le mouvement est lié à celui de l'échantillon. On aura ainsi une courbe continue des variations d'épaisseur du ruban.

Cette méthode peut également s'appliquer à la détermination de l'épaisseur d'un dépôt de nature connue sur une plaque de verre ou sur tout support peu absorbant, et dont l'absorption aura été mesurée au préalable. C'est le cas par exemple, de la dorure, de l'argenture ou de l'aluminure.

Ces mesures peuvent servir aussi au contrôle de l'épaisseur des échantillons destinés à des examens radiocristallographiques.

En effet, on sait que l'épaisseur optimum d'un échantillon devant servir à l'obtention d'un diagramme de rayons X par transmission est donnée par la formule :

$$(IV-5) \quad x = \frac{1}{\mu \rho}$$

qui correspond au maximum de la fonction

$$(IV-6) \quad y = \mu \rho x \cdot e^{-\mu \rho x}$$

qui a lieu pour

$$\mu \rho x = 1$$

Dans ce cas, l'intensité transmise est I_0/e soit environ 1/3 du rayonnement incident. Il suffit de mesurer l'absorption par l'échantillon pour la longueur d'onde que l'on utilisera pour l'examen radiocristallographique.

C. — MESURE DES NOIRCISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

La méthode peut également s'appliquer à la mesure du noircissement photographique d'une pellicule; elle présente l'avantage sur les méthodes généralement employées de procéder par mesure directe du poids d'argent qui se trouve en un point du film. Ainsi, dans les

TABLEAU XVII

	A	B	C	D	E
$\mu \rho$	0,308	0,351	0,388	0,530	0,665
$\rho_{Ag} \text{ en g/cm}^2$	0,254	0,452	0,622	1,28	1,90
δ	0,80	1,55	2,48	non mesurables	

noirs, là où la mesure photométrique habituelle est absolument dépourvue de sensibilité, les mesures d'absorption sont encore très sensibles, jusqu'au moment où tout l'argent présent dans le film a été réduit.

(1) Nous tenons à remercier ici, la Compagnie des Compteurs, qui a bien voulu laminer spécialement pour nous, une série de plaquettes d'aluminium d'épaisseurs diverses.

Si μp_0 représente l'absorption par le film développé sans avoir été exposé à la lumière (c'est-à-dire le blanc du film) et μp l'absorption au point considéré, le poids d'argent réduit, rapporté à l'unité de surface, en ce point, sera donné par la formule :

$$(IV-7) \quad p_{Ag} = \frac{\mu p - \mu p_0}{\mu_{Ag}}$$

μ_{Ag} étant le coefficient d'absorption massique de l'argent pour la longueur d'onde utilisée dans l'expérience.

Nous avons fait des mesures avec du film « Cristallix », en utilisant la longueur d'onde $1,54 \text{ \AA}$, l'absorption par le film développé sans avoir été exposé, a donné :

$$\mu p_0 = 0,253$$

d'autre part,

$$\mu_{Ag} = 217$$

(d'après ALLEN).

Les résultats sont indiqués au tableau XVII est reportés graphiquement fig. 27 où δ est la densité optique mesurée

au microphotomètre ($\delta = \log_{10} \frac{x_0}{x}$ où x_0 est la déviation du spot pour le blanc et x la déviation pour la plage

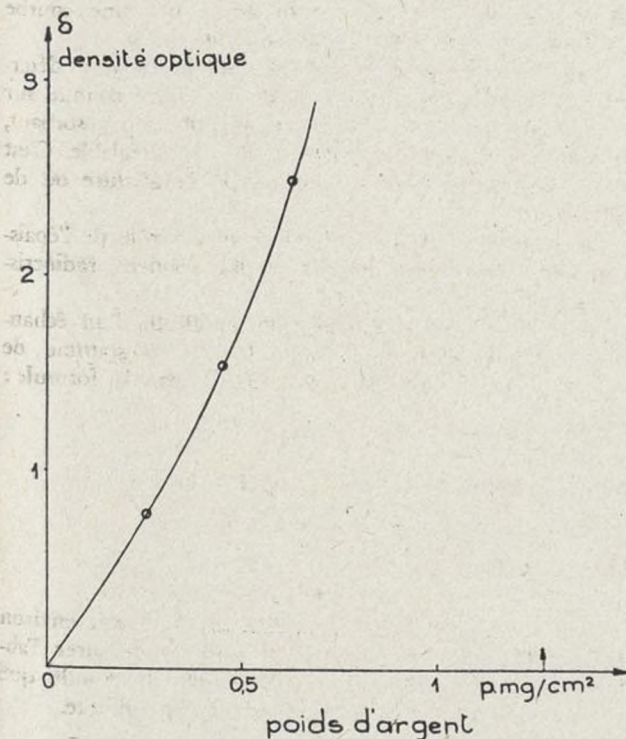


Fig. 26

mesurée). Ces clichés, dont les deux derniers (D et E) ont déjà des noirs assez intenses pour n'être pas mesurables au microphotomètre, sont cependant loin de contenir tout l'argent qui existait sous forme de bromure d'argent avant l'exposition; en effet, une mesure avec un film non développé nous a donné les résultats suivants :

— film cristallix non développé $\mu p = 1,328$

— film cristallix développé non exposé $\mu p_0 = 0,243$ (Ces deux films avaient été découpés dans la même feuille). L'absorption due au bromure d'argent pour la longueur d'onde $1,54 \text{ \AA}$ est donc :

$$\mu p_{BrAg} = 1,328 - 0,243 = 1,075$$

Comme le coefficient d'absorption massique du bromure d'argent est dans ce cas :

$$\mu_{BrAg} = \frac{1}{187,8} (79,9 \times 89 + 107,9 \times 217) = 162,5$$

(d'après ALLEN)

le poids de bromure d'argent présent dans l'émulsion par unité de surface est :

$$p_{BrAg} = 6,62 \text{ mgr/cm}^2$$

Comme 187,8 gr de Br Ag correspondent à un poids de 107,9 gr d'argent, le poids d'argent présent par unité de surface avant développement est :

$$p_{Ag} = 3,80 \text{ mgr/cm}^2$$

On voit que la méthode photométrique, dont la sensibilité décroît quand le noircissement augmente ne permet de mesurer celui-ci que jusqu'à une proportion d'argent de 1 mgr/cm^2 , soit environ le quart de l'argent total contenu dans le film.

Notre méthode permet, au contraire, de mesurer jusqu'au noircissement total correspondant à la réduction de tout l'argent contenu dans le film. L'appareil peut donc être utilisé en microphotomètre en liant le mouvement du film à celui d'un tambour enregistreur les déplacements du spot du galvanomètre.

CONCLUSION

Nous avons réalisé et mis au point un appareil commode, permettant de faire rapidement des mesures de coefficients d'absorption de rayons X, et nous avons montré quelques applications pratiques dans des domaines variés de la physique et de la chimie.

Cet appareil est facile à réaliser, les mesures ne sont ni longues ni difficiles.

Nous avons vérifié expérimentalement pour des composés organiques que la loi habituellement admise d'additivité des coefficients d'absorption est vérifiée; toutefois, nous avons trouvé une anomalie dans le cas de l'eau où l'absorption n'est pas la somme de celles de l'hydrogène et de l'oxygène.

Les résultats que nous avons relatés ici montrent tout l'intérêt des mesures précises d'absorption et le domaine très varié de ses applications.

Nous croyons que cet appareil sera susceptible de rendre de nombreux services, aussi bien dans un laboratoire de recherches que dans un laboratoire industriel.

Jean DEVAUX.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] COMPTON ET ALLISON — X rays in theory and experiment; Appendice IX, p. 799 sqq. (MacMillan — London 1935).
- [2] Sir W.-H. BRAGG ET WL. BRAGG — The crystalline state; vol. 1, p. 325-327 (G. Bell et Sons — London 1933).
- [3] A. GUINIER — La diffraction des rayons X aux très petits angles : application à l'étude de phénomènes ultra-microscopiques; *Annales de Physique*, 11^e série T 12 (sept. 1939), p. 161-237.
- [4] J.H. WILLIAMS — *Phys. Rev.* 44-146 (1933) cité dans COMPTON, *op. cit.*, p. 520.
- [5] COMPTON ET ALLISON — *op. cit.*, p. 38, d'après ULREY.
- [6] A. GUINIER — *op. cit.*, p. 163-166.
- [7] H.G.J. MOSELEY ET G.G. DARWIN — *Phil. Mag.* 26. 211 (1913).
- [8] Y.H. WOO — *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 10. 145 (1924).
- [9] A. GUINIER — La Radiocristallographie; p. 136 à 141 (Dunod — Paris 1945).
- [10] B. VODAR ET Mlle L. DIVAN — *Sté Française de Physique*, 18.12.1942.
- [11] J. GILLOD — *C. R. Ac. Sc. T.* 208, p. 1080 (3 avril 1939).

Impr. spéciale de Mesures, 19, rue des Saints-Pères

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

VOLUME XXXI
PART I
1901

CONTENTS

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

CONCLUSION

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

APPENDIX

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

THE JOURNAL OF THE
ROYAL ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
LONDON
1901

