

**Zeitschrift:** Helvetica Physica Acta  
**Band:** 27 (1954)  
**Heft:** IV  
  
**Artikel:** Mesure du facteur d'affaissement des émulsions nucléaires  
**Autor:** Gailloud, M. / Haenny, Ch. / Weill, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-112519>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Mesure du facteur d'affaissement des émulsions nucléaires

par M. Gailloud, Ch. Haenny, et R. Weill (Lausanne).

(21. VI. 1954.)

*Résumé.* Des émulsions nucléaires Ilford C2 100  $\mu$  — Ilford C2 200  $\mu$  B — Ilford C2 100  $\mu$  Li — Ilford G5 100  $\mu$  — ont été irradiées par un faisceau canalisé de particules  $\alpha$  sous un angle d'incidence  $\varphi_0$  connu, pour déterminer leur facteur d'affaissement. L'irradiation a été effectuée à  $20^\circ \pm 1^\circ$  C et 56% Hr., et l'humidification pour l'observation à  $25^\circ$  C  $\pm 0,1^\circ$  et 51% Hr. Les valeurs trouvées avec une erreur inférieure à 2%, sont en accord avec celles obtenues, avec une précision bien inférieure, par mesure d'épaisseur.

On a également mesuré les indices de réfraction des émulsions fixées et lavées, en équilibre avec des atmosphères à diverses humidités pour déterminer le facteur d'affaissement vrai.

Nous nous sommes assurés que dans nos conditions expérimentales, le facteur d'affaissement restait le même pour des angles différents de celui choisi ( $40^\circ$ ).

### 1. Définition.

L'opération du fixage des émulsions photographiques amène l'élimination de celles-ci, de tous les grains de bromure d'argent qui n'ont pas été développés.

Par suite de leur haute teneur en AgBr (environ 80% en poids, donnée Ilford) les émulsions nucléaires subissent de ce fait une importante *diminution de volume*.

Les études consacrées à cette question (VIGNERON<sup>1)2)</sup> TSIEN, Ho, CHASTEL, VIGNERON<sup>3)</sup>, JENNY et HÜRLIMANN<sup>4)</sup>) ont montré que cette variation de volume se traduisait exclusivement par une contraction dans le *sens de l'épaisseur* pour les émulsions à support rigide.

Si  $h_0$  est l'épaisseur de l'émulsion vierge, et  $h$  l'épaisseur de celle-ci prête pour les mesures, le facteur d'affaissement ou facteur de contraction  $K$  est défini par :

$$K = \frac{h_0}{h}.$$

ROTLAT et TAI<sup>5)6)7)</sup> ont trouvé que  $K$  était uniforme dans toute l'épaisseur de l'émulsion. Par ailleurs, POWELL, OCCHIALINI,

LIVESEY, CHILTON<sup>8)</sup>, ainsi que TELEGDI et ZÜNTI<sup>9)</sup> ont mis en évidence qu'il ne variait pas dans toute l'étendue de l'émulsion, ce que nos essais ont confirmé. Cette constance du facteur d'affaissement est valable à condition que celui-ci soit mesuré à plus de 3 mm du bord<sup>1)2)</sup>.

## 2. But du travail effectué.

Nous désirions tout d'abord connaître (pour des conditions définies) la valeur du facteur d'affaissement des émulsions Ilford C2 au bore et au lithium, pour lesquelles nous ne trouvons pas de valeurs précises parmi les travaux publiés. Par la suite, nos recherches ont été étendues aux émulsions Ilford C2 et G5.

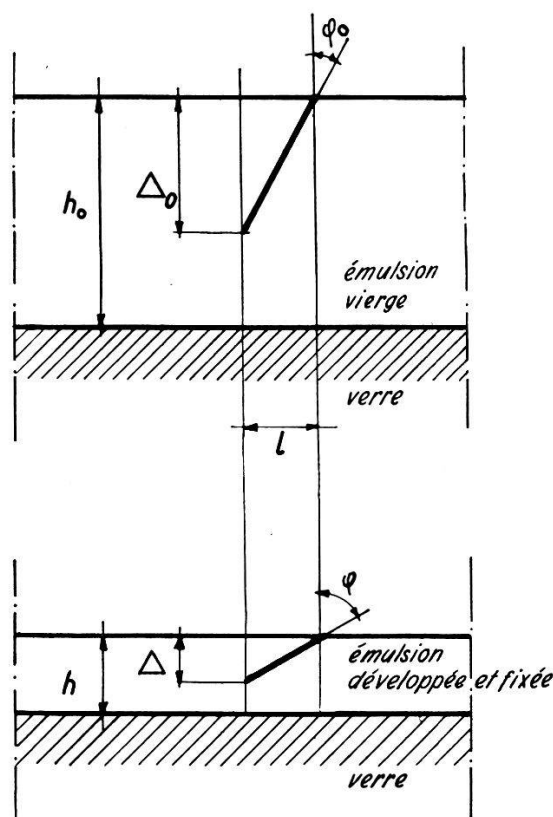


Fig. 1.

Effet du fixage sur la position de la trace dans la couche photographie.

Plusieurs méthodes de mesures de  $K$  ont été mises en œuvre par divers auteurs, mais il en est peu qui puissent donner des résultats satisfaisants.

La mesure au microscope de la différence de cote des surfaces de l'émulsion vierge et fixée, par rapport au support, n'a pas été faite jusqu'à maintenant avec une précision suffisante<sup>5)7)</sup> (la mesure se fait en éclairage épiscopique pour l'émulsion vierge, voir paragraphe 11).

La mesure d'épaisseur par comparateur a été effectuée par JENNY et HÜRLIMANN<sup>4)</sup> et OLIVER<sup>11)</sup>. Nous avons préféré ne pas utiliser cette méthode, de crainte que la pression du palpeur n'introduise des déformations de la gélatine.

La méthode de VIGNERON<sup>1)</sup>2) convient parfaitement pour les émulsions au lithium par mesure des composantes des traces de la réaction  $(n, \alpha)$  du lithium 6. Les traces de la réaction  $(n, \alpha)$  du bore 10 sont trop courtes pour qu'on puisse appliquer cette méthode aux émulsions au bore.

Une imprégnation préalable de l'émulsion par une solution d'un corps émetteur  $\alpha$  ne peut être envisagée, car elle entraîne l'élimination par dissolution de tous les sels qui y sont contenus. Cette imprégnation amène d'autre part la dissolution de la glycérine incorporée dans l'émulsion comme plastifiant. JENNY et HÜRLIMANN<sup>4)</sup> ont signalé que ceci correspondait à une variation importante du facteur d'affaissement.

Nous avons finalement été conduits à utiliser une méthode basée sur un principe déjà mis en œuvre par POWELL et coll.<sup>8)</sup> et VIGNERON<sup>1)</sup>. Elle permet de travailler dans des conditions bien définies, et elle est applicable à tous les types d'émulsion.

### 3. Principe de la méthode de mesure de $K$ .

Un faisceau ( $f$ ) de particules  $\alpha$  pénètre dans l'émulsion en faisant avec la normale un angle d'incidence  $\varphi_0$  connu (fig. 1 et 2). Dans les émulsions prêtes aux mesures, les traces ont un angle d'incidence  $\varphi$  différent de  $\varphi_0$ , par suite d'une réduction de  $1/K$  de toutes les composantes verticales. La figure 1 montre que:

$$K = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{\text{tg} \cdot \varphi}{\text{tg} \cdot \varphi_0},$$

la mesure de  $K$  est donc ramenée à celle de tangente  $\varphi$ .

### 4. Réalisation.

La figure 2A montre le schéma du canaliseur utilisé. La source  $\alpha$  est une aiguille  $S$  dont l'extrémité a été activée à l'émanation du thorium; 2 diaphragmes  $d$  (diamètre 0,5 mm) définissent un faisceau de particules  $\alpha$  ( $f$ ) qui arrive sur le support  $Su$  sous un angle d'incidence  $\varphi_0 = 40^\circ \pm 0,7'$ .

Le support  $Su$ , les diaphragmes  $d$  et la source  $S$  sont montés sur un bloc d'acier de 20 mm d'épaisseur de façon à ce que l'on ait une géométrie bien définie.

Le canaliseur est placé dans un cylindre où l'on fait le vide. Si le libre parcours moyen des particules  $\alpha$  est de 20 fois la distance qu'elles doivent franchir, le 95 % de celles émises dans l'angle solide considéré arriveront sur l'émulsion sans avoir été déviées par les molécules d'air du cylindre. Les dimensions de notre appareil nous obligent à travailler sous une pression inférieure à  $10^{-5}$  mm de Hg.

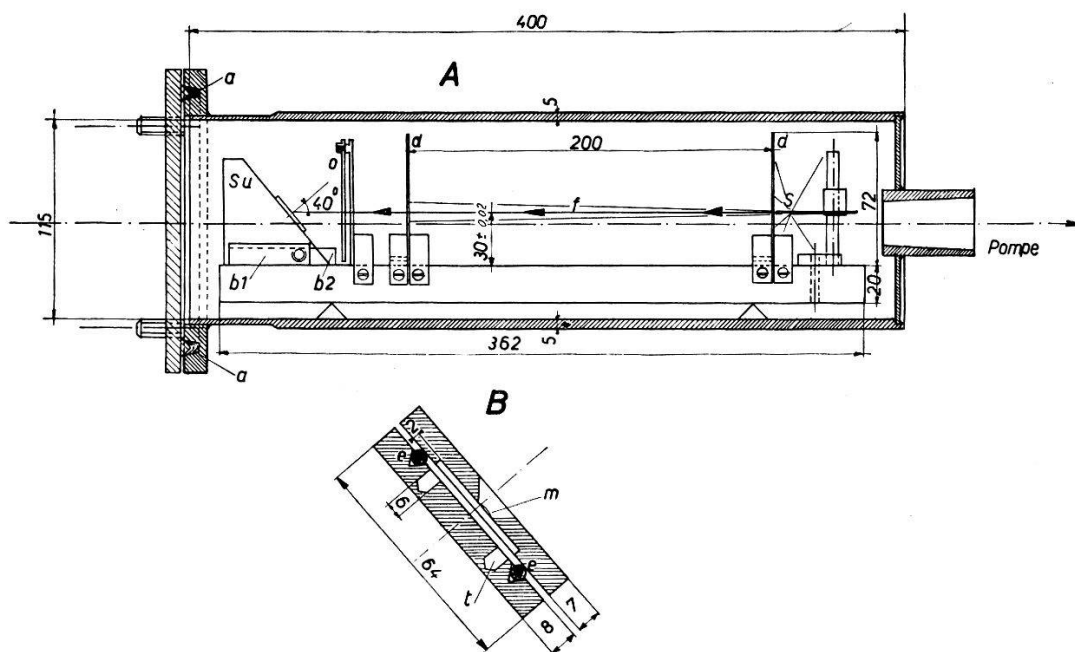


Fig. 2.

Appareil d'irradiation.

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| A) $S$ source $\alpha$ ;                         | $Su$ support de la boîte;             |
| $f$ faisceau canalisé;                           | $b1, b2$ blocs de guidage de $Su$     |
| $d$ diaphragmes;                                 | $a$ anneau de caoutchouc trapézoïdal. |
| $O$ obturateur;                                  |                                       |
| B) $m$ feuille de mica (8—10 $\mu$ d'épaisseur); |                                       |
| $e$ anneau de caoutchouc;                        |                                       |
| $t$ trous pour solution.                         |                                       |

### 5. Humidification des émulsions pour l'irradiation.

L'émulsion est placée dans une boîte de laiton (fig. 2B) fixée sur  $Su$ ; son couvercle comporte une ouverture de 7 mm de diamètre fermée par une feuille de mica ( $m$ ) de 8 à 9 microns d'épaisseur, destinée à laisser passer les particules  $\alpha$ . Un anneau de caoutchouc ( $e$ ) rend la boîte parfaitement étanche lorsqu'on serre le couvercle contre le fond. Celui-ci a été creusé de 8 trous ( $t$ ) destinés à recevoir des solutions saturées, qui créent une atmosphère à humidité bien définie avec laquelle l'émulsion est en équilibre.

Nous avons utilisé une solution saturée de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  qui donne les humidités relatives Hr suivantes<sup>12)</sup>.

$t^\circ \text{C}$	15°	20°	25°
Hr %	56%	55,9%	51%

Les irradiations ont été effectuées à la température de  $20^\circ \pm 1^\circ \text{C}$  pendant des temps variables de 5 à 15 heures de manière à obtenir 100—200 traces réparties chaque fois sur une surface d'un diamètre de 500  $\mu$  environ.

En nous basant sur divers résultats (ROADS<sup>10)</sup>) et d'après notre expérience (voir plus loin paragraphe 7) nous avons considéré que l'équilibre était atteint après un séjour de 24 heures au moins pour des émulsions de 100  $\mu$ , et de 2 jours au moins pour celles de 200  $\mu$ . Ces émulsions étaient auparavant conservées dans un local dont l'humidité était comprise entre 40% et 60% Hr.

## 6. Développement des émulsions.

Il s'agit avant tout d'éviter la distorsion provenant d'une contraction locale irrégulière de la gélatine qui déforme les traces et fausse facilement jusqu'à 10% les mesures en abaissant en général la valeur du facteur d'affaissement mesuré. Les traces sont d'autant plus déformées par la distorsion que leur angle d'incidence est plus faible.

Nous nous sommes efforcés de limiter au minimum toute variation brusque du pH, de la concentration et de la température des émulsions. Tous les bains étaient additionnés de sulfate de sodium à une concentration de 10% pour diminuer le gonflement des émulsions humides, et par là, la distorsion<sup>13)14)</sup>.

Les plaques sont tout d'abord plongées dans un bain préliminaire (presoak), puis imprégnées d'un révélateur au glycin, ne donnant que très peu de voile superficiel<sup>15)</sup>.

500  $\text{cm}^3$  de solution de base du révélateur contiennent 40 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1  $\text{H}_2\text{O}$  + 2 g de KBr.

100  $\text{cm}^3$  de révélateur sont formés par 1 g de glycin, dissous dans 50  $\text{cm}^3$  de solution de base, le tout étant complété à 100  $\text{cm}^3$  par du sulfate de sodium à 20%.

Le pH du révélateur a été abaissé par adjonction d'acide acétique pour diminuer le gonflement<sup>13)14)</sup> et atténuer encore le voile de surface<sup>15)</sup>.

Nous avons constaté d'une façon générale, qu'un écart de  $\pm 0,5 \text{ cm}^3$  d'acide acétique 2 N n'amenait pas de variation significative sur la valeur de  $K$ .

Nous avons effectué les adjonctions suivantes au révélateur:

<i>Type</i>	$\text{cm}^3$ acide acétique ajouté à $100 \text{ cm}^3$ de révélateur	pH du révélateur $\pm 0,03$
Emulsion Ilford C2 200 $\mu$ B . . . . .	6,5 $\text{cm}^3$ 2 N	9,30
Emulsion Ilford C2 100 $\mu$ Li . . . . .	6 $\text{cm}^3$ 2,14 N	9,30
Emulsion Ilford C2 100 $\mu$ . . . . .	4,2 $\text{cm}^3$ 2 N	9,60
Emulsion Ilford G5 100 $\mu$ . . . . .	5,4 $\text{cm}^3$ 2,14 N	9,40

Les autres bains utilisés ont la composition suivante:

*bain d'arrêt:* 50  $\text{cm}^3$  acide acétique 2% + 50  $\text{cm}^3$  sulfate de sodium à 20%;

*bain de fixation:* 50  $\text{cm}^3$  de thiosulfate de sodium, conc. 300 g/l + 50  $\text{cm}^3$  de sulfate de sodium à 20%.

Les plaques irradiées ont donc été traitées de la façon suivante:

Opération	Température	Durée (100 $\mu$ )	Durée (200 $\mu$ )
Presoak ( $\text{H}_2\text{O}$ dist.) . .	2° C	30 min	45 min
Imprégnation par le révélateur . . . . .	2°	30 min	45 min
Développement . . . . .	25°	1 heure	1 heure
Bain d'arrêt . . . . .	2°	30 min	45 min
Lavage ( $\text{H}_2\text{O}$ dist. + $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) . . . . .	2°	30 min	1 heure

Les émulsions séjournant ensuite 4 heures chaque fois, dans des bains successifs (100  $\text{cm}^3$ ) dont les concentrations en sulfate et thiosulfate de sodium vont en diminuant (diminution de 5  $\text{cm}^3$  de solution de sulfate de sodium à 20% et de 10  $\text{cm}^3$  de solution de thiosulfate à 300 g/litre, d'un bain à l'autre).

Le lavage se termine en laissant les émulsions 2 semaines dans 2 à 3 litres d'eau distillée à 5° C, changée tous les 3 jours. Nous avons utilisé un anneau de garde<sup>(13)(14)</sup>, constitué par des plaques de même type, pour le fixage et les opérations suivantes.



## 7. Séchage et humidification des émulsions.

Le séchage doit être très lent; l'anneau de garde<sup>13)</sup><sup>14)</sup> empêche les émulsions de sécher plus rapidement sur les bords qu'au centre.

Le séchage débute à 5° C en laissant les émulsions dans une atmosphère à humidité voisine de 100 % pendant 4 à 6 jours. Elles passent ensuite successivement dans des récipients à humidité de 90 % (3 à 6 jours) et 75 % (3 à 5 jours). La température du récipient à humidité de 75 % est élevée en deux jours à 20° C ( $H_r = 76\%$ ). Les émulsions y restent 1 à 2 jours puis sont placées pendant 2 jours dans une atmosphère à 60 % et sont finalement déposées dans un récipient à humidité de 56 % et 20° C qui est amené à  $25^\circ \pm 0,1^\circ$  C (humidité finale 51 %). Les émulsions sont maintenues dans cette dernière atmosphère au moins 48 heures. Nous avons constaté que des temps de séjour plus longs n'entraînent pas de modifications significatives de la valeur de  $K$ . Les émulsions sont ensuite recouvertes d'une solution de vernis cellulosique diluée dans l'acétone qui forme en séchant une membrane transparente et étanche de l'ordre de 50  $\mu$  à 100  $\mu$  d'épaisseur. Le dépôt de la couche de vernis n'a, à moins de 1‰ près, aucune influence sur l'épaisseur de l'émulsion fixée.

Nous avons pu déterminer le temps nécessaire à l'établissement de l'équilibre pour des émulsions provenant d'un milieu dont l'humidité diffère de 15 à 20 % de celle du milieu final, la température étant de 20° C. Des émulsions vierges, sans support, de 100  $\mu$  sont collées sur le prisme d'un réfractomètre PULFRICH, puis elles sont fixées et lavées. On les laisse au moins 3 jours dans une atmosphère à humidité et température données; ensuite on place le prisme sur le réfractomètre dans une pièce à humidité connue différant de la précédente et on mesure l'indice de réfraction de l'émulsion en fonction du temps.

Nous avons trouvé que pour les émulsions Ilford C2 100  $\mu$  à 20° C (différence d'humidité entre les deux milieux 15 %) le temps nécessaire à atteindre l'équilibre est de 5 à 10 heures.

## 8. Technique des mesures.

La tangente  $\varphi$  est déterminée par la mesure des composantes verticales  $\Delta$  et horizontales  $l$  des traces obtenues par irradiation; nous nous sommes servis à cet effet d'un microscope Ortholux Leitz, équipé d'un objectif à immersion 100  $\times$ .



*Mesure des composantes horizontales.*

Nous utilisons un oculaire micrométrique de Leitz  $12\times$ . On amène successivement le trait mobile du réticule à être tangent avec l'image du contour apparent vertical du premier et du dernier grain de la trace, et on lit le déplacement correspondant sur le tambour divisé.

Ce micromètre a été étudié en collaboration avec la Société Genevoise des Instruments de Physique (S.I.P.)\*. Il en résulte que l'erreur maximum de mesure correspondant au déplacement total (6 mm) du réticule est de  $\pm 1,5\ \mu$ , tandis que l'erreur maximum de périodicité pour un tour de tambour (déplacement réel du réticule de 0,5 mm) est de  $\pm 1\ \mu$ . Il faut de plus tenir compte d'une erreur de lecture de  $\pm 0,2\ \mu$ , due à la parallaxe. La mesure d'une composante horizontale  $l$  d'environ  $25\ \mu$  sera affectée, avec le grandissement objectif de  $100\times$  utilisé, d'une erreur maximum totale de 0,1%.

Le micromètre a été étalonné par rapport à un réseau objectif gravé S.I.P. que nous avons mesuré dans les laboratoires de cet établissement à Genève. Cent intervalles du réseau correspondant à  $200 \pm 0,1\ \mu$ , un déplacement du réticule équivalant à 1000 divisions du tambour micrométrique est égal à  $41,88\ \mu \pm 0,07\ \mu$  (objectif d'un grandissement de  $100\times$ ). La composante horizontale d'une trace correspondant à environ 500 divisions du tambour micrométrique sera connue avec une précision de 0,8%, compte tenu des écarts de reproductibilité des mesures qui sont inférieures à 0,4%.

*Mesure des composantes verticales.*

Un micro-indicateur «Johanssen» a été fixé au bâti du microscope, son axe étant parallèle à moins de 1 degré près, à la direction du déplacement vertical de la platine.

Le cadran du micro-indicateur est gradué en divisions de  $0,2\ \mu$ , ce qui permet d'apprécier  $0,1\ \mu$  à la lecture. Pour un déplacement de  $10\ \mu$  (longueur des cotes mesurées) la fabrique garantit une erreur mécanique de l'appareil, inférieure à  $0,1\ \mu$ .

Pour les mesures des cotes on met successivement au point de la même manière que précédemment les deux extrémités de la trace et on lit sur le cadran de l'appareil le déplacement effectué par la platine. Il faut naturellement toujours procéder à la mesure en montant la platine, avec la trace bien centrée<sup>16</sup>). Cette mesure est répétée trois fois pour chaque trace. La composante verticale

---

\*) Nous adressons nos remerciements à Mr. P. MARTIN.

d'une trace peut être ainsi déterminée à  $\pm 0,3 \mu$ , c'est-à-dire avec une erreur relative de 4 à 5 % dans notre cas.

Les mesures de composantes tant horizontales que verticales ne sont pas affectées par les variations de température de  $\pm 1^\circ \text{C}$  auxquels ont été soumis les appareils au cours de ces déterminations. Nous avons en effet constaté que des statistiques des mesures faites à  $23$  et  $28^\circ \text{C}$  ne présentaient aucune variation significative.

### 9. Influence de la différence entre les indices de réfraction de l'huile et de la gélatine sur les mesures ; facteur d'affaissement apparent et vrai.

Les traces sont situées dans la gélatine d'indice de réfraction  $n_g$ , et sont observées d'un milieu d'indices  $n_h$  (Microil) ; la mesure des cotes verticales des traces correspond en réalité à la mesure des cotes verticales des images des traces vues du milieu d'indice  $n_h$ .

Si  $\Delta$  est la valeur réelle de la cote de la trace et  $\Delta_{ap}$ , celle de son image (ce que nous mesurons), on a :

$$\Delta = \Delta_{ap} \frac{n_g}{n_h} = \Delta_{ap} \cdot f.$$

En ne tenant pas compte de la correction d'indice on mesurera au lieu du facteur de contraction vrai

$$K = \frac{l}{f \Delta_{ap}} \bigg/ \operatorname{tg} \varphi_0$$

un facteur de contraction apparent

$$K_{ap} = \frac{l}{\Delta_{ap}} \bigg/ \operatorname{tg} \varphi_0$$

avec la relation  $K \cdot f = K_{ap}$ .

En pratique, lorsqu'on effectue une mesure de cote  $\Delta_{ap}$  on désire connaître la valeur initiale  $\Delta_0$  avant contraction.

Par définition :

$$\Delta_0 = K \cdot \Delta$$

$$\Delta_0 = f \cdot \Delta_{ap} \cdot K = f \cdot \Delta_{ap} \cdot \frac{K_{ap}}{f}$$

c'est-à-dire :

$$\Delta_0 = \Delta_{ap} \cdot K_{ap}.$$

On voit donc que la mesure du facteur d'affaissement effectué par la méthode que nous utilisons rend *inutile* la connaissance de l'indice de réfraction des émulsions<sup>8</sup>), puisqu'elle nous fournit directement  $K_{ap}$ .

En revanche, les mesures effectuées à l'aide d'un procédé strictement mécanique donnent  $K$  et nécessitent la connaissance de  $f$ .

Toute détermination de cote verticale dans l'émulsion vierge pourra se faire à partir des grandeurs apparentes mesurées dans l'émulsion fixée. Chaque chercheur peut utiliser le  $K_{ap}$  que nous donnons en le multipliant par les rapports des indices de réfraction de son huile d'immersion à la nôtre, pour autant que les valeurs de  $n_g$  soient identiques.

**Tableau 1.**

*Indice de réfraction de l'huile d'immersion\*) pour la raie D du sodium.*

$t^{\circ} \text{C} \pm 0,1^{\circ}$	$n_D \pm 0,0004$
19,4	1,5159
21,9	1,5147
26,9	1,5116

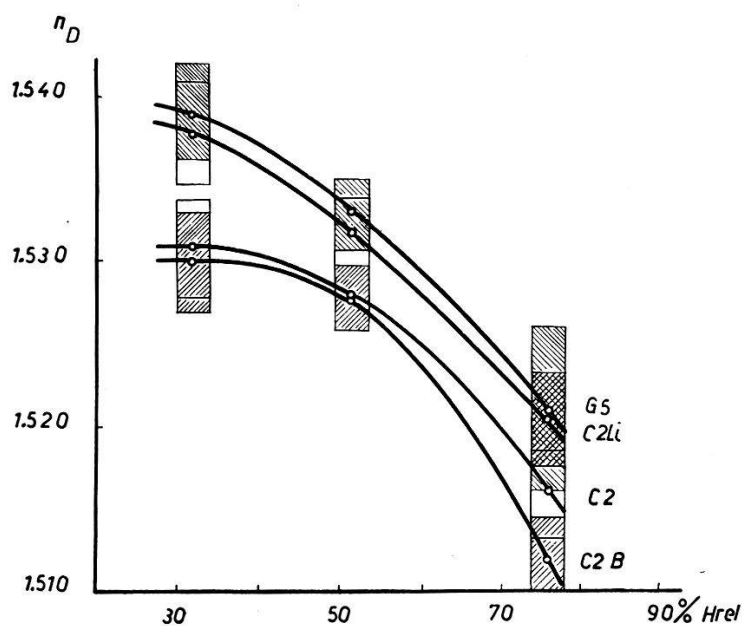


Fig. 3.

Indice de réfraction pour la raie D du sodium de gélatines provenant d'émulsions photographiques Ilford fixées et lavées, pour diverses humidités relatives (Hrel).

Pour que nos résultats puissent être comparés à d'autres, nous avons mesuré les indices de réfraction de la gélatine des émulsions avec support, fixées, lavées. Celles-ci ont été mises en

\*) «Microoil» G. T. GURR, London S.W. 6.

équilibre à  $25 \pm 0,1^\circ \text{C}$ , avec l'atmosphère donnée par les solutions saturées suivantes<sup>12)</sup>:

	Hr
NaCl . . . . .	76%
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	51%
CaCl <sub>2</sub> . . . . .	31%

Les émulsions rapidement sorties de l'atmosphère d'humidification sont posées sur le prisme du réfractomètre Pulfrich maintenu à  $20,3 \pm 0,1^\circ \text{C}$ . Une goutte de monobrome-naphtalène est placée entre l'émulsion et le prisme. La mise en équilibre de l'émulsion avec l'atmosphère de la salle de mesure ne pouvant se faire que par la tranche, est extrêmement lente et n'a pas influencé nos mesures. Pour chaque type d'émulsion et pour chaque humidité, les mesures ont été faites sur 6 échantillons au moins, provenant de deux lots (batch) différents.

**Tableau 2.**

*Indice de réfraction d'émulsions Ilford fixées et lavées, en lumière D du sodium, température  $20,3^\circ \text{C} + 0,1^\circ \text{C}$ .*

Hr % $\pm 1\%$	31%	51%	75%
Ilford C2 100 $\mu$ . .	$1,530 \pm 0,003$	$1,528 \pm 0,002$	$1,516 \pm 0,003$
Ilford C2 100 $\mu$ B .	$1,531 \pm 0,003$	$1,528 \pm 0,002$	$1,512 \pm 0,003$
Ilford C2 100 $\mu$ Li .	$1,538 \pm 0,003$	$1,532 \pm 0,002$	$1,521 \pm 0,003$
Ilford G5 100 $\mu$ . .	$1,539 \pm 0,003$	$1,533 \pm 0,002$	$1,521 \pm 0,005$

Les marges d'erreurs indiquées dans le tableau correspondent aux écarts de reproductibilité des mesures.

# 10. Précision des mesures de K.

L'ensemble des valeurs des tangentes  $\varphi$  mesurées pour toutes les traces d'une irradiation nous donne une moyenne arithmétique  $\overline{\text{tg} \cdot \varphi}$  avec un écart-type  $S$ ; de là nous tirons  $\overline{K_{an}} = \overline{\text{tg} \cdot \varphi} / \text{tg} \cdot \varphi_0$ . Nous admettons que les traces de toutes les irradiations effectuées sur une même plaque, ou sur des plaques de même type, (dans les mêmes conditions) forment une seule population au sens statistique du terme. Les différentes valeurs de  $\overline{\text{tg} \cdot \varphi}$  (provenant de plusieurs irradiations) seront distribuées autour d'une moyenne  $\overline{\overline{\text{tg} \cdot \varphi}}$  avec un écart-type  $\sigma$  donné par

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n-1}},$$

$n$  étant le nombre de traces mesurées pour une irradiation. Les  $\overline{\overline{K_{ap}}}$  correspondant à ces statistiques seront distribués autour d'une moyenne  $\overline{\overline{K_{ap}}} = \overline{\overline{\text{tg} \cdot \varphi}} / \text{tg} \cdot \varphi_0$  avec un écart-type

$$e = \frac{S}{\text{tg} \cdot \varphi_0 \sqrt{n-1}} ;$$

$e$  ne varie que de 0,035 à 0,015 lorsque le nombre de traces passe de 50 à 150 par irradiations.

Nous considérerons la moyenne  $\overline{\overline{K_{ap}}}$  comme valeur du facteur d'affaissement mesuré pour ce type d'émulsion. Nous prendrons l'intervalle  $\pm 2e$  comme étant l'erreur absolue provenant de la mesure de la valeur de  $\overline{\overline{\text{tg} \cdot \varphi}}$ . Une nouvelle mesure portant sur une centaine de traces, donnera une moyenne ayant 95% de chance de se trouver dans l'intervalle ainsi défini.

D'autre part, du fait de la diffusion du faisceau de particules  $\alpha$  par la feuille de mica et la couche d'air de la boîte, la distribution angulaire des traces est légèrement modifiée, et les mesures nous donnent une valeur de  $\text{tg} \cdot \varphi$  trop grande. Un calcul approximatif nous a indiqué qu'une correction de 3‰ devait être apportée aux mesures. Nous diminuons ainsi les valeurs mesurées de 3‰ en admettant sur le résultat obtenu une erreur relative supplémentaire de 1,5‰ à ajouter à l'erreur statistique sur  $\text{tg} \cdot \varphi$ . Il faut encore tenir compte d'une erreur de 0,5‰ sur la valeur de  $\text{tg} \cdot \varphi_0$  (voir paragraphe 4). Dans la détermination de  $K$  il convient d'ajouter une erreur de 2‰ provenant de l'incertitude sur la valeur de  $f$  (indice de réfr. gél./indice de réfr. Microil).

Pour chaque type d'émulsion d'un même lot (batch) les mesures ont porté sur 3 plaques. Les écarts entre les valeurs mesurées ont toujours été compris dans les limites définies précédemment (voir paragraphe 10).

Nous avons constaté, avec les émulsions au bore, que le changement de lot (batch) n'entraîne pas de variation significative sur la valeur du facteur d'affaissement.

### 11. Mesures par pointés optiques.

Pour les plaques au bore, on a mesuré l'épaisseur de l'émulsion vierge en équilibre à 20° C avec une atmosphère à Hr. de 56%, par détermination au microscope, en éclairage épiscopique, des différences de cotes entre le support et divers points de la surface de l'émulsion. Nous avons trouvé que l'épaisseur de l'émulsion vierge est de  $200 \mu \pm 2 \mu^{17)}$ .

L'épaisseur de la couche photographique traitée, prête à l'observation, peut être mesurée plus facilement encore en éclairage diascopique. Les facteurs d'affaissement sont ainsi déterminés avec une erreur de 3%. Ainsi qu'on peut le voir dans le tableau n° 3, les valeurs de  $K$  obtenues sont en accord avec celles déterminées au moyen de faisceaux canalisés. Il est évident que ce procédé conduira à des valeurs d'autant plus précises que l'émulsion sera plus épaisse.

## 12. Mesure de $K$ pour les émulsions au lithium par la méthode de Vigneron.

Une émulsion C2 au Li en équilibre à  $20 \pm 1^\circ \text{C}$ , avec une atmosphère à humidité relative de 56%, a été soumise au flux des neutrons provenant d'une source Ra- $\alpha$ -Be; elle a été développée et humidifiée de la même façon que les autres émulsions et nous avons mesuré son facteur d'affaissement  $K_{ap}$  en appliquant la méthode statistique de VIGNERON aux traces de la réaction  $(n, \alpha)$  du lithium 6. La valeur  $K_{ap}$  ( $3,37 \pm 0,10$ ) ainsi mesurée par les traces réparties dans toute la profondeur de l'émulsion est en accord avec celles mesurées à l'aide des traces produites par le faisceau canalisé dans une couche de  $30 \mu$  à la surface de l'émulsion vierge.

## 13. Résultats et discussion.

Nous indiquons dans le tableau n° 3 l'ensemble de nos résultats et tous ceux publiés dont nous avons connaissance. ROTBLAT et TAI<sup>5)6)7)</sup> ont signalé que pour les traces d'incidence inférieure à un certain angle critique  $\varphi_{oc}$  la réduction des cotes verticales diminuait avec l'incidence. Les grains d'argent entrant en contact les uns avec les autres, ne suivraient plus le mouvement vertical de la gélatine et subiraient un déplacement latéral. Les facteurs d'affaissements mesurés au moyen de ces traces sont donc trop petits; ceci est valable dans la méthode par faisceau canalisé, pour autant que la variation d'inclinaison des traces soit modifiée par l'effet signalé ci-dessus.

Si l'on reporte à l'émulsion vierge, les valeurs publiées relatives aux émulsions traitées, on trouve que pour ROTBLAT et TAI<sup>6)</sup> l'angle critique d'incidence  $\varphi_{oc}$  est de  $42^\circ$  pour les tritons dans les émulsions C2 au lithium, de  $35^\circ$  pour les  $\alpha$  dans les émulsions Ilford C2, tandis que pour HORAN<sup>20)</sup>  $\varphi_{oc}$  est de  $74^\circ$  pour les  $\alpha$  dans les émulsions Eastman NTA et NTB. Il faut remarquer que ces auteurs indiquent dans leurs mémoires, non pas l'angle d'incidence



ainsi que nous le faisons, mais l'angle formé par la trace avec l'horizontale (angle of dip).

D'autres auteurs, JENNY et HÜRLIMANN<sup>4</sup>), VIGNERON<sup>2</sup>), GREENBERG et HASLAN<sup>21</sup>), ont contesté l'existence de ce phénomène.

Nous avons examiné, dans le cas où un tel effet existerait, si l'angle d'incidence de  $40^\circ$  choisi pour nos irradiations, est supérieur à l'angle critique  $\varphi_{0c}$ .

Les mesures des 144 traces  $\alpha$ -tritons de l'émulsion au lithium utilisées précédemment (paragraphe 12) ont été classées en groupes de 8 traces de composantes voisines. Le parcours moyen de chaque groupe a été déterminé par la relation

$$\bar{R} = \sqrt{K^2 \bar{\Delta}^2 + \bar{l}^2},$$

$\bar{\Delta}^2$  et  $\bar{l}^2$  étant les moyennes quadratiques des composantes verticales et horizontales (cette manière de faire diminue la dispersion<sup>1</sup>). Nous avons reporté, dans la figure 4,  $\bar{R}$  en fonction de l'angle d'incidence moyen  $\varphi_0$  de chaque groupe.

$$(\operatorname{tg} \varphi_0 = 1/K \sqrt{\bar{l}^2/\bar{\Delta}^2}).$$

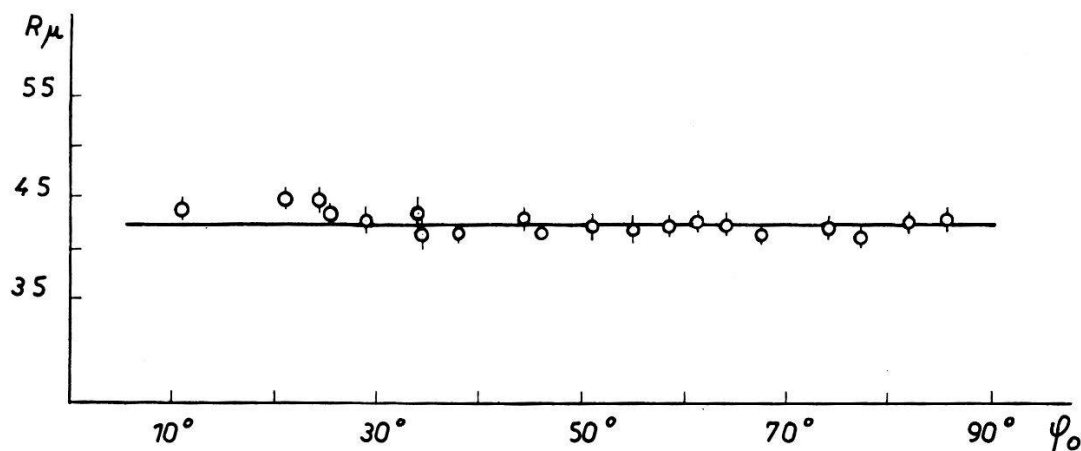


Fig. 4.

Longueur des traces de la réaction  ${}^3\text{Li}(n, \alpha){}_1\text{H}$  dans les émulsions Ilford C2 au Li, en fonction de leur angle d'incidence dans l'émulsion vierge.

Les traces correspondant à un angle d'incidence dans l'émulsion vierge inférieur à  $28^\circ$  présentent un léger allongement de 2–3  $\mu$  par rapport aux autres\*). L'angle critique de  $28^\circ$  est inférieur à celui indiqué par ROTBLAT et TAI (l. c.), ce qui peut s'expliquer par des différences dans le degré de développement.

\*) La valeur moyenne du parcours  $42,5 \pm 0,3 \mu$  est en accord avec celle de 42,8  $\mu$  indiquée par BRAUN<sup>18</sup>) pour les mêmes conditions.



**Tableau 3.**  
*Facteurs d'affaissement de diverses émulsions nucléaires Ilford.*

Type d'émulsion	Auteur	K	$K_{ap}$	méthode	Conditions
ILFORD C2 100 $\mu$	Nos résultats a) ROTBLAT et TAI <sup>6)</sup> ROTBLAT et TAI <sup>5)</sup> <sup>7)</sup> VIGNERON <sup>1)</sup>	2,88 $\pm$ 0,05	2,90 $\pm$ 0,05 2,36 $\pm$ 0,05 2,7 $\pm$ 0,2 2,16 $\pm$ 0,07	faisceau canalisé de VIGNERON par pointé optique de VIGNERON et faisceau canalisé interférométrique par palpeur	Hr. exp. = 56% $t=20^{\circ} \pm 1,0^{\circ} \text{C}$ Hr. obs. = 51% $t=25^{\circ} \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ id. toutes humidités diverses, non précisées non précisées { Hr. exp. = 56% Hr. obs. = 51%
	ROADS <sup>10)</sup> OLIVER <sup>11)</sup>	2,38 $\pm$ 0,04 2,32 $\pm$ 0,02			
	Nos résultats b) ROTBLAT et TAI <sup>5)</sup> <sup>7)</sup> ROADS <sup>10)</sup>	2,72 $\pm$ 0,04 2,65 $\pm$ 0,07	2,75 $\pm$ 0,04 2,7 $\pm$ 0,2	faisceau canalisé pointé optique interférométrique	Hr. exp. = 56% $t=20^{\circ} \pm 1,0^{\circ} \text{C}$ Hr. obs. = 51% $t=25^{\circ} \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ toutes humidités non précisées
ILFORD C2 100 $\mu$ Li	Nos résultats c) id. ROTBLAT et TAI <sup>5)</sup> <sup>7)</sup>	3,30 $\pm$ 0,05 3,33 $\pm$ 0,10	3,34 $\pm$ 0,04 3,37 $\pm$ 0,10 3,2 $\pm$ 0,2	faisceau canalisé de VIGNERON pointé optique	{ Hr. exp. = 56% $t=20^{\circ} \pm 1,0^{\circ} \text{C}$ Hr. obs. = 51% $t=25^{\circ} \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ toutes humidités
	Nos résultats d) Nos résultats e) id.	3,07 $\pm$ 0,05 3,04 $\pm$ 0,04 3,07 $\pm$ 0,09	3,09 $\pm$ 0,05 3,06 $\pm$ 0,04 3,09 $\pm$ 0,09	faisceau canalisé faisceau canalisé pointé optique	{ Hr. exp. = 56% $t=20^{\circ} \pm 1,0^{\circ} \text{C}$ Hr. obs. = 51% $t=25^{\circ} \pm 0,1^{\circ} \text{C}$
a) lot Z 6925 fab. 31. 3. 53	b) lot Z 6924 fab. 30. 3. 53	c) lot Z 6927 fab. 31.3.53	d) lot Z 6926 fab. 31. 3. 53	e) lot Z 7583 fab. 11. 11. 53	

Les valeurs de  $K$  obtenues pour l'émulsion au lithium par la méthode du faisceau canalisé et par celle de VIGNERON (paragraphe 12) où l'on a éliminé les traces correspondant à un  $\varphi_0$  inférieur à  $28^\circ$  (en petit nombre d'ailleurs) sont en accord. La mesure de  $K$ , par faisceau canalisé d' $\alpha$ , n'a pas été influencée par l'effet signalé par ROTBLAT et TAI, et l'angle d'incidence choisi est donc supérieur à l'angle critique. Ce dernier diminuant avec  $K^6$ ) cette conclusion est à plus forte raison valable pour les autres types d'émulsions (C2 B, C2, G5), toutes autres conditions restant identiques. D'autre part, nous avons constaté dans le cas d'une émulsion au bore, qu'un sous-développement prononcé (donnant des traces dont les grains sont séparés) n'a pas amené de variations significatives sur la valeur de  $K$ ; ceci nous indique à nouveau que l'incidence de  $40^\circ$  est supérieure à  $\varphi_{oc}$ .

Nos résultats pour les émulsions Ilford G5 et Ilford C2 au lithium concordent avec ceux des divers auteurs cités. Par contre, pour les émulsions Ilford C2, nous sommes en désaccord avec tous les résultats publiés à l'exception des premières valeurs indiquées par ROTBLAT et TAI<sup>5)7)</sup>.

Ces écarts peuvent s'expliquer, en partie tout au moins, si l'on remarque avec JENNY et HÜRLIMANN<sup>4)</sup>, que toute imprégnation des émulsions conduit à des valeurs trop faibles de  $K$ , par suite de la dissolution de produits normalement contenus dans l'émulsion vierge (glycerine).

Les émulsions Ilford C2 contenant un sel du bore ou de lithium ont un facteur d'affaissement plus élevé que les émulsions C2 simples. Ceci résulte sans doute de la présence du sel incorporé aux émulsions vierges, sel éliminé lors du traitement de l'émulsion. Dans le cas du sel de lithium, les propriétés hygroscopiques de ce dernier<sup>4)</sup> contribuent également à accroître le facteur d'affaissement.

### Conclusion.

Les facteurs d'affaissement (ou facteurs de contraction) vrais et apparents qui ont été déterminés en fixant toutes les conditions pouvant influencer l'affaissement des émulsions nucléaires, mettant en œuvre, dans les cas utiles, trois méthodes de mesure différentes, s'accordent avec les valeurs moins précises déjà publiées par ROTBLAT et TAI ou par ROADS pour les émulsions Ilford G5 (100  $\mu$ ) et Ilford C2 au lithium (100  $\mu$ ). Par contre, en ce qui concerne les émulsions simples du type Ilford C2 (100  $\mu$ ), nos mesures ont

donné des facteurs d'affaîssement généralement plus élevés que ceux déterminés par d'autres expérimentateurs. Des écarts considérables, de l'ordre de 20 %, ne paraissent pouvoir s'expliquer que par d'importantes différences dans les conditions de travail et de traitement des émulsions, trop souvent non définies ou mal précisées. Par ailleurs, certaines méthodes de mesure sont sans doute affectées par des causes d'erreurs systématiques.

Pour les émulsions Ilford au bore aucune valeur ne paraît avoir été publiée jusqu'à maintenant.

Les facteurs d'affaîssement vrais relatifs aux conditions choisies, aisément reproductibles, s'échelonnent de  $2,88 \pm 0,05$  pour les émulsions C2 à  $3,31 \pm 0,05$  pour les émulsions C2 au lithium. Les émulsions préparées avec un sel incorporé présentent un facteur d'affaîssement plus élevé que les autres, la valeur la plus grande correspond à la présence du sel hygroscopique du lithium.

A la suite de ROTBLAT et TAI, plusieurs auteurs ont constaté que la mesure du facteur d'affaîssement pouvait varier avec l'inclinaison des traces utilisées, les mesures étant correctes jusqu'à un certain angle limité. Cet effet contesté par d'autres, lié sans doute à la densité de la trace, ne peut intervenir dans nos conditions de travail, que pour des angles d'incidence (trace-verticale) des tritons dans l'émulsion vierge, inférieurs à  $28^\circ$ .

Nous remercions la Commission Suisse d'Etude pour l'Energie Atomique dont l'appui financier nous a été précieux pour l'exécution de ce travail.

Laboratoire de Chimie Physique et Recherches Nucléaires  
Ecole Polytechnique — Université de Lausanne.

### Bibliographie.

- <sup>1)</sup> L. VIGNERON, J. Phys. et Radium **10**, 305 (1949).
- <sup>2)</sup> L. VIGNERON, Thèse, Contribution à l'étude des phénomènes nucléaires par la méthode des traces autographiées dans les émulsions photographiques (1952).
- <sup>3)</sup> S. T. TSIEN, Z. W. HO, R. CHASTEL, L. VIGNERON, J. Phys. et Radium **8**, 205 (1947).
- <sup>4)</sup> L. JENNY, T. HÜRLIMANN, Helv. Phys. Acta **24**, 235 (1951).
- <sup>5)</sup> J. ROTBLAT, C. T. TAI, Nature **164**, 835 (1949).
- <sup>6)</sup> J. ROTBLAT, C. T. TAI, Fundamental Mechanism of Photographic Sensitivity. Butterworths Scientific Publication, London 1951, p. 331.
- <sup>7)</sup> J. ROTBLAT, Progress in Nuclear Physics. Vol. 1, p. 49, Butterworth-Springer Ltd., London, 1950.
- <sup>8)</sup> C. F. POWELL, G. P. S. OCCHIALINI, D. S. LIVESEY, L. V. CHILTON, J. Sci. Instr. **23**, 102 (1946).
- <sup>9)</sup> V. L. TELEGDI, W. ZÜNTI, Helv. Phys. Acta **23**, 754 (1950).

- <sup>10)</sup> F. A. ROADS, Fundamental Mechanism of Photographic Sensitivity. Butterworths Scientific Publication, London, 1951, p. 327.
  - <sup>11)</sup> A. J. OLIVER, Rev. of. scient. Inst. **25**, 326 (1954).
  - <sup>12)</sup> O. BRIEN, J. Scient. Inst. Phys. Ind. **25**, 73 (1948).
  - <sup>13)</sup> C. C. DILWORTH, G. P. S. OCCHIALINI, L. VERMAESSEN, Bulletin du Centre de Physique Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles. 13. 2. 50, n° 13a.
  - <sup>14)</sup> A. BONETTI, C. C. DILWORTH, G. P. S. OCCHIALINI, Bulletin du Centre de Physique Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles. 13. 3. 51, n° 13b.
  - <sup>15)</sup> M. GAILLOUD, CH. HAENNY, Memoire de la Sté Vaudoise des Sciences Naturelles. Lausanne **10**, 271 (1952).
  - <sup>16)</sup> L. VIGNERON, Revue de microscopie **2**, 26 (1950).
  - <sup>17)</sup> R. LOCQUENEUX, J. Phys. et Radium **11**, 147 (1950).
  - <sup>18)</sup> H. BRAUN, J. Phys. et Radium **13**, 347 (1952).
  - <sup>19)</sup> A. BEISER, Rev. of Modern Physics **24**, 274 (1952).
  - <sup>20)</sup> J. R. HORAN, Phys. Rev. **90**, 717 (1953).
  - <sup>21)</sup> L. H. GREENBERG, R. N. H. HASLAN, Canad. J. of phys. **31**, 1115 (1953).
-