

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE
DE LA SENSIBILITÉ QUANTIQUE D'ÉMULSIONS
A GRAINS CUBIQUES HOMOGÈNES.
MESURE DE L'INTENSITÉ
DE LA LUMIÈRE ABSORBÉE ET DIFFUSÉE
PAR CES ÉMULSIONS EN RELATION
AVEC LEURS COURBES CARACTÉRISTIQUES (*)

par L. BERWART
Chef de Travaux

RÉSUMÉ

Les résultats des mesures du coefficient d'absorption des émulsions étudiées montrent que ce coefficient ne croît pas proportionnellement à la masse superficielle de AgBr coulée sur le support de l'émulsion; par contre, dans de nombreux cas, la densité développée est approximativement proportionnelle à la masse superficielle de AgBr coulée; on peut expliquer ces 2 résultats en admettant un processus de contagion lors du développement. Dans la détermination de la sensibilité quantique, on obtient que le nombre moyen de quanta absorbés par une émulsion pour atteindre une densité fixée au-dessus du voile est plus grand pour les émulsions à gros grains que pour les émulsions à grains fins. La détermination de la probabilité de développement d'un grain de l'émulsion permet d'estimer le nombre minimum de quanta nécessaires pour rendre un grain développable. Pour une émulsion sensibilisée à l'optimum, on conclut qu'un grain doit absorber au minimum 4 quanta environ pour devenir développable dans des conditions normales de développement.

1. INTRODUCTION

Les travaux précédents [1], [2], [3], [4] relatifs à la détermination de la sensibilité quantique d'émulsions commerciales très diluées sont assez difficiles à interpréter par suite de la très large distribution dimensionnelle des grains de ces émulsions. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant, suivant une idée de M. le Professeur A. HAUTOT, de reprendre la mesure de la sensibilité quantique pour des émulsions expérimentales à grains cubiques homogènes pour lesquelles la distribution dimensionnelle est très étroite. De cette manière, on ne doit pas tenir compte de diverses classes de grains de dimensions différentes et on mesure la sensibilité quantique pour une classe de grains de dimensions déterminées. Il en résulte donc une simplification du problème.

La détermination du nombre moyen de quanta absorbés par grain nécessite la mesure du coefficient d'absorption dû aux grains. C'est pourquoi on a été amené

Présenté par A. Hautot, le 17 février 1972.

(*) Travail exécuté au laboratoire de Physique Générale de l'Université de Liège, sous les auspices de l'I.R.S.I.A.

à débiter ce travail par la mesure de l'intensité de la lumière diffusée en réflexion et en transmission par ces émulsions homogènes.

2. CARACTÉRISTIQUES DES ÉMULSIONS ÉTUDIÉES

— Les émulsions H 1299 à H 1302 sont constituées par des grains cubiques dont la dimension moyenne est égale à $0,4 \mu\text{m}$, avec une dispersion dimensionnelle très faible. Ces émulsions ont été mûries chimiquement en présence du sensibilisateur combiné « thiosulfate de sodium et thiocyanate d'or ».

L'émulsion H 1302 a été mûrie à l'optimum (1 heure à 45°C).

L'émulsion H 1301 a été mûrie partiellement (30 min à 45°C).

L'émulsion H 1300 a été mûrie partiellement (15 min à 45°C).

L'émulsion H 1299 n'a pas été mûrie chimiquement.

Les émulsions ont été coulées de manière à obtenir théoriquement une masse superficielle M de AgBr égale respectivement à 0,5; 1; 2; 10 g/m^2 pour les émulsions du type 1, 2, 3 4.

— Les émulsions H 1303 à 1306 sont constituées par des grains cubiques dont la dimension moyenne est égale à $0,8 \mu\text{m}$, avec une dispersion dimensionnelle faible. Ces émulsions ont été mûries chimiquement de la même manière que les émulsions précédentes (H 1299 à H 1302) et en présence du même sensibilisateur.

L'émulsion H 1306 a été mûrie à l'optimum (2 h à 45°C).

L'émulsion H 1305 a été mûrie partiellement (60 mn à 45°C).

L'émulsion H 1304 a été mûrie partiellement (15 mn à 45°C).

L'émulsion H 1303 n'a pas été mûrie chimiquement.

Les émulsions ont été coulées de manière à obtenir théoriquement une masse superficielle M de AgBr égale respectivement à 0,5; 1; 2; 10 g/m^2 pour les émulsions du type 1, 2, 3, 4.

— Les courbes caractéristiques des émulsions sont tracées à partir des densités obtenues en exposant les émulsions derrière un gradin sensitométrique situé à 1 m d'une lampe à ruban de tungstène de 100 watts. Le développement est effectué dans le révélateur Gevaert G 201 pendant 5 minutes à 20°C .

a) Les courbes caractéristiques des émulsions H 1299 à H 1302 sont représentées sur les figures 1 à 4 suivantes :

La figure 1 montre les courbes caractéristiques obtenues pour l'émulsion H 1299.

Les courbes 1, 2, 3 et 4 sont relatives aux émulsions H 1299/1, H 1299/2, H 1299/3, H 1299/4 coulées à raison de 0,5; 1; 2 et 10 g/m^2 de bromure d'argent.

La figure 2 montre les courbes caractéristiques obtenues pour l'émulsion H 1300 coulée à raison de 0,5 (courbe 1), 1 (courbe 2), 2 (courbe 3) et 10 (courbe 4) g/m^2 de bromure d'argent. Il s'agit donc des émulsions H 1300/1, H 1300/2, H 1300/3, H 1300/4.

La figure 3 montre les courbes caractéristiques des émulsions H 1301/1, H 1301/2, H 1301/3, H 1301/4.

La figure 4 montre les courbes caractéristiques des émulsions H 1302/1, H 1302/2, H 1302/3, H 1302/4 mûries jusqu'à la sensibilité maximum et coulées à raison de 0,5; 1; 2 et 10 g/m^2 de bromure d'argent.

Les courbes des figures 1, 2, 3 et 4 montrent clairement la sensibilisation pro-

gressive des émulsions H 1299, H 1300, H 1301 et H 1302. La densité maximum obtenue avec une émulsion coulée à raison d'une certaine quantité M de bromure d'argent par m^2 est toujours approximativement égale à n fois la densité maximum obtenue avec une émulsion coulée à raison de la quantité M/n de bromure d'argent par m^2 . Sur les courbes de la figure 1, par exemple, on constate que la densité maximum obtenue avec l'émulsion H 1299/1 coulée à raison de 0,5 gr/ m^2 de AgBr est égale à 0,2; pour l'émulsion H 1299/2 (1 gr/ m^2 de AgBr), elle est voisine de 0,4; pour l'émulsion H 1299/3 (2 gr/ m^2 de AgBr), elle est voisine de 0,8; enfin, pour l'émulsion H 1299/4 (10 gr/ m^2 de AgBr), la densité maximum est égale à 4. On obtient des résultats similaires pour les courbes des émulsions H 1300, H 1301 et H 1302. La densité maximum obtenue avec ces émulsions est donc approximativement proportionnelle à la masse de bromure d'argent par m^2 coulée sur le support.

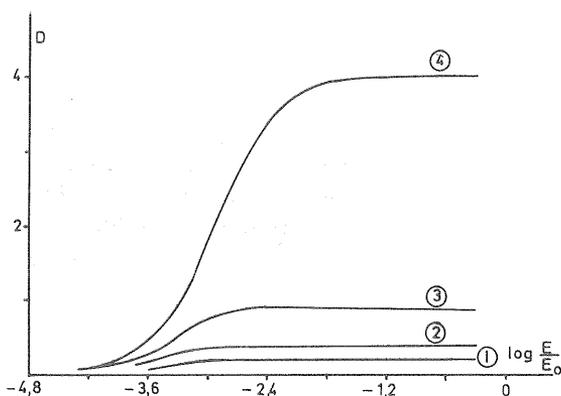


Fig. 1

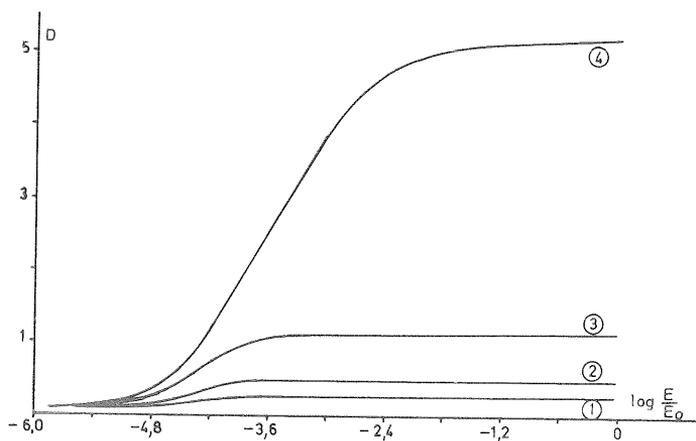


Fig. 2

On note aussi que la densité maximum de l'émulsion est augmentée notablement par la sensibilisation chimique; cependant, le gamma de l'émulsion sensibilisée est inférieur à celui de l'émulsion primitive. Le premier de ces effets indique que l'égalité dimensionnelle des grains s'accompagne néanmoins d'une très grande dispersion de leur sensibilité photographique puisque, dans l'émulsion primitive, environ 30 % des grains ne sont pas développables. Le second effet indique que l'efficacité du sensibilisateur est néanmoins plus grande vis-à-vis des grains de l'émulsion primitive qui sont développables que vis-à-vis de ceux qui ne le sont pas.

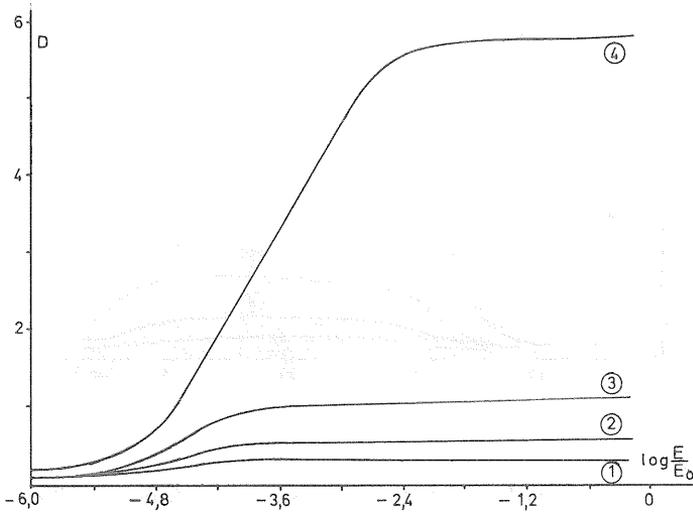


Fig. 3

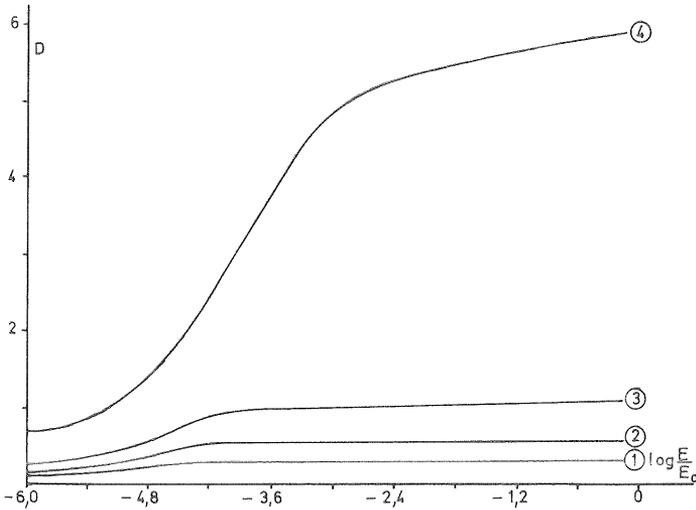


Fig. 4

b) Les courbes caractéristiques des émulsions H 1303 à H 1306 sont représentées sur les figures 5 à 8 suivantes :

La figure 5 montre les courbes caractéristiques obtenues pour l'émulsion H 1303. Les courbes 1, 2, 3, 4 sont relatives aux émulsions H 1303/1, H 1303/2, H 1303/3, H 1303/4.

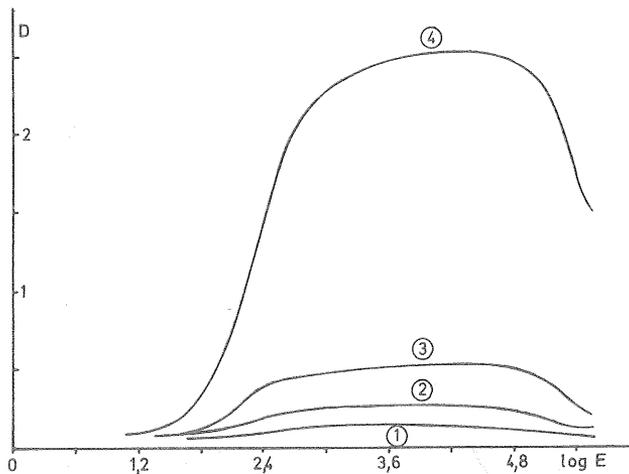


Fig. 5

La figure 6 montre les courbes caractéristiques des émulsions H 1304/1, H 1304/2, H 1304/3, H 1304/4.

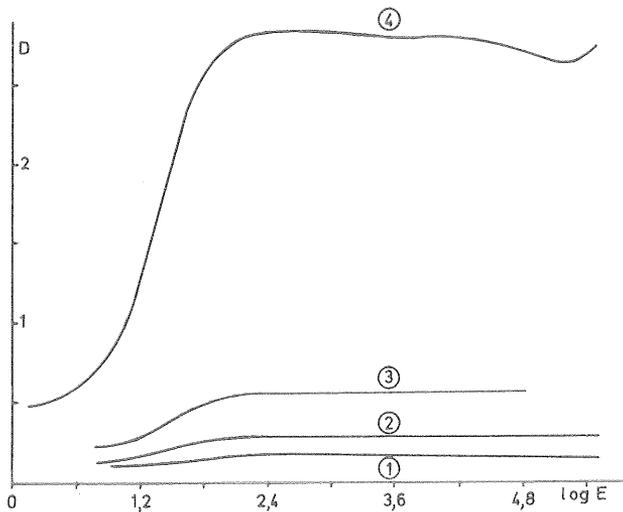


Fig. 6

La figure 7 montre les courbes caractéristiques des émulsions H 1305/1, H 1305/2, H 1305/3, H 1305/4.

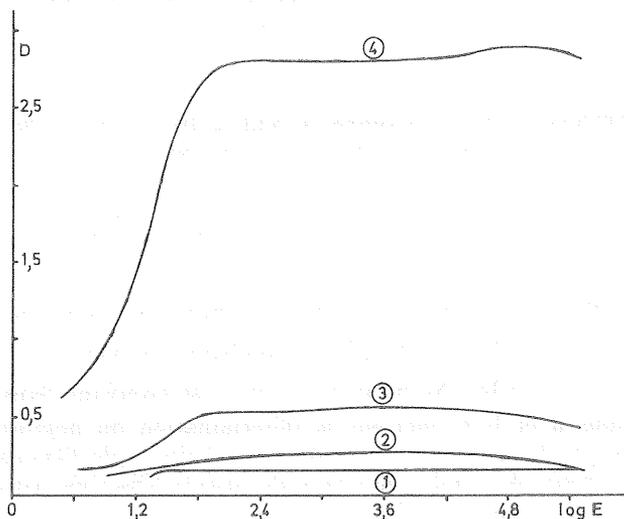


Fig. 7

La figure 8 montre les courbes caractéristiques des émulsions H 1306/1, H 1306/2, H 1306/3, H 1306/4.

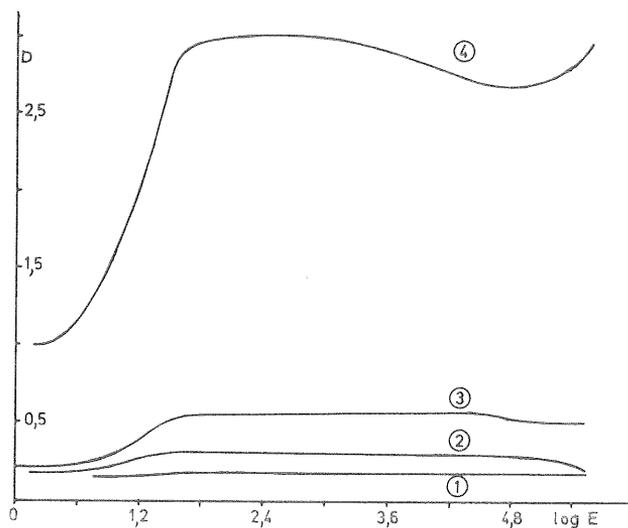


Fig. 8

Les courbes des figures 5 à 8 montrent la sensibilisation progressive des émulsions H 1303 à H 1306. Comme pour les émulsions H 1299 à H 1302, on note également que la densité maximum obtenue avec les émulsions H 1303 à H 1306 est approximativement proportionnelle à la masse de bromure d'argent par m² coulée sur le support et que cette densité maximum augmente avec la sensibilisation chimique.

3. DÉTERMINATION DU NOMBRE MOYEN q DE QUANTA ABSORBÉS PAR UN GRAIN DE L'ÉMULSION

3.1. Principe.

La détermination de la sensibilité quantique d'une émulsion nécessite les opérations suivantes :

- Mesure du coefficient d'absorption A dû aux grains de l'émulsion.
- Détermination du nombre Q_0 de quanta tombant sur une aire S de l'émulsion.
- Détermination du nombre N_0 de grains vierges se trouvant dans l'aire S .

Les opérations a et b permettent la détermination du nombre $Q = AQ_0$ de quanta absorbés par les grains se trouvant dans l'aire S de l'émulsion. Le calcul du rapport Q/N_0 donne le nombre moyen q de quanta absorbés par grain.

3.2. Mesure du coefficient d'absorption A .

3.2.1. Appareillage (fig. 9).

L'échantillon est éclairé par une lampe à vapeur de mercure suivie des filtres Wratten 28, 34 et 38A permettant d'isoler la raie bleue ($\lambda = 0,4358 \mu\text{m}$). Une lentille de 175 mm de distance focale ouverte à $f/23$ projette l'image d'un petit trou source de 1 mm de diamètre, de telle manière que la plage éclairée mesure également 1 mm de diamètre. Ainsi, la directivité du faisceau incident est meilleure que 40', 40' étant le demi-angle du cône formant l'image du trou-source.

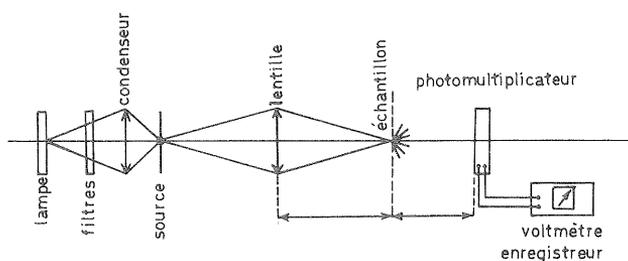


Fig. 9

L'échantillon est placé dans un support qui permet de l'orienter dans les différents plans verticaux passant par l'image du trou-source. Il peut être également incliné en une position quelconque entre la verticale et l'horizontale. La lumière diffusée par l'échantillon est recueillie par un photomultiplicateur muni d'une fenêtre calibrée et située à une distance R de l'échantillon. Le photomultiplicateur peut effectuer une rotation complète de 360° autour de l'échantillon. Un voltmètre

enregistreur permet de mesurer la tension provoquée par l'intensité du courant photoélectrique sur la résistance de charge du photomultiplicateur.

3.2.2. Principe de la mesure.

L'intensité diffusée vers l'avant (en réflexion) est mesurée le long d'un arc de grand cercle situé dans le plan d'incidence du côté de la lumière incidente et centré sur le spot éclairant l'échantillon. Afin de pouvoir mesurer l'intensité réfléchie dans la direction donnée par la loi de Descartes, l'échantillon est tourné de manière que la normale à son plan fasse un angle de quelques degrés avec la direction du faisceau incident.

La lumière diffusée vers l'arrière (en transmission) par l'échantillon est également mesurée le long d'un arc de grand cercle centré sur le spot et contenant dans son plan le rayon transmis obéissant à la loi de Descartes. Dans les mesures de transmission effectuées par H. THIRY [4], la cellule photoélectrique était largement ouverte et placée tout contre l'échantillon de manière à recevoir la plus grande partie du flux traversant l'échantillon. La méthode adoptée ici est plus longue que celle adoptée par H. THIRY; elle conduit néanmoins à une précision légèrement supérieure car on balaye et mesure dans ce cas tout le flux transmis. L'intégration de l'intensité lumineuse diffusée en réflexion et en transmission s'obtient en additionnant les résultats d'environ 300 mesures indépendantes, effectuées d'ailleurs par enregistrement continu. Comme H. THIRY [4], nous admettrons également que la répartition de la lumière diffusée est identique le long de tout arc de grand cercle centré sur le spot et contenant dans son plan le rayon réfléchi ou transmis obéissant à la loi de Descartes. On intègre l'intensité de la lumière diffusée en réflexion sur une demi-sphère centrée sur le spot et l'on en déduit la valeur du coefficient de réflexion I_{RD}/I_0 . On intègre de même l'intensité de la lumière diffusée en transmission sur une demi-sphère et l'on en déduit le coefficient de transmission I_{TD}/I_0 . La lumière réfléchie ainsi que la lumière transmise dans les directions obéissant à la loi de Descartes sont mesurées séparément de la lumière diffusée. Il suffit pour cela d'amener le photomultiplicateur dans ces deux directions et de déterminer les rapports I_R/I_0 et I_T/I_0 (I_0 étant l'intensité de la lumière incidente mesurée sans échantillon). Le coefficient d'absorption de l'échantillon vaut :

$$A = I - T - R$$

avec

$$T = (I_{TD} + I_T)/I_0$$

et

$$R = (I_{RD} + I_R)/I_0$$

Pour vérifier l'hypothèse de la répartition identique de la lumière réfléchie et transmise le long de tout arc de grand cercle centré sur le spot et contenant dans son plan le rayon réfléchi ou transmis obéissant à la loi de Descartes, on réalise le montage représenté sur la figure 10.

Un laser fournit un faisceau de rayons parallèles qui tombe sur l'émulsion testée T. Une lentille concentre dans son plan focal la lumière diffusée par l'émulsion. La plaque photographique reçoit sur toute sa surface la lumière diffusée par l'émulsion testée T et tombant sur la lentille L. L'émulsion de la plaque photographique est grattée et complètement enlevée sur un petit cercle de 4 mm de diamètre centré sur le foyer F' de la lentille L. De cette façon, la lumière intense provoquée par l'image géométrique du faisceau n'est pas enregistrée sur la plaque et ne vient pas

perturber l'enregistrement de la lumière diffusée. Sur la figure 11, on a indiqué, pour l'émulsion H 1302/1, les densités obtenues à intervalles réguliers de 5 mm dans deux directions perpendiculaires centrées sur le point F'. On constate qu'à la même

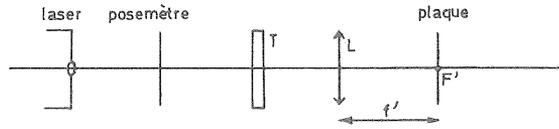


Fig. 10

distance de F', on obtient le même noircissement dans les 4 directions OX, OX', OY, OY'. Un examen plus complet de la plaque photographique indique qu'il en est ainsi pour toute direction oblique par rapport aux précédentes.

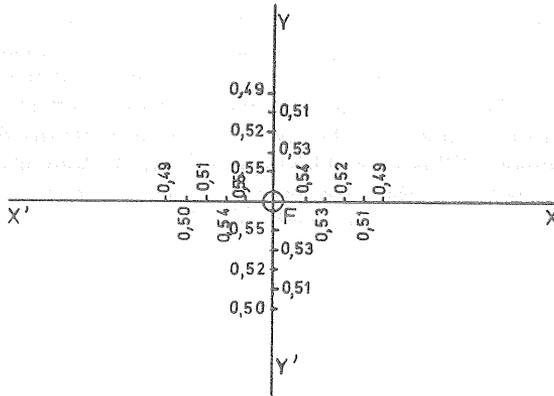


Fig. 11

3.2.3. Résultats des mesures du coefficient d'absorption des grains.

Les résultats obtenus pour les émulsions étudiées sont repris dans le tableau 1.

3.2.4. Conclusions et relations entre l'absorption des émulsions étudiées et les courbes caractéristiques de ces émulsions.

Si l'on examine les résultats obtenus du point de vue de la variation des coefficients R, T et A en fonction de la sensibilisation progressive des émulsions, on constate que la sensibilisation n'influence pas les valeurs trouvées pour R, T et A.

Pour des émulsions coulées à raison de la même quantité de bromure d'argent par m², les valeurs de A sont du même ordre de grandeur et fluctuent aléatoirement en fonction de la sensibilisation des émulsions (voir par exemple, les valeurs de A pour les émulsions H 1299/1, H 1300/1, H 1301/1, H 1302/1 coulées à raison de 0,5 g/m² de AgBr et sensibilisées à des degrés différents).

L'absorption des grains ne dépend donc que de la quantité de bromure d'argent par m² coulée sur le support.

Examinons maintenant les variations des coefficients R et T en fonction de la quantité de AgBr par m² présente dans l'émulsion.

TABLEAU 1

Émulsions	R	T	A
H 1299/1	25 %	66 %	9 %
H 1299/2	29 %	48 %	23 %
H 1299/3	34 %	34 %	32 %
H 1299/4	40 %	7 %	53 %
H 1300/1	26 %	67 %	7 %
H 1300/2	26 %	47 %	27 %
H 1300/3	35 %	34 %	31 %
H 1300/4	41 %	7 %	54 %
H 1301/1	25 %	68 %	7 %
H 1301/2	28 %	43 %	29 %
H 1301/3	36 %	33 %	31 %
H 1301/4	39 %	9 %	52 %
H 1302/1	25 %	68 %	7 %
H 1302/2	29 %	45 %	26 %
H 1302/3	32 %	33 %	35 %
H 1302/4	39 %	7 %	54 %
H 1303/1	11 %	69 %	20 %
H 1303/2	7 %	46 %	47 %
H 1303/3	17 %	26 %	57 %
H 1303/4	23 %	12 %	65 %
H 1304/1	12 %	63 %	25 %
H 1304/2	8 %	49 %	43 %
H 1304/3	19 %	28 %	53 %
H 1304/4	20 %	12 %	68 %
H 1305/1	15 %	75 %	10 %
H 1305/2	7 %	47 %	46 %
H 1305/3	17 %	29 %	54 %
H 1305/4	20 %	10 %	70 %
H 1306/1	15 %	68 %	17 %
H 1306/2	8 %	47 %	45 %
H 1306/3	14 %	27 %	59 %
H 1306/4	18 %	7 %	75 %

En transmission, l'intensité de la lumière diffusée diminue progressivement lorsque la quantité de AgBr par m² augmente. Le coefficient I_T/I_0 donnant l'intensité relative de la lumière transmise dans la direction du faisceau incident diminue également lorsque la quantité de AgBr/m² augmente. Le coefficient T suit évidemment

les mêmes variations que I_T/I_0 et que l'intensité diffusée. Il décroît lorsque la quantité de AgBr/m² augmente.

En réflexion, l'intensité de la lumière diffusée *augmente* progressivement lorsque la quantité de AgBr/m² augmente sauf dans le cas des émulsions H 1303 à H 1306 du type 2.

Finalement, le coefficient d'absorption $A = 1 - T - R$ croît lorsque la quantité de bromure d'argent par m² augmente.

Il est important de remarquer que le coefficient d'absorption A ne croît pas proportionnellement à la masse M de bromure d'argent par m² présente dans l'émulsion.

Par exemple, pour les émulsions H 1299 à H 1302, on constate que si M varie de 0,5 à 1 gr/m², l'absorption est multipliée par 3,9 tandis que le nombre de grains équidimensionnels est doublé; lorsque M varie de 1 à 2 gr/m², l'absorption n'est accrue que de quelques %; si M passe de 1 à 10 gr/m², l'absorption est approximativement doublée.

Pendant, les courbes caractéristiques indiquent que la densité maximum varie d'une manière à peu près proportionnelle à M , que l'émulsion soit sensibilisée ou non. En outre, si l'on compare les courbes caractéristiques dans la région des expositions normales, on constate que, pour des absorptions à peu près égales, la densité obtenue avec $M = 2$ gr/m² est à peu près double de celle correspondant à $M = 1$ gr/m². Par contre, dans la région des expositions normales, les densités correspondant à $M = 10$ gr/m² et $M = 2$ gr/m² sont à peu près dans le rapport des absorptions. On observe encore que l'exposition E pour laquelle D obtient la valeur maximum est d'autant plus grande que M est plus grande.

Ces résultats font état d'une variation complexe de la densité développée en fonction de M , pour une exposition donnée. Un des aspects précédents s'interprète assez simplement : lorsque M passe de 1 à 2 gr/m², pour une exposition donnée, la densité est approximativement doublée pour une absorption approximativement égale; on ne peut expliquer cela qu'en admettant un processus de contagion lors du développement qui, pour un nombre égal de grains vierges ayant absorbé de la lumière, donne lieu à un nombre de grains développés deux fois plus grand pour $M = 2$ que pour $M = 1$. Cet effet de contagion existe aussi si l'on compare les courbes correspondant à $M = 10$ et $M = 2$ dans la région des grandes expositions; en effet, pour une absorption sensiblement double, la densité correspondant à $M = 10$ est plus de 2 fois supérieure à celle correspondant à $M = 2$; mais dans la région des expositions faibles ou normales, les densités correspondant à $M = 10$ et $M = 2$ sont à peu près dans le rapport des absorptions, qu'il s'agisse de l'émulsion primitive ou sensibilisée. Pour les émulsions considérées (H 1299 à H 1302 avec grains cubiques de 0,4 μ m), un effet de contagion important apparaît donc lors du développement quand M est de l'ordre de 2 gr/m²; pour des valeurs de M supérieures, cet effet continue de s'amplifier mais seulement dans le cas d'expositions relativement importantes. Pour les émulsions H 1303 à 1306 (grains cubiques de 0,8 μ m), on obtient des conclusions semblables sur la plupart des points. Il ne semble guère possible actuellement de pousser plus loin la discussion de ces comportements assez complexes.

Il semble évident d'autre part que, dans le processus de développement par contagion, le seul facteur M n'est pas déterminant; l'épaisseur de l'émulsion intervient aussi puisque ces deux paramètres déterminent ensemble la distance moyenne de deux grains. On devrait donc s'attendre à observer une variation de la densité développée, pour une égale exposition et une égale valeur de M , lorsque l'épaisseur

de l'émulsion varie. En outre, il est probable que la nature du révélateur et la durée de son action influencent aussi l'effet de contagion. On se propose de revenir sur ces aspects.

On peut également expliquer la proportionnalité entre la densité maximum et la masse M de bromure d'argent par m^2 par une autre hypothèse.

Le nombre de grains développés N' est égal au nombre de grains vierges N multiplié par la probabilité de développement p . La probabilité p est fonction du nombre de photons absorbés par l'émulsion et de la sensibilité des grains. Ce second facteur ne peut pas entrer en ligne de compte lorsqu'on envisage la même émulsion coulée à raison de différentes quantités de $AgBr$ par m^2 . De plus, les grains de ces émulsions ont la même dimension et on peut donc dire que la probabilité de développement p est uniquement fonction du nombre de photons absorbés. Bien que le coefficient d'absorption A ne varie pas proportionnellement avec la masse M de $AgBr$ par m^2 , on peut supposer qu'après une exposition suffisante, l'émulsion coulée avec la plus grande quantité de $AgBr/m^2$ a finalement reçu le nombre de photons nécessaire pour obtenir la probabilité de développement p fixant la densité maximum. Pour la même exposition, l'émulsion coulée avec la plus petite quantité de $AgBr/m^2$ aura reçu un nombre trop élevé de photons par rapport au nombre nécessaire pour obtenir cette probabilité p mais on peut supposer que ces photons supplémentaires n'agissent plus et ne modifient pas la probabilité de développement p .

Comme la densité est proportionnelle au nombre de grains équidimensionnels développés et que la quantité M de bromure d'argent est proportionnelle au nombre de grains équidimensionnels vierges, la densité maximum sera proportionnelle à M bien que le coefficient d'absorption A ne varie pas proportionnellement avec M .

3.3. Détermination du nombre Q_0 de quanta incidents.

La méthode suivie est celle indiquée par H. THIRY [4].

La mesure absolue de l'éclairement est faite à l'aide d'une thermopile étalonnée (thermopile de Hilger). Le rayonnement provient d'une lampe à vapeur de mercure et à haute pression filtrée très soigneusement afin d'éliminer tout rayonnement infrarouge et ultraviolet (filtres Wratten 2B, 34, 38A et 2 filtres absorbant les radiations infrarouges). La radiation sélectionnée pour les mesures d'absorption est la radiation bleue de longueur d'onde λ égale à $0,4358 \mu m$. Les mesures de l'éclairement ont donné le résultat final suivant : $E = (1,1 \pm 0,2) W/m^2$, soit $(2,4 \pm 0,4) 10^{14}$ quanta/sec. cm^2 . Les expositions étant effectuées à travers un filtre gris neutre de densité égale à $2,877$ (densité mesurée dans les conditions d'utilisation), le nombre Q_0 de quanta tombant par seconde sur une aire S , égale à $1 cm^2$, de l'émulsion est égal à : $Q_0 = (3,2 \pm 0,5) 10^{11}$ quanta/sec. cm^2 .

3.4. Détermination du nombre N_0 de grains vierges.

Deux méthodes sont utilisées.

1° On prend des microphotographies d'une émulsion vierge très diluée ($0,01 g/m^2$ de $AgBr$). La masse superficielle de $AgBr$ est alors suffisamment petite pour qu'il y ait très peu de grains assemblés. On examine plusieurs microphotographies obtenues par mise au point sur des plans situés à différentes profondeurs dans l'émulsion et on compte, sur chaque microphotographie, le nombre de grains se trouvant sur une plage d'aire S' égale à $50 cm^2$.

Comme le grandissement linéaire du système optique utilisé pour prendre les

microphotographies est égal à 1000, une plage d'aire S' de la microphotographie, égale à 50 cm^2 , correspond à une aire S de l'émulsion égale à $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2$ et on peut ainsi calculer le nombre N_0 de grains vierges se trouvant sur un cm^2 de l'émulsion très diluée ($0,01 \text{ g/m}^2$). D'autre part, comme le nombre de grains vierges se trouvant sur une aire S d'une émulsion est proportionnel à la masse superficielle de AgBr coulée sur le support de l'émulsion, on peut calculer facilement N_0 pour les diverses émulsions étudiées.

2° On dispose, pour les émulsions étudiées, des courbes de distribution des grains en fonction de la longueur d de leurs côtés. Ces courbes sont obtenues en mesurant la dimension des grains sur des microphotographies électroniques et elles permettent de calculer le volume moyen $v = \bar{d}^3$ et la masse moyenne $m = \rho \cdot v$ d'un grain de l'émulsion (ρ étant la masse volumique du AgBr). Connaissant, pour chaque émulsion, la masse superficielle M (en g/cm^2) de AgBr coulée sur le support de l'émulsion, on peut calculer le nombre $N_0 = M/m$ de grains vierges se trouvant sur un cm^2 de chaque émulsion. Les valeurs adoptées pour N_0 sont reprises dans le tableau 2.

TABLEAU 2

Émulsions	N_0 (valeurs adoptées)	Émulsions	N_0 (valeurs adoptées)
H 1299/1	$1,89 \cdot 10^8$ grains/cm ²	H 1303/1	$3,32 \cdot 10^7$ grains/cm ²
H 1299/2	$3,69 \cdot 10^8$ »	H 1303/2	$6,41 \cdot 10^7$ »
H 1299/3	$8,07 \cdot 10^8$ »	H 1303/3	$1,26 \cdot 10^8$ »
H 1299/4	$4,16 \cdot 10^9$ »	H 1303/4	$6,72 \cdot 10^8$ »
H 1300/1	$1,71 \cdot 10^8$ »	H 1304/1	$3,39 \cdot 10^7$ »
H 1300/2	$3,55 \cdot 10^8$ »	H 1304/2	$6,25 \cdot 10^7$ »
H 1300/3	$8,30 \cdot 10^8$ »	H 1304/3	$5,24 \cdot 10^8$ »
H 1300/4	$4,20 \cdot 10^9$ »	H 1304/4	$6,85 \cdot 10^8$ »
H 1301/1	$1,89 \cdot 10^8$ »	H 1305/1	$3,32 \cdot 10^7$ »
H 1301/2	$3,69 \cdot 10^8$ »	H 1305/2	$5,96 \cdot 10^7$ »
H 1301/3	$7,62 \cdot 10^8$ »	H 1305/3	$1,30 \cdot 10^8$ »
H 1301/4	$4,22 \cdot 10^9$ »	H 1305/4	$6,78 \cdot 10^8$ »
H 1302/1	$1,98 \cdot 10^8$ »	H 1306/1	$3,32 \cdot 10^7$ »
H 1302/2	$3,92 \cdot 10^8$ »	H 1306/2	$6,33 \cdot 10^7$ »
H 1302/3	$6,92 \cdot 10^8$ »	H 1306/3	$1,24 \cdot 10^8$ »
H 1302/4	$4,16 \cdot 10^9$ »	H 1306/4	$6,98 \cdot 10^8$ »

3.5. Mode d'exposition.

Afin de disposer d'un éclairage suffisant auquel la thermopile puisse répondre (voir paragraphe 3, détermination de Q_0), la source lumineuse utilisée est une lampe à vapeur de mercure et à haute pression. On sélectionne la radiation bleue de longueur d'onde λ égale à $0,4358 \mu\text{m}$. La durée d'exposition est variée de 10^{-2} à 10^2 sec par un secteur tournant muni d'une échancrure de largeur réglable; au-delà de 10^2 sec, les durées d'exposition sont mesurées à l'aide du chronomètre. Les expositions sont effectuées de la manière suivante : on fixe a priori une densité D_i au-dessus du voile

et, pour *chaque* émulsion (H 1299 à H 1306) du type 4 (c'est-à-dire coulée à raison de 10 g/m² de AgBr), on détermine la durée d'exposition Δt nécessaire pour obtenir une image ayant la densité D_i fixée; ensuite, les émulsions correspondantes du type 3, 2, 1 sont exposées pendant la même durée d'exposition Δt déterminée ci-avant. Par exemple, on détermine, pour l'émulsion H 1299/4, la durée d'exposition Δt_1 nécessaire pour obtenir une image de densité au-dessus du voile égale à 0,1 et on expose les émulsions H 1299/3, H 1299/2, H 1299/1 pendant la même durée d'exposition Δt_1 ; ensuite, on détermine, pour l'émulsion H 1300/4, la durée d'exposition Δt_2 nécessaire pour obtenir une image de densité au-dessus du voile égale à 0,1 et on expose les émulsions H 1300/3, H 1300/2, H 1300/1 pendant la même durée d'exposition Δt_2 ; on procède de la même manière pour les émulsions H 1301 et H 1302. Éventuellement, on peut reprendre quelques séries de mesures en fixant diverses valeurs de la densité au-dessus du voile.

3.6. Résultats.

Connaissant le coefficient d'absorption A de chaque émulsion et le nombre Q_0 de quanta tombant par seconde sur 1 cm² de l'émulsion, on peut calculer le nombre $Q' = A Q_0$ de quanta *absorbés* par seconde, par 1 cm² de l'émulsion. La durée d'exposition Δt étant déterminée pour obtenir une image ayant une densité D_i au-dessus du voile fixée, on peut calculer également le nombre $Q = Q' \Delta t$ de quanta *absorbés* pendant la durée d'exposition, par un cm² de l'émulsion. Le nombre *moyen* q de quanta absorbés par un grain de l'émulsion est obtenu en calculant le rapport Q/N_0 , N_0 étant le nombre de grains vierges présents sur 1 cm² de l'émulsion. Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau 3 pour les émulsions H 1299 à H 1302 et sur le tableau 5 pour les émulsions H 1303 à H 1306. On donne, dans le tableau 4, quelques résultats partiels obtenus avec les émulsions H 1299 à H 1302. On constate que le nombre moyen de quanta absorbés pour obtenir une densité D au-dessus de voile égale à 0,1 est plus grand pour les émulsions à gros grains (H 1303 à H 1306) que pour les émulsions à grains fins (H 1299 à H 1302).

4. DÉTERMINATION DE LA PROBABILITÉ DE DÉVELOPPEMENT D'UN GRAIN D'UNE ÉMULSION PAR COMPTAGE DU NOMBRE N DE GRAINS DÉVELOPPÉS SE TROUVANT SUR UNE AIRE S D'UNE IMAGE DE FAIBLE DENSITÉ OBTENUE AVEC CETTE ÉMULSION. ESTIMATION DU NOMBRE MINIMUM r^* DE QUANTA NÉCESSAIRES POUR RENDRE UN GRAIN DÉVELOPPABLE

Si la densité d'une image photographique est suffisamment petite pour qu'il y ait très peu d'amas de grains, on peut compter le nombre N de grains développés présents sur une aire S de l'émulsion développée, en prenant des microphotographies de cette émulsion. En pratique, il n'est pas possible d'effectuer le comptage des grains lorsque la densité de l'image est supérieure à 0,1. La méthode suivie pour le comptage est la même que celle décrite ci-avant dans la première méthode de détermination de N_0 (paragraphe 3.4). Pour les émulsions H 1299/4, H 1299/3 et H 1299/2 exposées de manière à obtenir des densités égales respectivement à 0,1, 0,03 et 0,02, il a été possible de compter le nombre de grains développés N présents sur une aire S de l'image. Connaissant N , on peut obtenir la probabilité p de développement d'un grain en calculant le rapport N/N_0 . Cette probabilité p dépend de l'exposition lumineuse, du seuil de sensibilité des grains, de la distribution en sensibilité des grains, des conditions de développement etc. Les résultats obtenus sont indiqués sur le tableau 6.

TABLEAU 3

Émulsions H 1299 à H 1302 — Densité fixée à 0,1 au-dessus du voûe pour les émulsions du type 4

Émulsions	D (densité de l'image)	Q' (quanta/ sec. cm ²)	Δt(s)	Q (quanta/cm ²)	N ₀ (grains/cm ²)	q
H 1302/4	0,1	1,72.10 ¹¹	0,067	1,15.10 ¹⁰	4,16.10 ⁹	2,76
H 1302/3	0,03	1,12.10 ¹¹	0,067	0,750.10 ¹⁰	6,92.10 ⁸	10,8
H 1302/2	0,02	0,819.10 ¹¹	0,067	0,549.10 ¹⁰	3,92.10 ⁸	14
H 1302/1	non mesurable	0,221.10 ¹¹	0,067	0,148.10 ¹⁰	1,98.10 ⁸	7,47
H 1301/4	0,1	1,66.10 ¹¹	0,10	1,66.10 ¹⁰	4,22.10 ⁹	3,93
H 1301/3	0,03	1,00.10 ¹¹	0,10	1,00.10 ¹⁰	7,62.10 ⁸	13,1
H 1301/2	0,02	0,925.10 ¹¹	0,10	0,925.10 ¹⁰	3,69.10 ⁸	25
H 1301/1	non mesurable	0,211.10 ¹¹	0,10	0,211.10 ¹⁰	1,89.10 ⁸	11,2
H 1300/4	0,1	1,68.10 ¹¹	0,10	1,68.10 ¹⁰	4,20.10 ⁹	4
H 1300/3	0,03	1,00.10 ¹¹	0,10	1,00.10 ¹⁰	8,30.10 ⁸	12
H 1300/2	0,02	0,864.10 ¹¹	0,10	0,864.10 ¹⁰	3,55.10 ⁸	24,3
H 1300/1	non mesurable	0,218.10 ¹¹	0,10	0,218.10 ¹⁰	1,71.10 ⁸	12,7
H 1299/4	0,1	1,68.10 ¹¹	0,81	1,36.10 ¹¹	4,16.10 ⁹	32,7
H 1299/3	0,03	1,03.10 ¹¹	0,81	0,834.10 ¹¹	8,07.10 ⁸	103
H 1299/2	0,02	0,742.10 ¹¹	0,81	0,601.10 ¹¹	3,69.10 ⁸	163
H 1299/1	non mesurable	0,272.10 ¹¹	0,81	0,220.10 ¹¹	1,89.10 ⁸	116

TABLEAU 4

I. *Émulsion H 1299. Densité fixée à 1,20 au-dessus du voile pour l'émulsion H 1299/4.*

Émulsions	D	Q'	Δt	Q	N _o	q
H 1299/4	1,20	1,68.10 ¹¹	3	5,04.10 ¹¹	4,16.10 ⁹	121
H 1299/3	0,40	1,03.10 ¹¹	3	3,09.10 ¹¹	8,07.10 ⁸	383
H 1299/2	0,18	0,742.10 ¹¹	3	2,23.10 ¹¹	3,69.10 ⁸	604
H 1299/1	0,04	0,272.10 ¹¹	3	0,816.10 ¹¹	1,89.10 ⁸	432

II. *Émulsion H 1300. Densité fixée à 0,77 au-dessus du voile pour l'émulsion H 1300/4.*

H 1300/4	0,77	1,68.10 ¹¹	0,32	0,538.10 ¹¹	4,20.10 ⁹	12,8
H 1300/3	0,26	1,00.10 ¹¹	0,32	0,32.10 ¹¹	8,30.10 ⁸	38,6
H 1300/2	0,15	0,864.10 ¹¹	0,32	0,276.10 ¹¹	3,55.10 ⁸	77,7
H 1300/1	0,03	0,218.10 ¹¹	0,32	0,698.10 ¹⁰	1,71.10 ⁸	40,8

III. *Émulsion H 1301. Densité fixée à 0,79 au-dessus du voile pour l'émulsion H 1301/4.*

H 1301/4	0,79	1,66.10 ¹¹	0,32	0,531.10 ¹¹	4,22.10 ⁹	12,6
H 1301/3	0,26	1,00.10 ¹¹	0,32	0,32.10 ¹¹	7,62.10 ⁸	42
H 1301/2	0,12	0,925.10 ¹¹	0,32	0,296.10 ¹¹	3,69.10 ⁸	80,2
H 1301/1	0,04	0,211.10 ¹¹	0,32	0,675.10 ¹⁰	1,89.10 ⁸	35,7

IV. *Émulsion H 1301. Densité fixée à 2,17 au-dessus du voile pour l'émulsion H 1301/4.*

H 1301/4	2,17	1,66.10 ¹¹	1	1,66.10 ¹¹	4,22.10 ⁹	39,3
H 1301/3	0,63	1,00.10 ¹¹	1	1,00.10 ¹¹	7,62.10 ⁸	131
H 1301/2	0,29	0,925.10 ¹¹	1	0,925.10 ¹¹	3,69.10 ⁸	251
H 1301/1	0,16	0,211.10 ¹¹	1	0,211.10 ¹¹	1,89.10 ⁸	112

V. *Émulsion H 1302. Densité fixée à 0,55 au-dessus du voile pour l'émulsion H 1302/4.*

H 1302/4	0,55	1,72.10 ¹¹	0,32	0,550.10 ¹¹	4,16.10 ⁹	13,2
H 1302/3	0,30	1,12.10 ¹¹	0,32	0,358.10 ¹¹	6,92.10 ⁸	51,7
H 1302/2	0,11	0,819.10 ¹¹	0,32	0,262.10 ¹¹	3,92.10 ⁸	66,8
H 1302/1	0,10	0,221.10 ¹¹	0,32	0,707.10 ¹⁰	1,98.10 ⁸	35,7

TABLEAU 5

Émulsions H 1303 à H 1306. Densité fixée à 0,1 au-dessus du voile pour les émulsions du type 4

Émulsions	D (densité de l'image)	Q' (quanta/sec. cm ²)	Δt(s)	Q (quanta/cm ²)	N ₀ (grains/cm ²)	q
H 1306/4	0,1	2,4.10 ¹¹	0,034	8,16.10 ⁹	6,98.10 ⁸	12
H 1306/3	0,05	1,89.10 ¹¹	0,034	6,43.10 ⁹	1,24.10 ⁸	52
H 1306/2	0,02	1,44.10 ¹¹	0,034	4,90.10 ⁹	6,33.10 ⁷	77
H 1306/1	non mesurable	0,54.10 ¹¹	0,034	1,84.10 ⁹	3,32.10 ⁷	55
H 1305/4	0,1	2,24.10 ¹¹	0,068	1,52.10 ¹⁰	6,78.10 ⁸	22
H 1305/3	0,05	1,73.10 ¹¹	0,068	1,18.10 ¹⁰	1,30.10 ⁸	91
H 1305/2	0,02	1,47.10 ¹¹	0,068	1,00.10 ¹⁰	5,96.10 ⁷	168
H 1305/1	non mesurable	0,32.10 ¹¹	0,068	2,18.10 ⁹	3,32.10 ⁷	66
H 1304/4	0,1	2,18.10 ¹¹	0,068	1,48.10 ¹⁰	6,85.10 ⁸	22
H 1304/3	0,05	1,7.10 ¹¹	0,068	1,16.10 ¹⁰	1,24.10 ⁸	94
H 1304/2	0,02	1,38.10 ¹¹	0,068	9,38.10 ⁹	6,25.10 ⁷	150
H 1304/1	non mesurable	0,8.10 ¹¹	0,068	5,44.10 ⁹	3,39.10 ⁷	160
H 1303/4	0,1	2,08.10 ¹¹	0,17	3,54.10 ¹⁰	6,72.10 ⁸	53
H 1303/3	0,05	1,82.10 ¹¹	0,17	3,09.10 ¹⁰	1,26.10 ⁸	245
H 1303/2	0,02	1,5.10 ¹¹	0,17	2,55.10 ¹⁰	6,41.10 ⁷	408
H 1303/1	non mesurable	0,64.10 ¹¹	0,17	1,09.10 ¹⁰	3,32.10 ⁷	328

TABLEAU 6

Émulsions	N (nombre de grains développés par cm ²)	N ₀ (nombre de grains vierges par cm ²)	p (probabilité de développement)
H 1299/4	1,13.10 ⁷	4,16.10 ⁹	0,00271
H 1299/3	7,2.10 ⁶	8,07.10 ⁸	0,00892
H 1299/2	6,56.10 ⁶	3,69.10 ⁸	0,0178

Le nombre N indiqué sur le tableau 6 est une valeur moyenne calculée à partir des mesures effectuées sur 6 microphotographies.

Pour les autres émulsions (H 1300 à 1302), le comptage des grains développés n'est pas possible car le voile de ces émulsions n'est pas négligeable; dans ce cas, une exposition lumineuse créant une image discernable du voile donne une densité trop élevée (supérieure à 0,1) pour permettre le comptage des grains développés.

Connaissant la probabilité de développement p d'un grain d'une émulsion et le nombre moyen de quanta absorbés par un grain de cette même émulsion, on peut, sous certaines hypothèses, déterminer le nombre r^* de quanta nécessaires pour rendre un grain développable. Si l'on suppose que tous les grains de l'émulsion ont les mêmes dimensions et le même seuil de sensibilité, le calcul de la probabilité p fait intervenir uniquement la distribution aléatoire des quanta tombant sur la plaque. Si la source lumineuse utilisée est une source thermique habituelle composée d'un grand nombre d'émetteurs indépendants, on peut admettre que la distribution des quanta tombant sur la plaque est une distribution de Poisson. Par conséquent, pour q quanta absorbés en moyenne par un grain vierge, la probabilité pour un grain d'absorber r quanta est donnée par la loi :

$$P(r) = \frac{q^r}{r!} e^{-q} \quad (1)$$

En supposant que *tous* les grains sont développables après absorption du nombre minimum r^* de quanta, la probabilité de développement p est donnée par l'égalité :

$$p = \sum_{r=r^*}^{\infty} \frac{q^r}{r!} e^{-q} \quad (2)$$

Connaissant la valeur de q , on peut trouver dans les tables la valeur de r^* qui donne, après calcul de la relation (2), une probabilité p connue. Pour l'émulsion H 1299/4, on a trouvé $r^* = 51$ pour $q = 33$ et $p = 0,00271$; de même, pour l'émulsion H 1299/3, on a trouvé $r^* = 125$ pour $q = 100$ et $p = 0,00892$; pour l'émulsion H 1299/2, on n'a pas trouvé la valeur de r^* dans les tables, la valeur de q étant trop élevée (163).

L'émulsion H 1299/4 est une émulsion d'épaisseur assez grande puisque coulée à raison d'une quantité notable de AgBr (10 g/m²); dans ce cas, l'émulsion peut être considérée comme formée d'une série de couches élémentaires superposées et la couche élémentaire supérieure reçoit un beaucoup plus grand nombre de quanta que la couche élémentaire inférieure. Par conséquent, le résultat obtenu pour l'émulsion H 1299/4 est beaucoup moins significatif que celui obtenu pour l'émulsion H 1299/3.

A partir des courbes caractéristiques, on constate que l'émulsion H 1302 sensibilisée à l'optimum est environ 30 fois plus sensible que l'émulsion H 1299 qui n'est pas sensibilisée. En admettant que r^* est égal à 125 pour l'émulsion H 1299, on en déduit que r^* est égal à 4,2 environ pour l'émulsion H 1302. On peut donc conclure qu'un grain de l'émulsion H 1302 sensibilisée à l'optimum doit absorber au minimum 4 quanta environ pour devenir développable dans des conditions normales de développement.

5. CALCUL DE L'INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE DIFFUSÉE EN RÉFLEXION, DIFFUSÉE EN TRANSMISSION ET ABSORBÉE PAR UNE ÉMULSION ÉPAISSE COMPOSÉE D'UN CERTAIN NOMBRE DE COUCHES ÉLÉMENTAIRES SUPERPOSÉES

5.1. Introduction.

Les mesures de l'intensité de la lumière diffusée en réflexion, diffusée en transmission et absorbée par des émulsions coulées à raison de diverses quantités par m^2 de AgBr révèlent un comportement très différent de ces émulsions. Le facteur d'absorption A augmente d'abord très rapidement lorsque la masse superficielle M de AgBr coulée sur le support passe de la valeur $0,5 \text{ g/m}^2$ à la valeur 1 g/m^2 ; ensuite, A croît beaucoup plus lentement lorsque M varie entre les valeurs 1 g/m^2 et 10 g/m^2 . C'est pourquoi il nous a paru intéressant d'étudier le problème théoriquement en supposant des émulsions constituées par n couches élémentaires superposées. Dans la suite, nous examinerons successivement les cas $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ et $n = 4$.

5.2. Calcul théorique.

1° $n = 1$.

C'est le cas d'une émulsion monocouche (fig. 12). Si Q_0 représente le nombre de quanta tombant sur l'émulsion, on a évidemment les 4 relations suivantes :

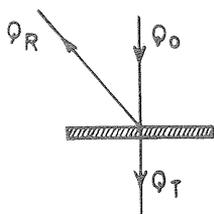


Fig. 12

$$Q_R = \rho Q_0$$

$$Q_T = \tau Q_0$$

$$Q_A = \alpha Q_0$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Q_R étant le nombre de quanta réfléchis, Q_T le nombre de quanta transmis et Q_A le nombre de quanta absorbés par l'émulsion. ρ , τ et α sont respectivement les facteurs de réflexion, de transmission et d'absorption de l'émulsion monocouche. Q_R comprend les quanta diffusés vers l'avant (en réflexion) et ceux réfléchis dans la direction obéissant à la loi de Descartes. De même, Q_T comprend les quanta

diffusés vers l'arrière (en transmission) et ceux transmis dans la direction obéissant à la loi de Descartes.

2° $n = 2$.

Pour déterminer la valeur de Q_R , on procède de la manière suivante : sur la figure 13, on peut voir que le rayon (1) a subi une seule réflexion (sur la couche 1), le rayon (2) a subi 1 réflexion (sur la couche 2) et 2 transmissions (à travers la

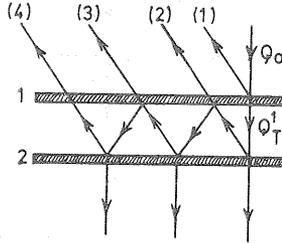


Fig. 13

couche 1), le rayon (3) a subi trois réflexions (deux sur la couche 2 et une sur la couche 1) et deux transmissions (à travers la couche 1), le rayon (4) a subi 5 réflexions et deux transmissions et ainsi de suite. On a donc :

$$\begin{aligned}
 Q_R &= \rho Q_0 + \rho \tau^2 Q_0 + \rho^3 \tau^2 Q_0 + \rho^5 \tau^2 Q_0 + \dots \\
 &= \rho Q_0 [1 + \tau^2(1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots)] \\
 &= \rho Q_0 \left(1 + \frac{\tau^2}{1 - \rho^2}\right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

On peut calculer de la même manière les valeurs de Q_T , Q_{A1} (nombre de quanta absorbés par la couche 1) et Q_{A2} (nombre de quanta absorbés par la couche 2); Q_A (nombre total de quanta absorbés) est égal à la somme de Q_{A1} et Q_{A2} . On obtient donc :

$$\begin{aligned}
 Q_T &= \tau^2 Q_0 + \rho^2 \tau^2 Q_0 + \rho^4 \tau^2 Q_0 + \dots \\
 &= \tau^2 Q_0 (1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots) \\
 &= \frac{\tau^2 Q_0}{1 - \rho^2} \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{A1} &= \alpha Q_0 + \alpha \rho \tau Q_0 + \alpha \rho^3 \tau Q_0 + \dots \\
 &= \alpha Q_0 [1 + \rho \tau (1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots)] \\
 &= \alpha Q_0 \left(1 + \frac{\rho \tau}{1 - \rho^2}\right) \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{A2} &= \alpha \tau Q_0 + \alpha \tau \rho^2 Q_0 + \alpha \tau \rho^4 Q_0 + \dots \\
 &= \alpha \tau Q_0 (1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots) \\
 &= \frac{\alpha \tau Q_0}{1 - \rho^2} \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_A &= Q_{A1} + Q_{A2} \\
 &= \alpha Q_0 \left(1 + \frac{\tau}{1 - \rho}\right) \quad (7)
 \end{aligned}$$

On peut vérifier facilement que $Q_A + Q_R + Q_T = Q_0$; Q_A , Q_R et Q_T étant donnés respectivement par les relations (7), (3) et (4). Dans la suite, de manière à

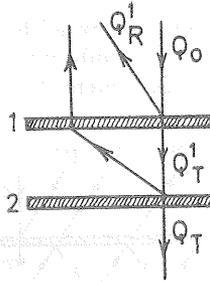


Fig. 14

simplifier le schéma de la figure 13, on ne représentera plus les rayons correspondant aux réflexions multiples entre les deux couches et on obtient ainsi le schéma de la figure 14.

3° $n = 3$.

Dans ce cas, le schéma simplifié est celui de la figure 15. Comme pour le schéma de la figure 14, les réflexions multiples entre les couches 1 et 2 et celles

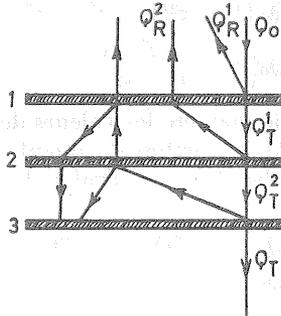


Fig. 15

entre les couches 2 et 3 ne sont pas représentées. Le calcul des valeurs de Q_R , Q_T et Q_A est trop long pour être détaillé complètement et nous donnerons seulement les résultats :

$$Q_R = \rho Q_0 \left(1 + \frac{\tau^2}{X} + \frac{\tau^4}{X(X^2 - \rho^2 \tau^2)} \right) \quad (8)$$

$$Q_T = \frac{\tau^3 Q_0}{X^2 - \rho^2 \tau^2} \quad (9)$$

$$Q_{A1} = \alpha Q_0 \left(1 + \frac{\rho \tau}{X} + \frac{\rho \tau^3}{X(X^2 - \rho^2 \tau^2)} \right) \quad (10)$$

$$Q_{A2} = \frac{\alpha \tau Q_0}{X} \left(1 + \frac{\rho \tau}{X - \rho \tau} \right) \quad (11)$$

$$Q_{A3} = \frac{\alpha\tau^2 Q_0}{X^2 - \rho^2\tau^2} \quad (12)$$

$$Q_A = \alpha Q_0 \left(1 + \frac{\tau}{1 - \rho} + \frac{\tau^2}{(1 - \rho)(X - \rho\tau)} \right) \quad (13)$$

Dans toutes ces formules, on a posé : $X = 1 - \rho^2$.

On peut vérifier que la relation $Q_A + Q_R + Q_T = Q_0$ est satisfaite pour les valeurs de Q_A , Q_R et Q_T données respectivement par les expressions (13), (8) et (9).

4° $n = 4$.

Le schéma simplifié est celui de la figure 16. Le calcul complet des valeurs de Q_R , Q_T et Q_A est très long et difficile. Toutefois, on peut obtenir plus facilement

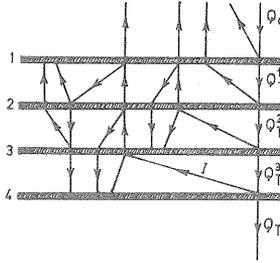


Fig. 16

les résultats par un artifice qui consiste à considérer le rayon I de la figure 16 (cas $n = 4$) comme jouant le même rôle que le rayon Q_0 de la figure 15 (cas $n = 3$) et à utiliser les résultats obtenus pour le cas $n = 3$ (relations 8 à 13). En procédant de cette manière, on obtient les résultats suivants :

$$Q_R = \rho Q_0 \left[1 + \frac{\tau^2}{X} + \frac{\tau^4}{XY} + \frac{\tau^6 X}{Y(Y^2 - \rho^2\tau^4)} \right] \quad (14)$$

$$Q_T = \frac{\tau^4 X Q_0}{Y^2 - \rho^2\tau^4} \quad (15)$$

$$Q_{A1} = \alpha Q_0 \left[1 + \frac{\rho\tau}{X} + \frac{\rho\tau^3}{XY} + \frac{\rho\tau^5 X}{Y(Y^2 - \rho^2\tau^4)} \right] \quad (16)$$

$$Q_{A2} = \frac{\alpha\tau}{X} Q_0 \left[1 + \frac{\rho\tau}{X - \rho\tau} + \frac{\rho\tau^3 X^2}{(X - \rho\tau)(Y^2 - \rho^2\tau^4)} \right] \quad (17)$$

$$Q_{A3} = \frac{\alpha\tau^2 Q_0}{Y} \left[1 + \frac{\rho\tau [Y(X + \rho\tau) + \rho\tau^3]}{Y^2 - \rho^2\tau^4} \right] \quad (18)$$

$$Q_{A4} = \frac{\alpha\tau^3 X Q_0}{Y^2 - \rho^2\tau^4}$$

$$Q_A = \alpha Q_0 \left[1 + \frac{\tau}{1 - \rho} + \frac{\tau^2}{(1 - \rho)(X - \rho\tau)} + \frac{\tau^3 X(X + \rho X + \rho\tau^2)}{(X - \rho\tau)(Y^2 - \rho^2\tau^4)} \right] \quad (19)$$

Dans toutes ces formules, on a posé $X = 1 - \rho^2$ et $Y = X^2 - \rho^2\tau^2$. On peut vérifier que la relation $Q_A + Q_R + Q_T = Q_0$ est satisfaite pour les valeurs de Q_A , Q_R et Q_T données respectivement par les expressions (19), (14) et (15).

5.3. Applications numériques.

En fixant les valeurs de ρ , τ et α (facteurs de réflexion, de transmission et d'absorption d'une émulsion monocouche), on peut calculer, à partir des relations établies ci-dessus, les valeurs de $A_i = \frac{Q_{Ai}}{Q_0}$ (facteur d'absorption de la couche i de l'émulsion), $A = Q_A/Q_0$ (facteur d'absorption de l'émulsion), $R = Q_R/Q_0$ (facteur de réflexion) et $T = Q_T/Q_0$ (facteur de transmission de l'émulsion). Dans le tableau 7 sont indiqués les résultats obtenus pour les valeurs suivantes des facteurs ρ , τ et α : $\rho = 25 \%$, $\tau = 65 \%$ et $\alpha = 10 \%$.

TABLEAU 7

	A_1	A_2	A_3	A_4	A	R	T
cas $n = 1$	10 %	—	—	—	10 %	25 %	65 %
cas $n = 2$	11,73 %	6,93 %	—	—	18,67 %	36,27 %	45,06 %
cas $n = 3$	12,54 %	8,39 %	4,96 %	—	25,94 %	41,85 %	32,21 %
cas $n = 4$	12,98 %	9,14 %	6,09 %	3,60 %	31,87 %	44,75 %	23,38 %

5.4. Conclusions.

Les résultats numériques repris dans le tableau 7 montrent que le facteur d'absorption A croît lorsque n passe de la valeur 1 à la valeur 4, c'est-à-dire lorsque la masse superficielle M de AgBr coulée sur le support de l'émulsion augmente; on constate cependant que la différence d'absorption, calculée pour deux valeurs successives de n , diminue lorsque n augmente. Par exemple, entre $n = 2$ et $n = 1$, on a une différence d'absorption de 8,67 %; entre $n = 3$ et $n = 2$, la différence vaut 7,27 %, et entre $n = 4$ et $n = 3$, elle vaut 5,93 %. On peut donc conclure que, pour des valeurs élevées de n , le facteur d'absorption A croît très lentement lorsque la masse superficielle M de AgBr coulée sur le support de l'émulsion augmente.

Cette conclusion est conforme aux mesures ci-avant. Lorsque la masse superficielle M n'a pas une valeur suffisante pour former une émulsion monocouche complète (cas $n = 1$), les formules établies ci-dessus ne sont pas applicables et il est probable que, dans ce cas, le facteur d'absorption A augmente assez rapidement lorsque M croît car la surface du support est alors progressivement couverte par les grains de l'émulsion.

RÉFÉRENCES

- [1] WEBB, J. H., *J. Opt. Soc. Am.*, **38**, 312, 1948.
- [2] FARNELL, G. C. and CHANTER, J. B., *J. Phot. Sci.*, **9**, 73, 1961.
- [3] MARRIAGE, A., *J. Phot. Sci.*, **9**, 93, 1961.
- [4] THIRY, H., *Phot. Sc. and Eng.*, **13**, 3, 1969.