

NOTAS DE FÍSICA
VOLUME VII
Nº 2

CINÉTIQUE DU DÉVELOPPEMENT DES TRACES AU
MINIMUM DANS LES ÉMULSIONS NUCLÉAIRES

by

H. G. de Carvalho et A. G. da Silva

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS
AV. WENCESLAU BRAZ, 71
RIO DE JANEIRO
1960

CINÉTIQUE DU DÉVELOPPEMENT DES TRACES AU
MINIMUM DANS LES ÉMULSIONS NUCLÉAIRES

H. G. de Carvalho et A. G. da Silva *

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro

(Received December 30, 1960)

Introduction.

Le présent travail a pour but de décider si certaines lois bien connues de la cinétique du développement applicables aux émulsions photographiques ordinaires s'appliquent aussi aux émulsions nucléaires Ilford G-5.

Dans le processus photographique le grain sensible agit comme un tout et la cinétique de son développement est d'importance fondamentale. Il est bien établi que, lorsque la diffusion est rapide, c'est-à-dire dans les émulsions minces, le temps qui s'écoule, depuis l'entrée du révélateur jusqu'à l'apparition de l'image développée, est une fonction décroissante de l'ionisation de la particule. On croit que le développement prend toujours à peu

* Actuellement détachés du "Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas" et "Comissão Nacional de Energia Nuclear" (Brasil).

près le même temps une fois qu'il est commencé, et par suite que ce temps ne dépend guère de l'ionisation.

.....

Les pionniers dans le domaine du développement des émulsions photographiques ordinaires furent principalement Hurter et Driffield qui employaient un révélateur au ferro-oxalate. Ils trouvèrent que leurs résultats s'accordaient avec l'équation suivante: $D = D_{\infty} (1 - a^t)$ (1); D_{∞} représente le nombre de grains finalement développables, D est la densité de grains au temps t , a est une constante.

Sheppard et Mews (5) trouvèrent une équation quelque peu semblable à celle trouvée par Hurter et Driffield; elle est en bon accord avec leurs résultats expérimentaux; Sheppard (2) a suggéré plus tard une correction pour le temps initial d'induction et la forme finale de l'équation devient: $k(t - t_0) = \log_e \left[\frac{D_{\infty}}{D_{\infty} - D} \right]$ ou $dD/dt = k (D_{\infty} - D)$. Nietz (2) faisait remarquer que le meilleur accord avec les résultats expérimentaux était obtenu en représentant $\log_e \left[\frac{D_{\infty}}{D_{\infty} - D} \right]$ en fonction de $k \log_e (t/t_0)$ plutôt que $k(t - t_0)$. Si l'on désire tenir compte du facteur de diffusion, par exemple dans les couches épaisses d'émulsions, il est très peu probable que des lois simples comme ci-dessus puissent décrire convenablement les résultats expérimentaux. Pour ces motifs, la première partie du présent travail a pour objet de chercher si la vitesse du développement au minimum d'ionisation peut être représentée de façon satisfaisante par les équations

tions de Sheppard, Mees et Nietz. En effet pour des couches minces d'émulsions, le temps d'induction dans le développement des traces au minimum d'ionisation est assez long comparé au temps de diffusion.

Vitesse du développement.

La vitesse du développement de l'image latente dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature photographique de l'émulsion, la nature du révélateur, la température, l'intensité de la sensibilisation, etc. Pour un révélateur lent et doux, à température donnée et même sensibilisation, la vitesse de développement à un temps donné, est une fonction du nombre de grains, le long de la trajectoire, qui ont encore des images latentes à développer.

Le mécanisme le plus simple à supposer pour la cinétique du développement est qu'au début, il y ait D_{∞} grains sensibilisés par unité de longueur et que la vitesse du développement (dD/dt) soit proportionnelle au nombre de grains non encore développés $D_{\infty} - D$, ou en d'autres termes, on suppose qu'il s'agit d'une réaction du premier ordre: $(dD/dt) = k(D_{\infty} - D)$ ou, sous forme intégrale: $D = D_{\infty} [1 - \exp - k(t-t_0)]$, ce qui est l'équation de Sheppard pour la photographie ordinaire.

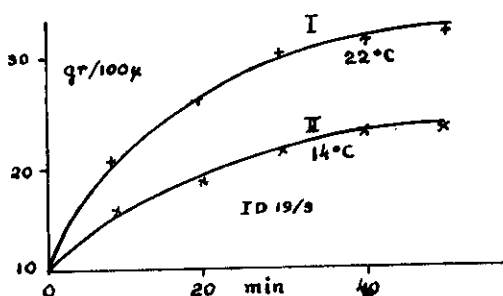


Fig. 1

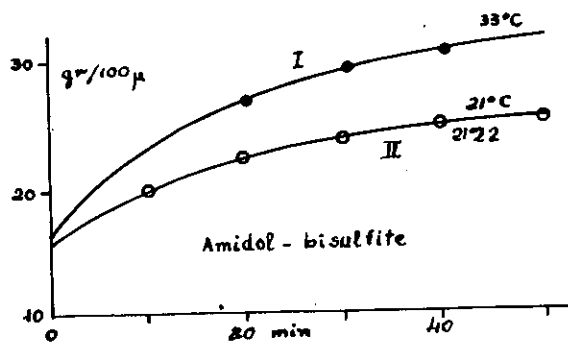


Fig. 2

Pour vérifier l'équation de Sheppard, on emploiera les résultats de Herz. Les émulsions nucléaires Ilford G5 furent exposées aux rayons cosmiques de haute énergie (mésons μ) et développées avec les formules ID19 ou amidol-bisulfite, suivant la méthode d'Occhiolini à deux températures.

Au cours du bain dans le révélateur froid, il se produit quelque développement, si bien qu'il faut remplacer le terme $(t - t_0)$ par $(t + t_0)$, tenant compte du temps de développement froid. En utilisant (ID - 19)/3 les équations suivantes représentent les résultats expérimentaux (fig. 1):

$$\text{à } 22^\circ \text{ C, } \quad D = 35[1 - \exp - 0,0650(t + 3)]$$

$$\text{à } 14^\circ \text{ C, } \quad D = 26[1 - \exp - 0,0476(t + 8,6)]$$

La figure 2 et le Tableau I montrent les résultats pour l'amidol-bisulfite aux températures de 21 et 33° C.

TABLEAU I. Amidol-Bisulfite. Grains par 100 μ . (Herz)

$dD/dt = 0,051 (34 - D)$
Développement à chaud

$dD/dt = 0,046 (27-D)$

	33°C		21°C	
	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.
0 min.	17,0 \pm 0,8	16,2		15,3 gr/100
10	24,8 \pm 1,2	23,4	22,3 \pm 1,1	19,6
20	27,6 \pm 1,4	27,6	22,5 \pm 1,1	22,3
30	29,6 \pm 1,5	29,7	24,2 \pm 1,1	24,0
40	31,2 \pm 1,6	31,7	25,2 \pm 1,2	25,2
50		32,6	25,5 \pm 1,3	25,8

L'on a obtenu un accord identique avec de nouvelles données obtenues en exposant des émulsions nucléaires Ilford G5 300 μ , à un faisceau de mésons π^- de 122 Mev, fournis par le synchrocyclotron de l'Université de Chicago. Les révélateurs étaient l'ami-dol ID-19 et le ferro-sequestrène, dans le but d'étudier l'effet du temps, de la température, et de la concentration. Le Tableau II donne la vitesse du développement à l'ID-19.

TABLEAU II. G5 dans ID-19 sans azote. Grains par 100 μ .

	ID19/5, 22°C, $dD/dt = 0,031(24-D)$		ID19/10, 23°C, $dD/dt = 0,020(24-D)$	
	Exp.	Calc.	Exp.	Calc.
10 min.	13,0 \pm 1	13,0		
20	16,0 \pm 1,3	15,9	12,5 \pm 2,0	12,5
30	18,0 \pm 1,8	18,1		
40	20,0 \pm 1,8	20,3	16,3 \pm 1,3	16,3
45	22,0 \pm 2,0	21,9		
60			19,0 \pm 1,5	18,9
90			21,0 \pm 2,0	21,2
120			23,0 \pm 2,5	22,4

L'équation de Sheppard est en accord avec les résultats pour le développement des traces au minimum d'ionisation, aussi bien que celui du voile, parce que les grains impressionnés n'ont probablement qu'une ou deux images latentes stables et il est raisonnable de supposer une réaction du premier ordre.

Les particules fortement ionisantes, donnant lieu à un nombre variable d'images latentes de différentes grandeurs dans les grains sensibilisés, conduisent à une loi différente pour la cinétique du

développement de leurs traces. Chaque groupe de grains caractérisé par le nombre et la grosseur des images latentes, a une vitesse spécifique propre K_1 de développement et la vitesse globale est une somme étendue à tous les genres de réactions du premier ordre. Il y a analogie avec la vitesse de décroissance d'un mélange de plusieurs isotopes radioactifs, comme dans le cas des produits de fission.

Une équation empirique: $dD/dt = (k/t^n)(D_\infty - D)$ représente mieux la vitesse réelle de pareils développements; quand $n = 1$, elle se ramène à l'équation de Nietz.

Influence de la concentration.

Pour un certain nombre de solutions révélatrices, l'influence de la concentration C de l'agent révélateur peut être représentée par: vitesse = $BC \alpha(t)$, $\alpha < 1$ (pour ID-19, $\alpha = 0,82$). Pour une densité particulière des grains, en gardant constants les autres facteurs agissant sur la vitesse de développement, si on varie seulement la concentration de l'agent révélateur, il y a une relation qui est valable pour un grand domaine de concentrations: $C \propto (t-t_0) = \text{constante}$, t_0 temps d'induction.

Pour le développement des émulsions épaisses, le révélateur diffuse lentement et la concentration au fond est habituellement très faible, cependant, le développement correspondant à la densité des grains désirée est obtenu quand $(t-t_0)$ est suffisamment long pour satisfaire à l'équation (2).

Relation entre la vitesse de développement des émulsions nucléaires et la température du révélateur.

En photographie normale, il est bien connu que la vitesse de développement est fonction croissante de la température de la solution révélatrice, quand on garde constants les autres facteurs qui ont une influence cinétique. L'effet de la température est complexe et il résulte de la superposition d'un petit nombre de phénomènes. La température agit sur l'ionisation des réactifs, sur la solubilité des halogénures d'argent, sur les processus d'adsorption et de désorption, sur la vitesse des réactions chimiques, etc. L'influence de la température sur une réaction chimique particulière, dans certaines limites, peut s'exprimer par l'équation d'Arrhénius:

$$(3) \quad (dD/dt) = A \exp - E/kt$$

E énergie d'activation, K constante de Boltzmann, T température absolue, A pratiquement une constante dans l'intervalle de température envisagé.

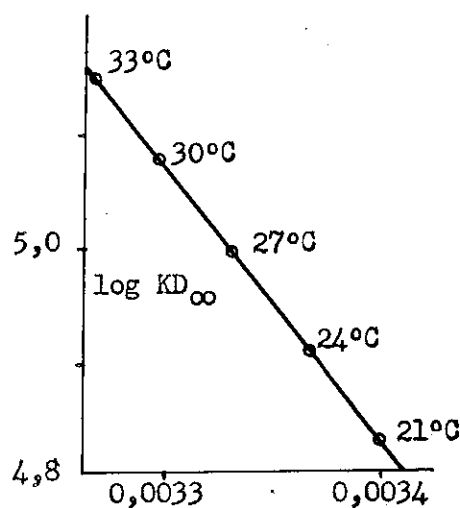


Fig. 3

L'énergie d'activation E est la somme des énergies d'activation de plusieurs processus, dépendant de la température selon l'équation d'Arrhénius, comme par exemple, l'énergie d'activation chimique, l'énergie d'activation d'adsorption du révélateur et de désorption des produits d'oxydation et la chaleur d'ionisation du révélateur. L'énergie d'activation totale E dépend beaucoup de la nature du révélateur.

Pour comparer les résultats expérimentaux à l'équation d'Arrhénius, la méthode habituelle, en photographie ordinaire, est de représenter la vitesse de développement, sous la forme de l'inverse du temps requis pour produire une densité 0,2 au-dessus du voile, en fonction de $1/T$ (relation d'Arrhénius). La vitesse maximum de développement pour la solution particulière donnée par l'équation de Sheppard, $(dD/dt) = K(D_{\infty} - D)$, se produit au temps d'induction t_0 , puisque alors $(dD/dt)_{t_0} = KD_{\infty}$.

Dans le présent travail, on a employé cette valeur maximum pour comparer les vitesses de développement. Par conséquent, si l'équation d'Arrhénius est applicable au développement des émulsions nucléaires, nous trouvons la relation de KD_{∞} en fonction de la température d'après l'équation (3).

La figure 3 montre une courbe d'Arrhénius pour les résultats de Herz entre 21° et 33°C .

* * *

