

QUELQUES PROPRIETES DES EMULSIONS NUCLEAIRES

P. CUER

Département de Physique Corpusculaire
Centre de Recherches Nucléaires
STRASBOURG-CRONENBOURG / FRANCE

I. INTRODUCTION

Malgré les "faire-parts" d'issue fatale qui se sont multipliés ces dernières années, les émulsions nucléaires se portent bien. Leur utilisation, notamment auprès des grands accélérateurs, comme celui du CERN, atteint un rythme inégalé rendant essentielle une planification de production presque aussi serrée que celle d'une grande machine.

Après une période d'évolution rapide et de mise au point entre 1945 et 1950 permettant leur utilisation quantitative et les enregistrements au minimum d'ionisation, la plupart des émulsions nucléaires concentrées ont été dotées de caractéristiques fondamentales à peu près stabilisées depuis notre première réunion à STRASBOURG en 1957. Il peut donc paraître fastidieux, voire prétentieux, d'en parler encore après tant de travaux et d'excellents ouvrages écrits sur le sujet, notamment par le très regretté YAGODA, par DEMERS, par FOWLER, PERKINS, POWELL, par BOGOMOLOV, PERFILOV, BARKAS..... Aussi, quand les Drs LOCK et DAHL-JENSEN m'ont demandé cet exposé, malgré leur expérience très profitable pour la communauté, d'organiseurs des Comités et d'Ecoles de printemps, indiquant que beaucoup d'utilisateurs ne connaissent pas toujours les possibilités des émulsions, j'ai été bien tenté de ne pas accepter.

La conception de ce 5ème Colloque à GENEVE que nous avons voulu centrer étroitement sur l'utilisation la plus efficace de notre outil en physique des hautes énergies, les difficultés rencontrées dans l'utilisation des monocristaux de chlorure d'argent et dans l'augmentation de la sensibilité des autres matériaux solides, les progrès récents de beaucoup d'émulsions m'ont finalement convaincu qu'un résumé succinct de quelques caractéristiques les moins répandues dans la littérature, pouvait être encore utile à quelques utilisateurs.

En nous plaçant dans l'optique de ces utilisateurs nous allons tout d'abord nous efforcer de rappeler quelques notions de photographie corpusculaire pratiquement utilisables.

II. PROPRIETES OPTIQUES

Les propriétés optiques des émulsions nucléaires fixées et séchées sont évidemment celles des gélatines ou plutôt des glycéro-gélatines utilisées additionnées d'adjuvants non éliminables qui occupent approximativement dans les émulsions concentrées courantes le même volume que la suspension de BrAg. Les innombrables propriétés des gélatines font l'objet d'ouvrages, même de colloques spécialisés qu'on ne peut résumer en quelques lignes, mais soulignons au passage un premier aspect privilégié des émulsions (que nous retrouverons sous une autre forme avec BrAg) puisque l'indice de réfraction moyen des mélanges de gélatines de très bonne provenance utilisées, varie peu autour de 1,5, indice qui est justement celui des combinaisons optiques aplanétiques et des huiles à immersion. Les discriminations optiques fines très précieuses sont ainsi facilitées par rapport à des émulsions à liants plastiques et surtout par rapport aux monocristaux de ClAg ($n \sim 2$) pour lesquels les problèmes d'immersion ne sont pas encore bien résolus.

Le facteur de transparence aux photons lumineux des émulsions fixées et séchées joue un rôle important pour l'observation instrumentale des émulsions épaisses, mais ici, l'élimination des colorations variables apportées par le processus physico-chimique dont d'autres parleront (en utilisant, par exemple, des révélateurs et fixateurs protégés) reste primordiale.

III. PROPRIETES MECANIQUES

L'hystérèse importante, la contraction durant le séchage produisent des tensions mesurables que les spécialistes du "spurious scattering" connaissent

bien et qu'ils éliminent partiellement pour ce qui provient du processus, par des procédés de compensation délicats (séchage ménagé, glycérine, résine, traitement isotherme au point isoélectrique...) Un modèle de contraction et de plissement de feuillets fictifs juxtaposés, tel celui préconisé par ADITYA produisant des zones locales de distorsion en corrélation avec le "spurious scattering", zones d'autant plus importantes que la pellicule est libre et irrégulière, semble actuellement rendre compte des principaux résultats et permet certaines corrections.

Les émulsions modernes, stables, ne contenant pas d'eau libre peuvent être exposées librement plusieurs heures jusqu'à $t \sim 100^{\circ} \text{C}$ et à la température de l'air, l'hydrogène ou l'hélium liquides en pellicules libres enveloppées ou couchées sur nitrate de cellulose, l'équilibre thermique demandant déjà plusieurs minutes pour une couche de 50μ d'épaisseur sur nitrate de cellulose.

IV. NOTIONS SOMMAIRES DE PHOTOGRAPHIE GÉNÉRALE

La photographie a pu naître et se développer rapidement, rappelons-le, grâce à la présence dans BrAg et ClAg de deux facteurs exceptionnels dans les solides, l'un électronique, l'autre ionique, qui lui valent encore après plus d'un siècle, une place privilégiée. Du point de vue électronique, l'écart de $2,5 \text{ eV}$ et la nature des bandes 4 P et 5 S , l'absence de niveau d'excitation, permettent une énergie moyenne de création électron-trou positif par une particule chargée de $\sim 7 \text{ eV}$ rendant ces cristaux utilisables même comme chambres d'ionisation. La structure cubique ouverte, les petites dimensions et les faibles énergies d'extraction et d'activation de Ag^+ permettent une migration interstitielle appréciable à la température ambiante de l' Ag^+ interstitiel des défauts de FRENKEL. La gélatine, grâce à ses fonctions multiples et essentielles d'absorption, de milieu diffuseur, de gonflement, d'acceptateur, de brome d'amphotère... parachève ce caractère exceptionnel.

Résumons très brièvement quelques éléments essentiels les plus vraisemblables dans la formation de l'image latente corpusculaire d'après les travaux de DEMERS, SCHMITT, BOGOMOLOV, SCHOPPER, MORAND, BRAUN, DEBEAUVAIS, RECHENMANN et SIMON, GEGAUFF, CUER, utiles pour choisir un protocole expérimental donné.

V. PHOTOGRAPHIE CORPUSCULAIRE - IMAGE LATENTE

La particule chargée effectue un certain nombre de collisions électroniques extrayant tout au long de son passage un spectre δ dépendant de sa charge et de sa vitesse. Au delà d'un seuil qui se situe en moyenne dans un grain d'émulsion ionographique très sensible vers 80 eV (comme pour les photons U.V. de la lumière brève) une partie de la bouffée des électrons secondaires dégradés finalement dans la bande de conduction est captée temporairement dans les divers défauts cristallins (dans la masse et la surface) et les germes de sensibilité positifs créés chimiquement à la surface du grain. Dans les émulsions nucléaires modernes, sensibles au minimum, ces germes dorés sont petits et nombreux, dans les émulsions moins sensibles (plus discriminatoires) ils sont moins nombreux et parfois plus volumineux (comme dans l'ancienne émulsion C 2 très étudiée), donc thermiquement plus stables. (Par exemple, envers le défaut de réciprocité pour la lumière à grand temps de pose).

Durant la phase ionique, plusieurs groupements argentiques comprenant chacun 2 à 3 atomes d'argent se forment à la température ambiante sur les germes de sensibilité et les défauts en $t \sim 10^{-3}$ sec, ces amas se coagulant ensuite en image latente stable. L'arrangement définitif peut durer quelques minutes ou plus selon les cas à la température ambiante. Cette ou ces images de quelques atomes d'argent provoquent et catalysent la réduction révélatrice.

Durant la phase électronique, une partie de l'énergie moyenne de création d'une paire d'ions est cédée au réseau cristallin sous forme de phonons, qui, dans des cas favorables où la localisation est possible, le perturbent

irréversiblement, créant ainsi pour des pertes d'énergie spécifique malheureusement élevées, des pièges électroniques "décorables" comme dans le ClAg, le mica, le nitrocellulose, certains alliages et d'autres composés d'avenir étudiés au début de ce Colloque.

VI. SEUIL DE SENSIBILITE

Le seuil d'une dizaine d'électrons par grain pour les particules chargées est encore loin de la sensibilité à la lumière ordinaire des meilleures émulsions commerciales (2 à 3 photons) mais il paraît difficile à abaisser en raison du mode de distribution instantanée des électrons dans les petits grains réguliers des émulsions icnographiques à germes petits et dispersés destinés à éviter le voile chimique durant le temps de développement nécessaire à la "sortie" du minimum d'ionisation. Ce facteur est très important pour l'utilisateur, car il est en corrélation étroite (presque linéairement pour les émulsions d' $\sim 0,2$ à $0,3\mu$) avec le nombre de "blobs" au minimum d'ionisation qu'on a souvent intérêt à augmenter pour favoriser les mesures de diffusion et des très petits angles pour lesquelles la méthode photographique présente encore de sérieux avantages. Le problème de l'abaissement de ce seuil paraissait encore plus ardu il y a quelques années, car on pensait alors que des "blobs" représentaient le nombre de β énergiques primaires émis au minimum. Depuis, des calculs détaillés admettent une statistique plus moyenne favorable à l'accroissement du nombre de "blobs" pour des grains de $0,2$ à $0,3\mu$. Pour les grains fins de $0,07\mu$ il semble qu'il y ait une limite absolue de 100 grains pour 100μ . Par exemple, la dispersion définitive des petits amas dans des grains peu impressionnés, suivie de recombinaisons, empêchant la développabilité peut éventuellement être, en partie contrée par une hypersensibilisation convenable. La TEA, bien adsorbée sur les grains durant l'exposition dont la fonction essentielle consiste probablement à réduire, donc stabiliser ces sous-amas transitoires, est jusqu'ici le seul composé pour jouer ce rôle par imprégnation. Dans beaucoup d'émulsions courantes (Ilford, NIKFI, Perfilov), le nombre de

grains au minimum est doublé par imprégnation à la TEA. Par exemple, de 20 à 30 grains pour 100μ pour les Ilford K 5 à une quarantaine pour les hypersensibilisées.

VII. TOPOGRAPHIE DE L'IMAGE LATENTE

La connaissance topographique de l'image latente d'une particule donnée, à vitesse déterminée, est importante, car on pourrait espérer obtenir une meilleure utilisation de l'énergie spécifique perdue, voire une meilleure discrimination en développant correctement l'image corpusculaire interne éventuelle. Parmi les effets photographiques classiques utilisés en photographie générale pour différencier les images internes et externes par les Ecoles de BERG et HAUTOT, repris en détail pour la photographie corpusculaire à STRASBOURG, trois principaux: Dispersion et coagulation de l'image latente par diverses qualités de photons, étude des défauts de réciprocité, stabilisation des sous-images par basse température peuvent à première vue, comme en photographie classique, s'interpréter, soit par le dualisme des images internes-externes, soit par la dispersion superficielle plus ou moins grande.

Rappelons que l'étude attentive de ces effets, jumelée avec l'utilisation de révélateurs non solvants et solvants à développabilité variable mis au point à STRASBOURG, a définitivement montré que dans la plupart des cas, l'image corpusculaire était superficielle et sous-jacente plus ou moins dispersée en amas de dimensions croissantes avec l'énergie spécifique dépensée et que sa localisation dépendait essentiellement de celle des germes de sensibilité introduits dans l'émulsion vierge. Par contre, l'impression d'ions lourds dans des grains peu sensibilisés superficiellement est favorable à une localisation au long du passage de l'ion, grâce aux déformations cristallines irréversibles mises en évidence, notamment pour les traces de fission dans toute une gamme de solides, déformations créant des pièges électroniques efficaces. Il est donc assez facile de discriminer les traces de fission par attaque de surfaces ou révélateurs discriminatoires, comme cela a été fait pour de nombreux expérimentateurs.

Il est de même possible en utilisant des révélateurs non solvants à développabilité critique (EAg - Eredox de - 100 à - 400 mV, au fer, par exemple selon les images et les émulsions) de révéler et sélectionner les amas selon leurs dimensions, ce qui a été pratiquement utilisé, par exemple, à STRASBOURG et à BUCAREST pour la discrimination α (p) γ .

VIII. ACTION SUR L'EDIFICATION DE L'IMAGE LATENTE EN VUE D'APPLICATIONS

Dans un but de meilleure discrimination, on peut agir, du reste, et nous l'avons fait extensivement à STRASBOURG sur les différentes phases de l'édification de l'image latente et de sa coagulation par des facteurs physiques convenables déjà utilisés en photographie scientifique: Par exemple, la température, le rayonnement vert, rouge ou infra-rouge durant ou après exposition. La basse température stabilise la capture électronique et ne permet l'édification et la coagulation que durant les réchauffements, ce qui peut être judicieusement réglé et peut être précieux pour la conservation de faibles images dans le temps. Cette stabilisation permet curieusement aux émulsions sensibles au minimum d'ionisation de présenter un maximum de sensibilité pour la lumière longue vers - 40° C, la sensibilité à la lumière brève ($t \leq 10^{-3}$ sec) et aux particules restant malheureusement inférieure à celle à 20° C. En l'absence de migration assez rapide d'Ag⁺ et d'agitation thermique, un certain nombre d'électrons se placent sur des pièges de fluorescence (iode, certains adjuvants adsorbés en surface...) et se recombinent avec des trous positifs (non "acceptés" comme à cette température). La sensibilité décroît donc graduellement jusqu'au zéro absolu. A la température de l'hydrogène liquide intéressant les utilisateurs, toutes les émulsions sont encore pratiquement utilisables. A celle de l'hélium liquide, le minimum d'ionisation est seulement visible dans celles à grains assez gros (Ilford G5, NIKFI R sans iode) ou hypersensibilisées, ou encore préparées sans iode et sans composé fluorescent. La haute température (jusqu'à 110° C) disperse et coagule rapidement les amas, ce qui peut permettre à l'expérimentateur d'agir volontairement sur la sensibilité très accrue pour la lumière brève et les β dans les émulsions Ilford C 2 de 20° à 110° avec tous genres de révélateurs et dans Ilford G 5 pour des révélateurs non solvants

faibles. Très diminuée pour Ilford G 5 dans un révélateur total.

IX. EVOLUTION SPONTANEE DE L'IMAGE

A la température ambiante, l'image continue à évoluer du reste spontanément: avec une courte période pour la dispersion et la coagulation des petits amas; le "vieillissement" supprimant donc, d'une part, certains grains développables mais rendant les autres plus rapidement réductibles (Effet visible par l'effet Cabannes-Hoffmann). Avec une longue période (heures à mois) pour l'oxydation chimique de l'image, bien étudiée sous le nom de "fading", certains chargements en sels (de lithium, par exemple) produisant une corrosion éventuelle supplémentaire à la température normale.

L'utilisation judicieuse de basse température, d'hypersensibilisation et de stabilisateurs chimiques permet de freiner efficacement cette régression. On peut également utiliser la latensification par lumière actinique, malheureusement l'absorption de ces photons est fort importante dans les émulsions épaisses.

X. DATAGE DES EVENEMENTS

Comme application pratique d'action sur l'image, citons un procédé de datage des événements nucléaires dans les émulsions ionographiques, sans doute d'avenir pour les expositions spatiales qui a commencé à être mis au point à STRASBOURG^(x) et qui utilise l'effet Herschel et les basses températures, d'une part, la latensification et l'effet Herschel, d'autre part.

(x) Communication au Congrès de Photographie Scientifique de TURIN, 1953.

XI. VARIETES D'EMULSIONS IONOGRAPHIQUES

Quelles sont les émulsions ionographiques pratiquement utilisées?

Aux hautes énergies et en physique cosmique où chaque empilement coopératif requiert rapidement au moins une dizaine de litres de pellicules, et les expositions mesurées et coûteuses, une fabrication régulière normalisée, fidèle, irréprochable, est indispensable.

Par histoire, tradition (Bristol), compétence, pour une connaissance plus complète des caractéristiques essentielles beaucoup de pays utilisateurs voisins de la Grande-Bretagne, utilisent les émulsions Ilford. Les émulsions Demers, première réalisation remarquable de l'artisanat ingénieux ont été indispensables. Les émulsions NIKFI et PERFILOV également très utilisées, sont décrites dans la littérature, les nouvelles variétés disponibles fort intéressantes, ont été détaillées ici même par C. BOGOMOLOV, nous n'en parlerons donc pas ici. Les émulsions Kodak Eastman utilisées dans les spectrographes nucléaires aux basses énergies et pour certaines applications ont été améliorées récemment. Les émulsions Gevaert qui ont pris un bon départ, excellentes pour la sensibilité sont en voie d'amélioration pour les qualités mécaniques. Les émulsions roumaines utiles jusqu'ici aux basses énergies, en biologie et médecine, qui commencent à être employées aux hautes énergies. Nous n'avons pas assez de renseignements sur les émulsions japonaises et chinoises qui semblaient prometteuses il y a quelques années, couches minces, 38 "blobs"/100 μ ainsi que sur les émulsions Agfa, Leverkusen et Wolfen conc. 75%, meilleurs lots comparables à NIKFI-R qui étaient en bonne voie.

Rappelons que l'essor de l'ionographie est, en grande partie, dû dès 1946 à la concentration en BrAg des émulsions à grains fins dont la valeur a été empiriquement arrêtée à 80% permettant avec un révélateur dit "nucléaire" (initialement à rayons X, physico-chimique un peu solvant) de doubler à peu près les dimensions des grains vierges et de rendre donc les traces "solides" donc bien mesurables.

Pour de nombreux travaux n'exigeant pas un grand nombre de "blobs" les concentrations peuvent être diminuées par dilution dans la gélatine ou par gonflement dans l'eau lourde à condition de redéterminer soigneusement les caractéristiques, dont le pouvoir d'arrêt.

XII. TENDANCES A ENCOURAGER

Sommes-nous parfaitement satisfaits des émulsions nucléaires actuelles, souhaitons-nous encore certaines améliorations? Que conseiller aux émulsionneurs pour le futur en dehors d'une standardisation toujours plus rigoureuse et des qualités irréprochables de gélatine?

L'évolution des fabrications et des émulsions expérimentales ces deux dernières années, indiquent une nette tendance à la diminution des grains vierges et à l'hypersensibilisation et nous devons bien sûr encourager cette tendance puisque plusieurs caractéristiques encore très favorables des émulsions ionographiques (faibles angles, discrimination des ions lourds, hyperfragments de faible vie, spectres de très faible énergie) exigent des grains petits et très sensibles.

Remarquons cependant que jusqu'ici aucune firme n'a produit en quantité et en pellicules épaisses des émulsions genre Perfilov à grains très fins, très sensibles au minimum, hautement désirables.

Ne croyons pas cependant que cette recherche dans la finesse des grains théoriquement séduisante soit illimitée. La solution n'est certainement pas l'observation au microscope optique d'émulsions du genre Schumann concentrées comme nous l'avons cru en 1946 avec BERG et BURTON puisque le développement en quintuplant les dimensions linéaires des grains pour les rendre visibles détruit toute précision. Pour des mesures ultrafines et atteindre la limite d'utilisation de la méthode ionographique pour les mesures des faibles vies moyennes, il devient indispensable de dépasser la résolution optique de $0,2\mu$ et d'effectuer certaines mesures délicates en couches minces au microscope électronique.

XIII. MESURES FINES AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE

Des résultats encourageants dans cette voie ont été obtenus par ROBERTS, RIEDEL et STRASBOURG et doivent être soutenus par un effort particulier des émulsionneurs: deux fabrications (Gevaert et Bucarest) ont déjà étudié une émulsion expérimentale.

Le meilleur pour l'immédiat serait de disposer d'émulsions à grains ultra-fins (Perfilov ou mieux), encore plus concentrées (environ à 92%) très sensibles, développées par des révélateurs non solvants n'affectant pas la forme granulaire. Peut-être, dans certains cas, devons-nous orienter vers un dépouillement intégral au microscope électronique, mais ici, j'anticipe et mon temps est fini puisque je dois traiter du présent.

QUELQUES DOCUMENTS POUVANT COMPLETER CE RESUME

- Notices des émulsions actuellement fabriquées et disponibles par les Ets. ILFORD, EASTMAN, KODAK, GEVAERT et l'Institut de Physique Atomique de BUCAREST aimablement adressées par les Drs. EHRLICH, MILLIKAN, FAELENS, NICOLAE.
- R. SCHMITT: Contribution à l'étude de l'image latente dans les émulsions ionographiques; Thèse STRASBOURG 1958 et Colloques ci-dessous.
Et avec P. CUER: Réunion de travail sur l'enregistrement des traces de particules chargées dans les cristaux, STRASBOURG 1963.
- H. BRAUN: Discrimination des rayonnements par post-exposition infra-rouge et révélation critique dans les émulsions ionographiques. Thèse STRASBOURG 1958 et Colloques ci-dessous.
- F. SIMON: Sur quelques facteurs conditionnant la préparation et la sensibilité des émulsions ionographiques. Thèse STRASBOURG 1958 et Colloques ci-dessous.
- R. RECHENMANN: Etude de l'action des températures comprises entre 20° et 110°C sur la sensibilité des émulsions ionographiques aux différents rayonnements. Thèse STRASBOURG 1960 et Colloques ci-dessous.
- C. GEGAUFF: Contribution à l'étude photographique et méthodologique des dimensions transversales des traces d'ions dans les émulsions ionographiques. Application à leur discrimination. Thèse STRASBOURG 1959 et Colloques ci-dessous.
- M. DEBEAUVAIS: Etude de la sensibilité des émulsions ionographiques en fonction de la température et application à la physique corpusculaire. Thèse STRASBOURG 1962 et Colloques ci-dessous.
- P. CUER: Sc. et Ind. Phot. 1947 18p. 321 - 1950, 21p. 161 et C.R. de Int. Conf. Wiss. Phot. Köln 1956. C.R. des Colloques Internationaux de Photographie Corpusculaire I STRASBOURG 1957. II MONTREAL 1958. III MOSCOU 1960. Korpuscular-photographie IV MUNICH 1962.

LEGENDES DES FIGURES

- Fig. 1 : FORMATION DU CORPS D'UNE TRACE (Thèse WINTER, GEGAUFF).
Ion de ^{20}Ne dans deux émulsions: Ilford K5 (sensible au minimum d'ionisation) et Ilford K2 (pour Ions lourds).
L'ionisation primaire (K2) est encore en courbe de Bragg, le spectre et le nombre de δ émis sont seuls responsables de l'affaiblissement de la trace (K5).
- Fig. 2 : TOPOGRAPHIE DE L'IMAGE LATENTE (Thèse SCHMITT).
Les effets de renforcement ou d'affaiblissement par rayonnement infra-rouge dépendent de la nature et de l'intensité du rayonnement actinique, de la longueur d'onde post-exposition infra-rouge et de la nature du révélateur (solvant ou non solvant) et plus ou moins actif.
Avec un révélateur non solvant développant les amas superficiels de dimensions différentes, on peut obtenir à volonté des effets d'affaiblissement ou de renforcement (jusqu'ici attribués au dualisme image interne, image externe).
- Fig. 3 : DISCRIMINATION $\alpha, \beta (\gamma)$ DANS UNE EMULSION ILFORD G5 EN UTILISANT UN REVELATEUR DISCRIMINATOIRE AU FERRO-OXALATE DE POTASSIUM Thèse BRAUN).
Apparition des "spots" α (horizontaux) et β (verticaux) pour des potentiels $E = E_{ag} - E_{redox}$ (genre, groupe) différent (20 mV) permettant de révéler les α dans un voile γ important.
- Fig. 4 et 5 - BASSE TEMPERATURE (Thèse DEBEAUVAIS-WACK).
Sensibilité des émulsions Ilford G5 pour différents rayonnements en fonction de la basse température.
- Fig. 6 : HAUTE TEMPERATURE (Thèse RECHENMANN).
Comportement différent des émulsions Ilford G5 et Ilford C2 à haute température.
- Fig. 7 et 8 - (Thèse RECHENMANN).
Vieillessement de l'image latente en fonction du temps et de la température.
- Fig. 9 : (BRAUN, DEBEAUVAIS-WACK).
Stabilisation de l'image latente par conservation à basse température.

QUELQUES CARACTERISTIQUES COMPAREES (GRAINS ET SENSIBILITES) DES EMULSIONS
IONOGRAPHIQUES LES PLUS UTILISEES : ILFORD, NIKFI, PERFILOV, KODAK, GEVAERT et ROUMAINES

- Septembre 1964 -

Marque	Type	Concentration en BrAg en %	Dimensions moyennes des grains vierges (μ)	Sensibilité limite en énergie de particules (donnée par le fabricant) minimum = sensible au minimum d'ionisation	Nombre de "blobs" au minimum d'ionisation. Développement standard ; amidol sans TEA. Exposition à température ambiante.	Commentaires des utilisateurs
ILFORD (toutes émulsions)	G5	80	0,27	minimum	20 à 30	Encore utilisée depuis 1949. Très reproductible, sensible à He liquide hypersensibilisable à TEA plaques, gel, pellicules comparable à l'ancienne C ₂ mais moins discriminatoire. La plus utilisée actuel. Pellicules très reproductibles → 1200 μ Bonne discrimination. Parfois inégale. Pas d'émulsion expérim. mais essais à grains plus fins et concentrés.
	K-2	80	0,2	fission et		
	K-1	"		ions lourds		
	K0	"		α (Th)		
	K1	"		p(7 MeV)		
	K2	"		p(80 MeV)	20 à 30	
	K5	"		minimum		
	L2	"		p(80 MeV)		
	L4	"		minimum	18 à 25	
NIKFI (émulsions modernes)	R ₁	85	0,28	minimum	25 à 30	Ancienne R (depuis 1953 très utilisée) Substitution partielle de la gélatine par des polymères. R ₁ en pellicules → 600 μ . R ₁ hypersensibilité par un nouveau colorant sensibilisateur (voir Bogomolov) pellicules → 600 μ Utilisée en autoradiographie au microscope électronique hypersensibilisée au nouveau colorant hypersensibilisateur (voir Bogomolov)
	RS		0,28	minimum	25 à 30	
	BR ₁		0,28	minimum	25 à 30	
	R ₂	85	0,28	minimum	35 à 40	
	BR ₂					
	M	85	0,14			
	BM ₂	85	0,14	minimum	30 à 40	
PERFILOV (émulsions modernes)	PR	85	0,08	minimum	30	Révélat. amidol pyrogalo II 50
	PR ₂	75	0,12	minimum	30	50
EASTMAN KODAK (toutes émulsions)	NTA	84	0,22	α (et fission)		Plaques et émulsions en gel " " " " " " Pellicules épaisses et plaques Emulsion expérimentale ionographique satisfais. Autoradiographie fine pour microscopie électronique.
	NTB	80	0,29	β -30 keV		
	NTB2	80	0,26	β -0,2		
	NTB3	80	0,34	minimum	< 20	
	NTB4	80	0,56	minimum	20 à 30	
	NTB5	80	0,2	minimum	~ 40	
	NTE			0,06		
GEVAERT SCIENTIA (toutes émulsions)	NUC 307	78	0,07	p(100 MeV)		Très bonne discrimination. Excellente sensibilité mais qualités mécaniques et reproductibles inégales Expérimentale pour observation au microscope électronique.
	NUC 715	78	0,15	minimum	40 à 50	
	NUC 815	87 à 92	0,15	minimum	~ 60	
PHYSIQUE ATOMIQUE BUCAREST (toutes émulsions)	IFA EN 1	85	0,2	p(80 MeV)		Utilisée en basse énergie. Très employée pour autoradiographie β en biologie et médecine Expérimentale pour observation au microscope électronique.
	IFA EN 2	85	0,2	minimum	~ 30	
	IFA ENF 1	86 à 92	0,07			

La production mondiale des émulsions ionographiques, après une nette décroissance de 1956 à 1961-1962 remonte rapidement.

La production volumétrique d'émulsions sèches des deux principaux fabricants atteint en 1964 de 160 à 200 litres pour Ilford et de 50 à 60 litres pour NIKFI, cette capacité pouvant être, si besoin, triplée.

La production Eastman Kodak et Gevaert, en pleine évolution, pouvant atteindre rapidement quelques dizaines de litres.

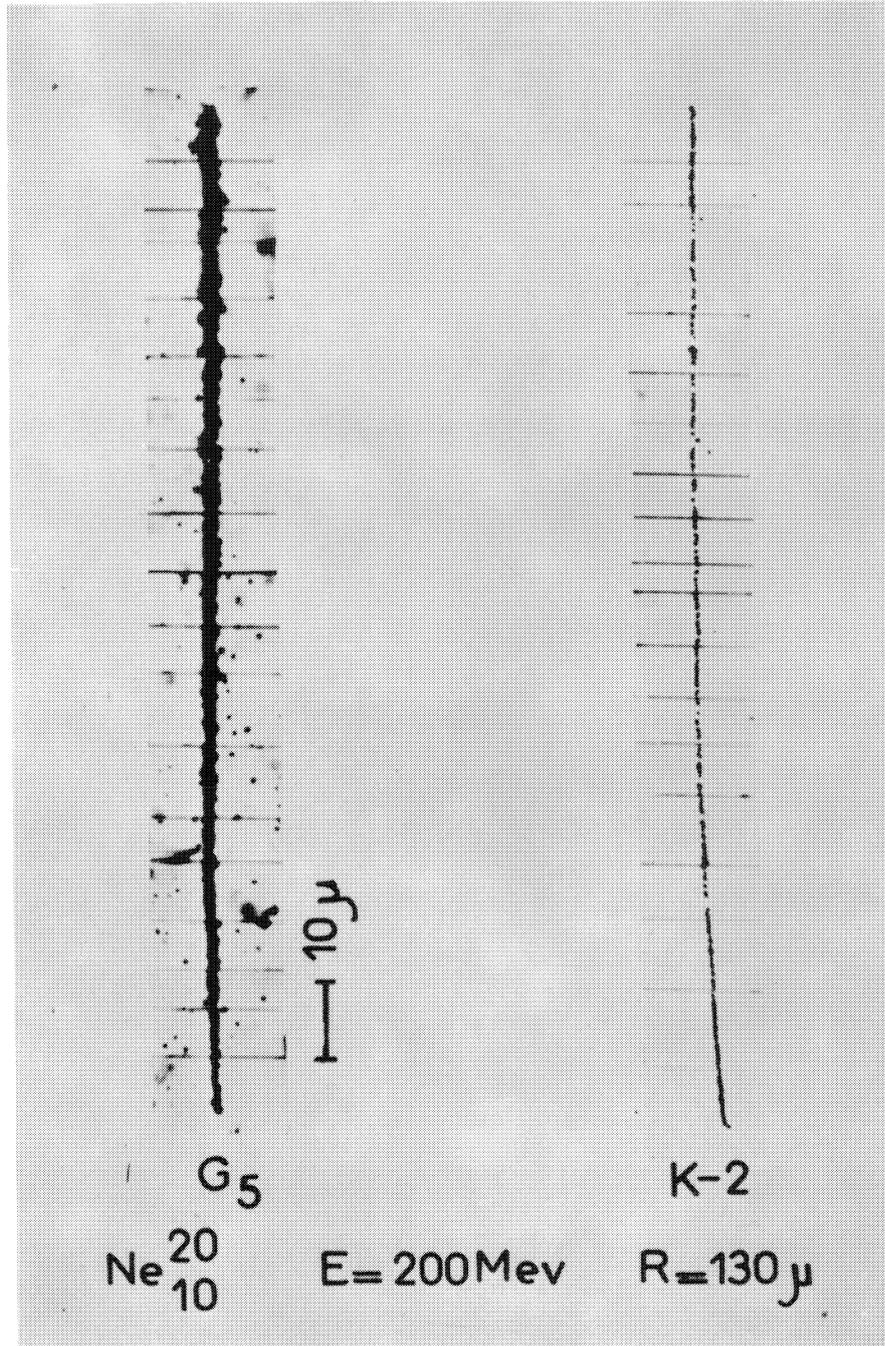
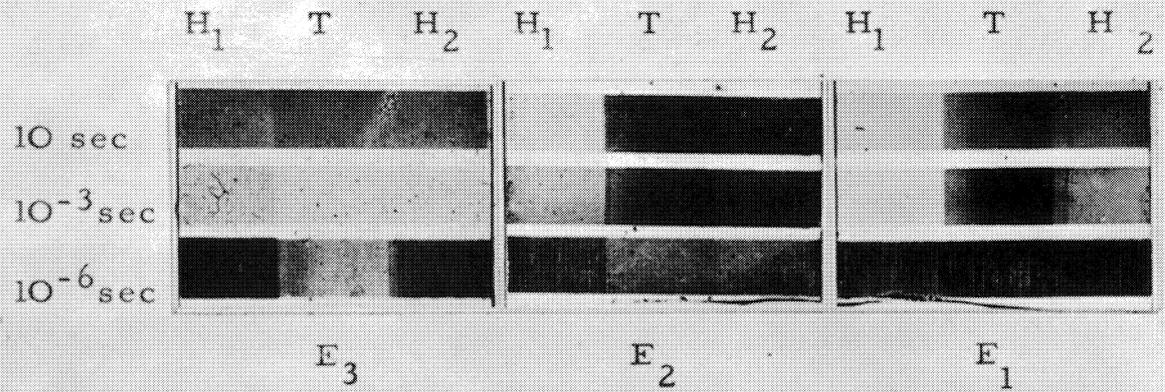


Fig. IV.1

Emulsion G₅



Les trois plaques ont reçu les mêmes expositions
 Bandes horizontales : exposition actinique - durée variable
 Bandes verticales : effet Herschel

- H₁ exposition inactinique - infra-rouge λ mi-hauteur 750mμ
- H₂ - - - - - λ - 950mμ
- T² témoin - sans effet Herschel

Révéléateur à la pyrocatechine (non solvant de BrAg)
 Potentiel $E = E_{Ag} - E_{redox}$ variable $E_1 > E_2 > E_3$

Fig. IV.2

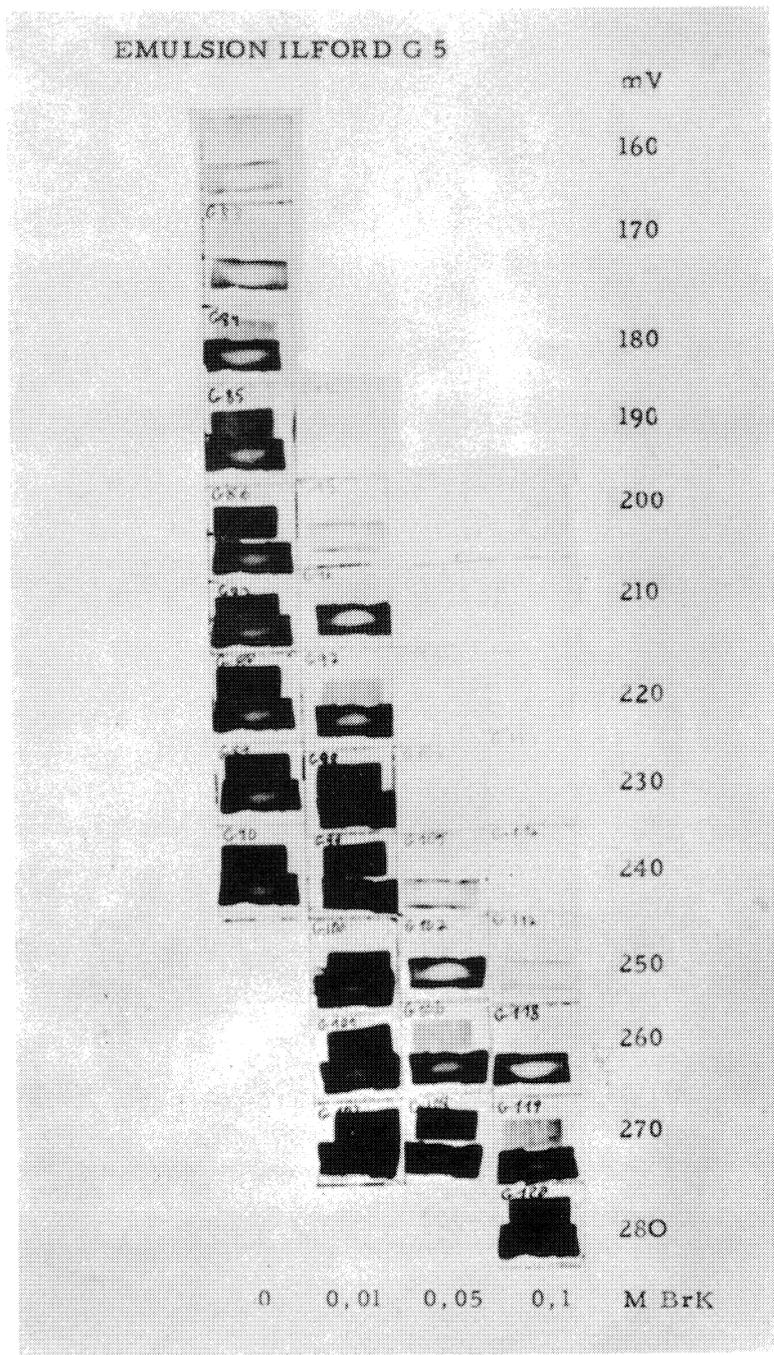


Fig. IV.3

SENSIBILITE DES EMULSIONS NUCLEAIRES EN FONCTION
DE LA TEMPERATURE

EMULSIONS ILFORD G-5

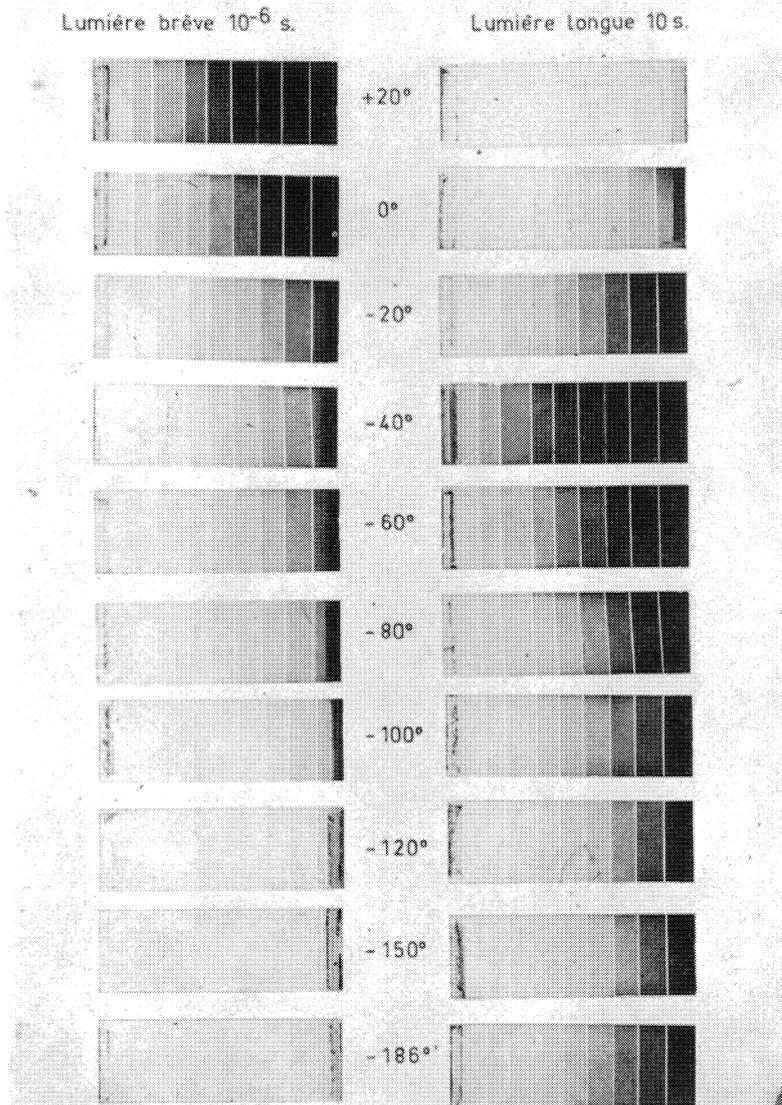


Fig. IV.4

LOGARITHMES DE LA SENSIBILITE (S) EN FONCTION DE L'INVERSE DE LA TEMPERATURE ABSOLUE POUR UNE EMULSION G₅ ET LES RAYONNEMENTS SUIVANTS:

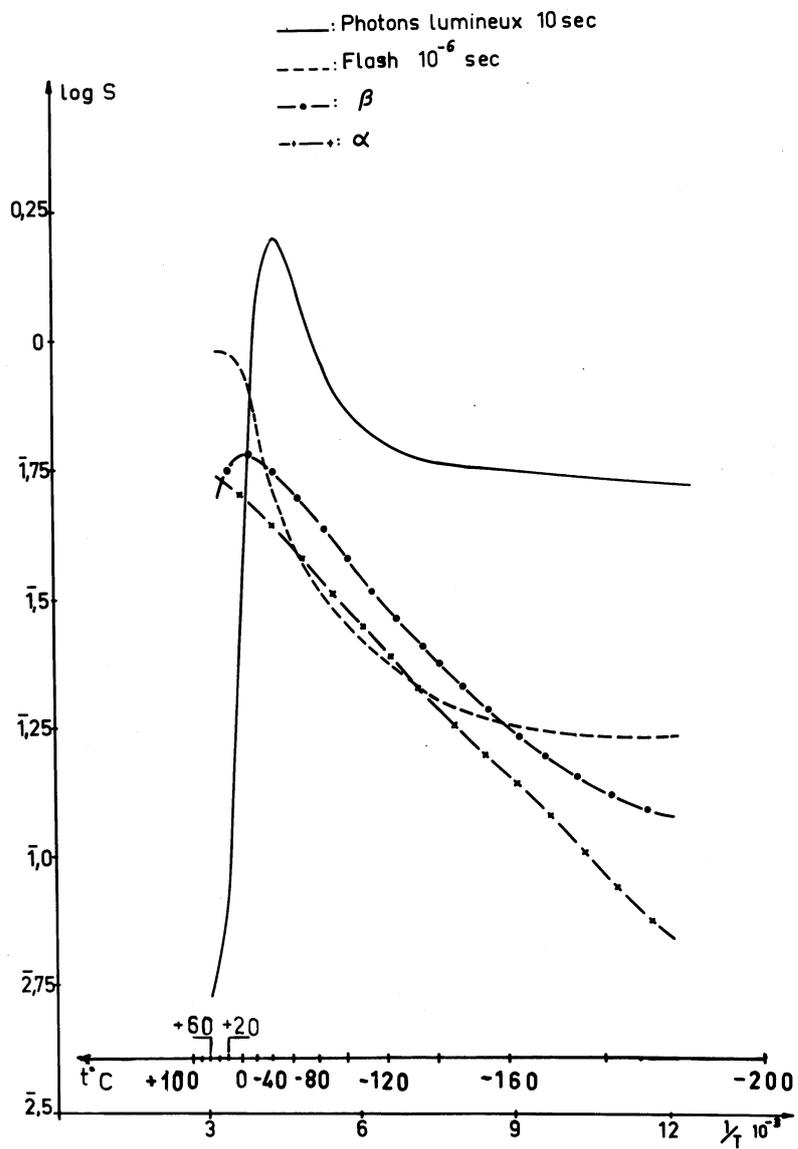


Fig. IV.5

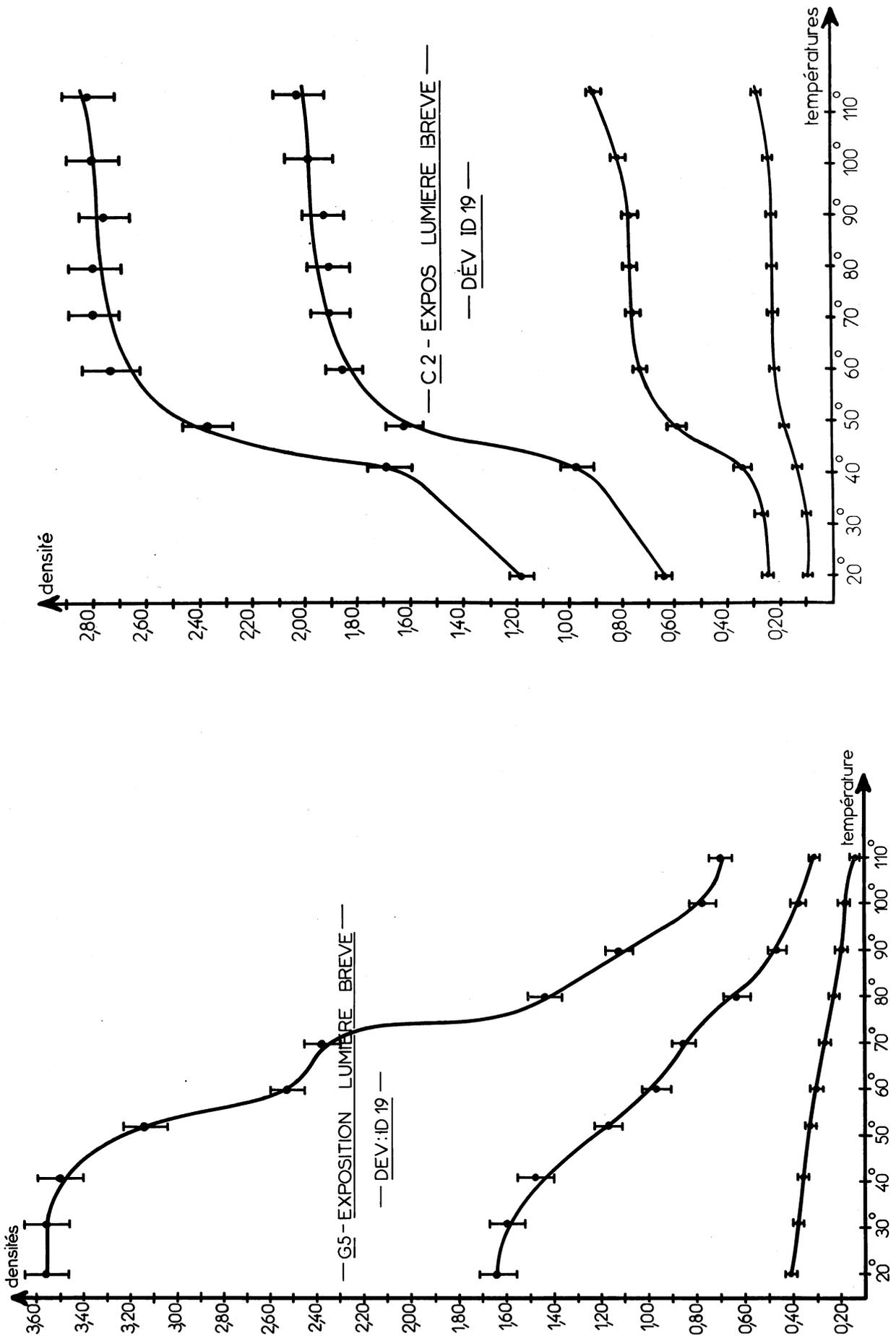


Fig. IV.6

EMULSION G 5
 VIEILLISSEMENT DE L'IMAGE LATENTE
 EXPOS LUMIERE BREVE A 20° - DEV ID 19
 A: PLAQUES CONSERVEES A 5°
 B: ——— A 20°

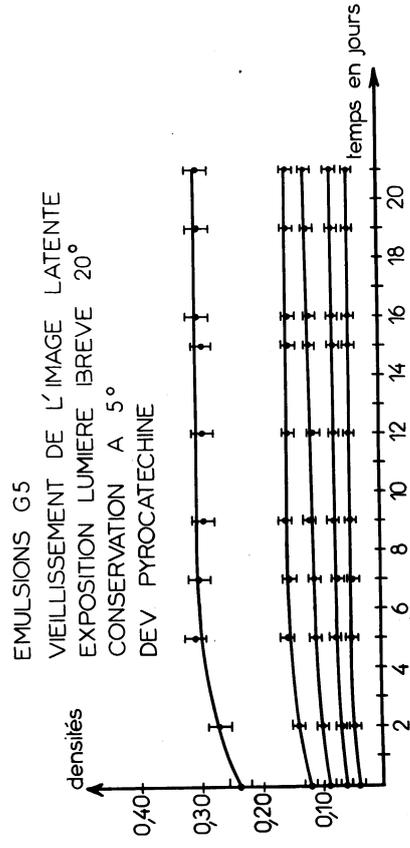
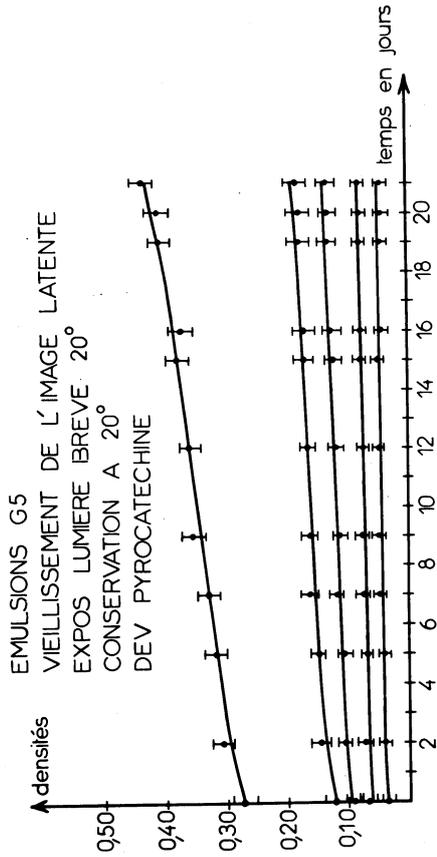
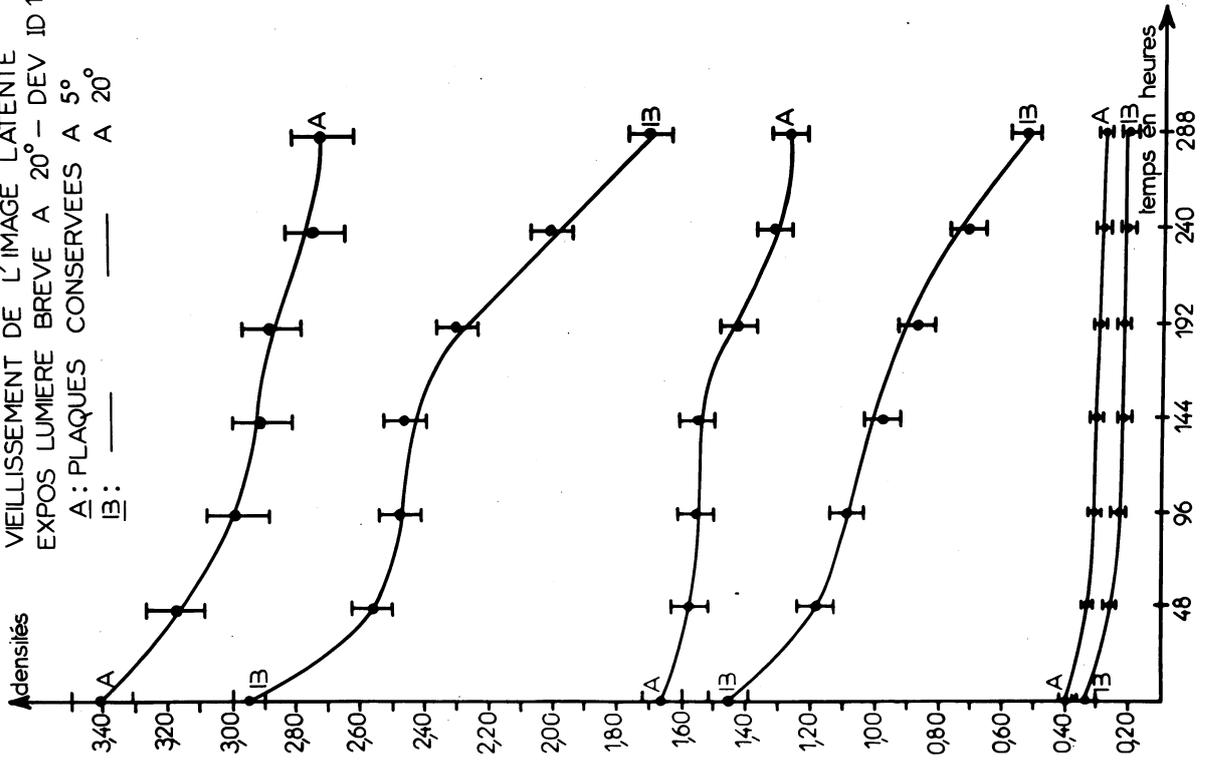


Fig. IV.7

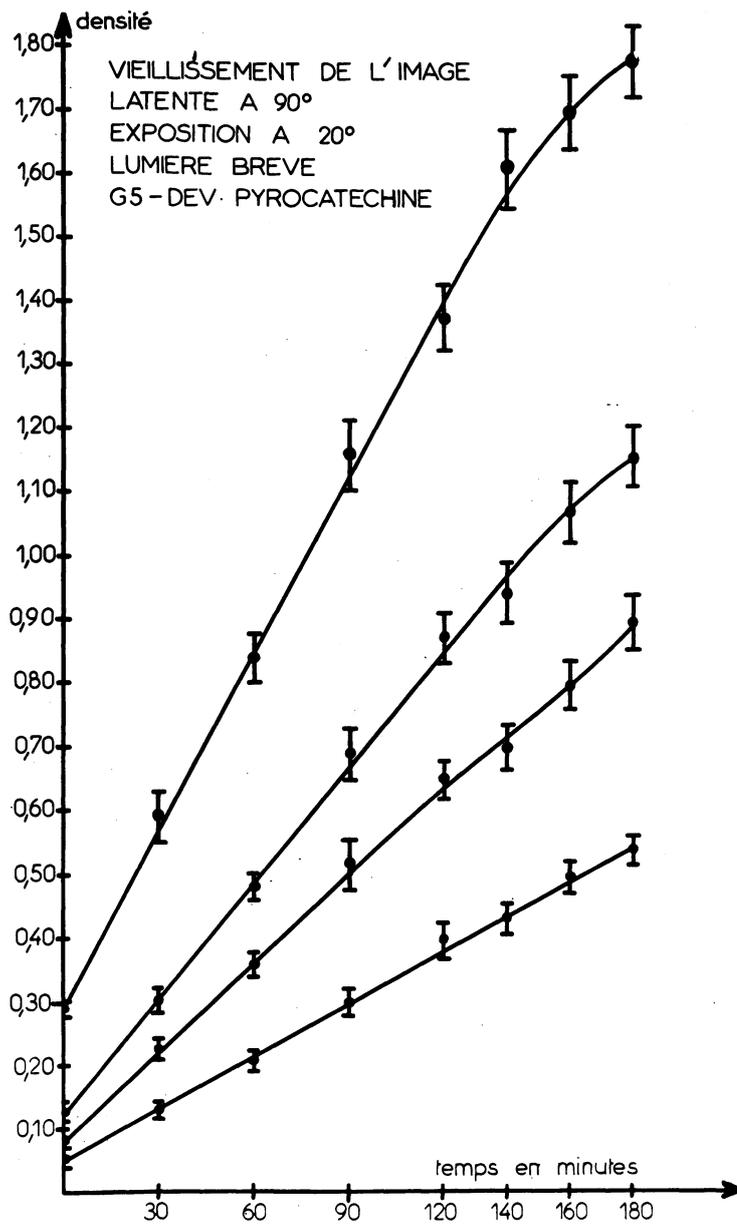


Fig. IV.8

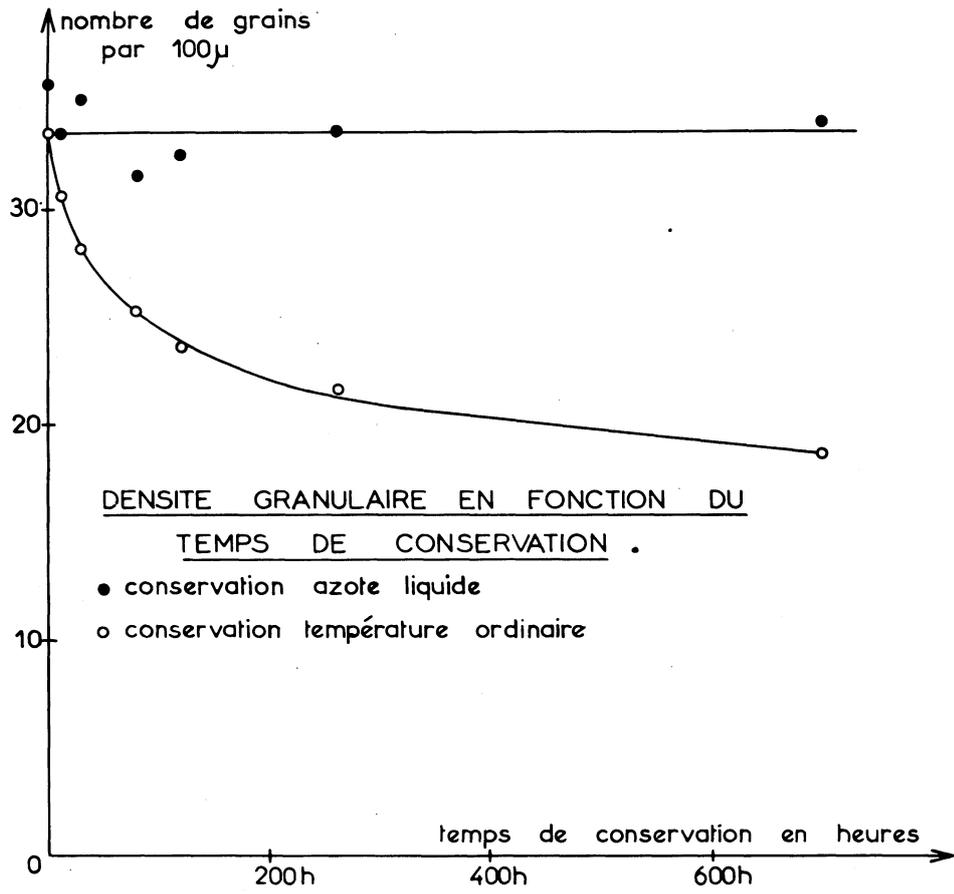


Fig. IV.9