

ÉTUDE CONDUCTIMÉTRIQUE DE L'ACÉTATE DE CELLULOSE EN TANT QUE DÉTECTEUR SOLIDE DE TRACES

M. BOURDEAUX-PONTIER, F. ROUX, P.J. BERNARD et C. BRIAND *

(Manuscrit reçu le 5 février 1973)

RÉSUMÉ

Les auteurs proposent un procédé original pour déterminer la dose reçue par de l'acétate de cellulose, irradié par des fragments de fission et des particules α . Cette technique repose sur la modification de la conductibilité électrique transversale du détecteur après irradiation et attaque par la soude. Cette méthode présente pour avantage principal la possibilité de détermination de doses élevées d'irradiation.

ABSTRACT

The authors suggest an original method for numbering the tracks in cellulose acetate irradiated by fission fragments or α particles. That method rests on a change in voluminal electric conductivity of the detector being irradiated and etched by soda. Such technique makes it possible to determine very high doses of irradiation.

Les détecteurs solides de traces présentent de nombreux avantages. Ce sont en effet des détecteurs ionographiques très stables, d'une grande souplesse d'emploi, de faible prix de revient. Les particules lourdes comme les particules α et les fragments de fission traversant ces détecteurs y créent individuellement des images latentes, qui par attaque par un agent chimique deviennent visibles en microscopie optique (fig. 1). L'utilisation de ces détecteurs en tant que dosimètres nécessite donc le comptage de ces traces.

Le dénombrement direct de ces traces constitue un travail très long. ANNO [1] a démontré que, pour un nombre moyen de traces d'une quarantaine par champ microscopique, il est nécessaire d'observer 45 champs pour avoir un degré de confiance de 95 et une erreur statistique relative de 5 %. D'autre part, cette technique de comptage est inapplicable pour de fortes doses d'irradiation, car les traces développées se chevauchent, ceci même en réduisant le temps de développement au minimum.

* Laboratoires de Physique des Facultés de Pharmacie et de Médecine, 27, boulevard Jean-Moulin, 13005 Marseille.

De nombreuses techniques de comptage ont essayé de rendre ce dénombrement plus facile. Ces méthodes peuvent se classer en méthodes directes et indirectes.

Dans les méthodes directes, les traces sont comptées individuellement. La plupart de ces techniques directes reposent sur la création de traces développées traversant la totalité du détecteur. Par exemple, dans certaines de ces méthodes, un composé fluorescent, dont on excitera la fluorescence par un rayonnement UV [2], est introduit par pompage dans les trous. Nous citerons également les techniques de marquage sur matières plastiques métallisées. Ces matières plastiques sont attaquées, après irradiation du côté non métallisé, par le développant qui va créer au niveau de chaque trace une tache démétallisée sur le film d'aluminium [3, 4, 5]. LARK [6], CROSS et TOMASINO [7] ont mis au point une technique de marquage électrique des traces. Dans cette méthode, le développement ayant conduit à des canaux traversant le détecteur, une plaque métallisée est accolée à celui-ci et une petite électrode portée à une tension supérieure à celle du claquage dans l'air est déplacée de l'autre côté du détecteur. Chaque fois que l'électrode passe au niveau d'une trace, une étincelle éclate, que l'on détecte, soit par l'impulsion électrique produite aux bornes de la haute tension, soit par l'éclair lumineux correspondant.

Les méthodes indirectes reposent par contre sur une modification globale, sous l'effet de l'irradiation, d'une propriété physique du détecteur. Dans ces techniques également, des traces traversant la totalité du détecteur sont le plus souvent nécessaires.

Par exemple, DEBEAUVAIS et CUER [8] utilisent une technique de marquage radioactif des traces où on détecte des particules α qui traversent le détecteur après développement si leur trajectoire coïncide avec les traces.

A.M. CHAPUIS [9] a mis au point une technique reposant sur l'accrolement, sur un support incolore de polytéréphtalate d'éthylène glycol, d'un film coloré en rouge de nitrate de cellulose (film Kodak-Pathé LR 115). Le détecteur étant éclairé par une source lumineuse, les traces apparaissent en blanc sur fond rouge et laissent passer une intensité lumineuse suffisante pour être décelable par un photomultiplicateur.

Ces techniques moins longues et moins fastidieuses que la microscopie optique, originales et intéressantes, présentent néanmoins un certain nombre d'inconvénients. En effet, certaines d'entre elles sont délicates à réaliser, ce qui est le cas des méthodes préconisant un pompage de liquide dans les traces; elles sont quelquefois coûteuses (procédés de comptage automatique); enfin elles nécessitent en général un développement transformant les traces en trous ce qui exclut de fortes doses d'irradiation qui aboutissent alors à une destruction du détecteur.

Nous avons essayé de mettre au point une technique physique, peu fatigante pour l'opérateur, rapide, sensible et surtout utilisable pour des doses d'irradiation importantes.

Pour cela, nous nous sommes attachés à la mesure des variations de résistance des esters de cellulose après irradiation et développement, en particulier de l'acétate de cellulose.

TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

— Détecteur utilisé —

Le détecteur utilisé est du triacétate de cellulose ou triafof TN fabriqué par Bayer, d'une épaisseur de $40 \mu\text{m}$. Ce détecteur est translucide, coloré en bleu clair et exempt de tout plastifiant. Il présente une face mate, due au fait que, lors de la préparation, la feuille de triafof est coulée sur un support solide, et une face brillante. Nous avons dans tous les cas effectué l'irradiation sur la face brillante, car elle subit, lors de la phase de développement ultérieure par la soude, l'attaque chimique de façon plus régulière.

— Méthodes d'irradiation —

Les films ont été irradiés par des fragments de fission ou par des particules α .

En ce qui concerne les fragments de fission, la source utilisée est une source de californium 252 correspondant à 10^6 fissions/cm²/h.

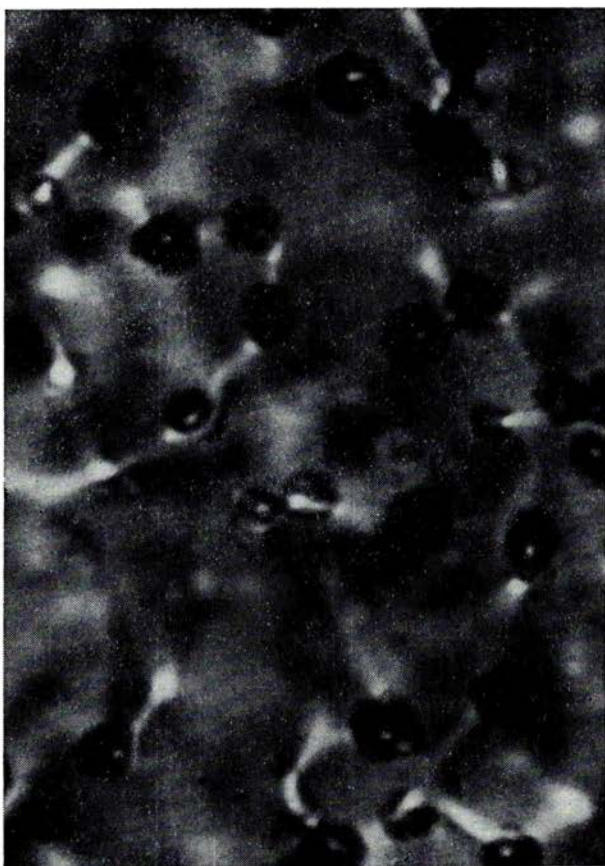


FIG. 1. — Traces de particules α dans l'acétate de cellulose après développement par la soude.

En ce qui concerne les particules α , la source utilisée est une source d'américium ^{241}Am d'activité 95 000 α/mn pour une géométrie de 2π , particules dont l'énergie est de 5,48 MeV et 5,44 MeV.

Il aurait été nécessaire de diminuer cette énergie, pour avoir le meilleur rendement de détection, à une valeur inférieure à 2 MeV [10]. En fait, une telle diminution par interposition de feuille de mylar métallisée diminuait trop l'activité et nous avons donc irradié par des particules α d'énergie comprise entre 0 et 2,27 MeV grâce à l'interposition d'une épaisseur de 18 μm de mylar métallisé. Dans ces conditions l'irradiation était de $2,17 \cdot 10^5 \alpha/\text{cm}^2/\text{h}$ [11].

— Méthode de développement —

Nous avons utilisé une solution aqueuse de soude de concentration 8 N, thermostatée à 60 °C. Les temps de développement étaient de 2 h lors d'irradiations par fragments de fission, et de 3 h dans le cas de particules α .

Des essais effectués avec d'autres développants de réactivité chimique de nature différente (alcool, permanganate) n'ont pas donné jusqu'à maintenant de résultats concluants pour nos mesures conductimétriques.

Les développements par la soude ont été réalisés dans des conditions très précises (durée, température, concentration du réactif). De plus, l'échantillon retiré du bain sodique est lavé à l'eau distillée pendant 30 minutes.

D'autre part, ces détecteurs sont soumis à un séchage à l'abri de la poussière sous atmosphère ambiante pendant 8 jours.

Enfin, nous avons vérifié qu'un nouveau rinçage à l'eau distillée ne modifiait pas la conductivité et que celle-ci était stable dans le temps.

— Appareil de mesure de la conductivité —

La conductivité électrique transversale ou plus précisément la conductance de nos échantillons est mesurée à l'aide d'un pont d'impédance WAYNE-KERR.

A partir d'un oscillateur à pont de Wien, une tension ajustable en fonction de la précision désirée est appliquée à l'élément à mesurer.

Le courant résultant est transmis à un amplificateur d'erreur par un transformateur et le courant de sortie est alors opposé à un courant de référence. La lecture se fait à l'équilibre. La mesure est effectuée sous une tension de 1,6 volts.

— Cellule de mesure (fig. 2).

L'échantillon est placé entre les électrodes dont la surface est celle d'un disque de 10 mm de diamètre, qui sont maintenues dans la position de contact grâce aux vis de blocage, après avoir exercé une pression de 45 kg/cm^2 . La zone du détecteur développée a exactement la même surface que les électrodes, ce qui facilite la mise en place, les mesures se faisant sur la portion du détecteur qui a été endommagée.

Nous avons enregistré pendant trois heures la conductance pour nous assurer qu'il n'y avait pas de variation dans le temps, c'est-à-dire que le régime permanent était établi. Ce régime s'établit en fait très rapidement et les mesures peuvent s'effectuer dans la minute qui suit la mise en place de l'échantillon.

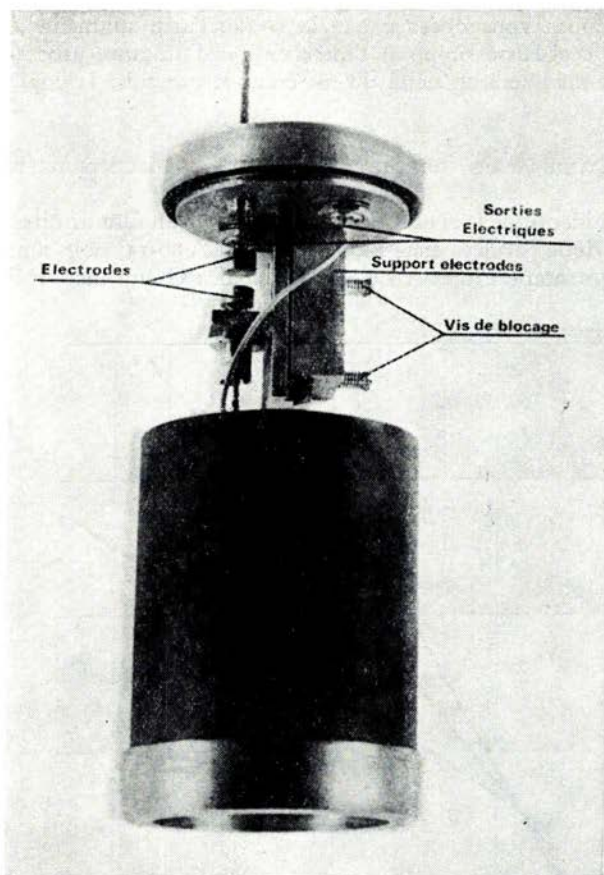


FIG. 2. — Cellule de mesure.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

On sait que les particules ionisantes produisent dans les détecteurs polymères organiques des points de rupture au niveau des chaînes macromoléculaires. Notre idée première était de mettre en évidence ces défauts créés par une méthode conductimétrique. Mais toutes les mesures effectuées sur les échantillons irradiés et non développés n'ont pas montré de modification de conductance, même pour des doses d'irradiation très importantes.

En développant les traces, les canaux ainsi formés, plus ou moins profonds, plus ou moins larges et plus ou moins remplis d'air meilleur isolant que les esters cellulosiques, auraient dû, semble-t-il, diminuer la conductance. D'ailleurs, les échantillons mesurés sous vide présentent une conductance plus faible qu'en présence d'air.

En fait, nous avons observé que la conductance augmente avec le temps d'irradiation; ceci laisse supposer l'intervention d'un autre processus, processus qui augmenterait l'hétérogénéité du matériau et par suite la conductance.

I - ÉTUDE APRÈS IRRADIATION PAR DES FRAGMENTS DE FISSION

Un travail identique [12] effectué auparavant sur un film de nitrate de cellulose de $40 \mu\text{m}$ fabriqué par la Société Kodak-Pathé (CA 80-15) nous a permis de constater une augmentation linéaire de la conductance G en fonction de l'irradiation

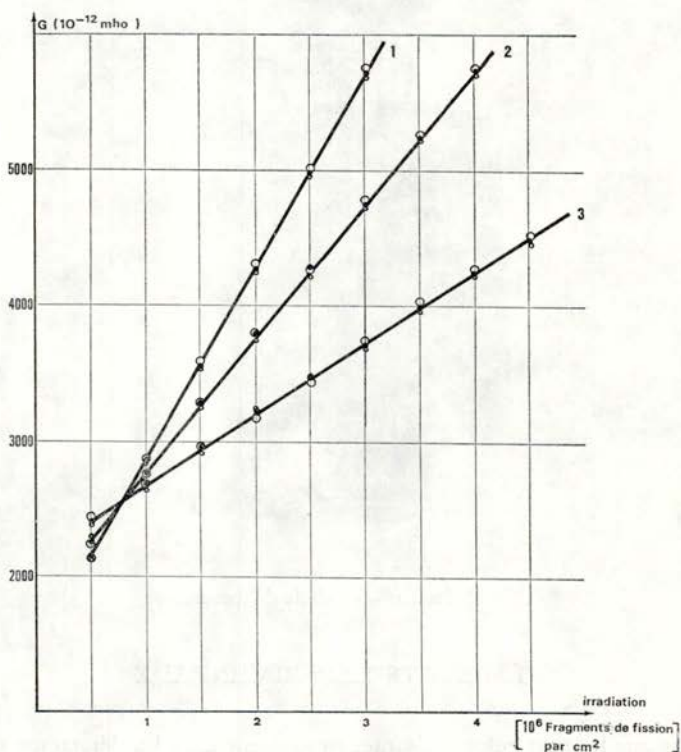


FIG. 3. — Conductance en fonction de l'irradiation en fragments de fission/cm 2 .

Nitrate de cellulose de $40 \mu\text{m}$.
Développement 35 minutes $\theta = 60^\circ\text{C}$.

Soude $\left\{ \begin{array}{l} 8 \text{ N } 1 \\ 6,5 \text{ N } 2 \\ 5 \text{ N } 3 \end{array} \right.$

reçue (fig. 3). Cette augmentation n'apparaît que pour des irradiations supérieures à $8,3 \cdot 10^5$ fragments de fission/cm 2 , le temps de développement étant fixé à 35 mn et les concentrations de soude à 8 N, 6,5 N ou 5 N. Pour les irra-

dations inférieures, au contraire, nous avons observé une diminution monotone de la conductance en fonction de l'irradiation. Si le temps de développement est porté à 1 heure, la croissance de G ne survient que pour des doses supérieures à 10^5 fragments de fission/cm² (fig. 4).

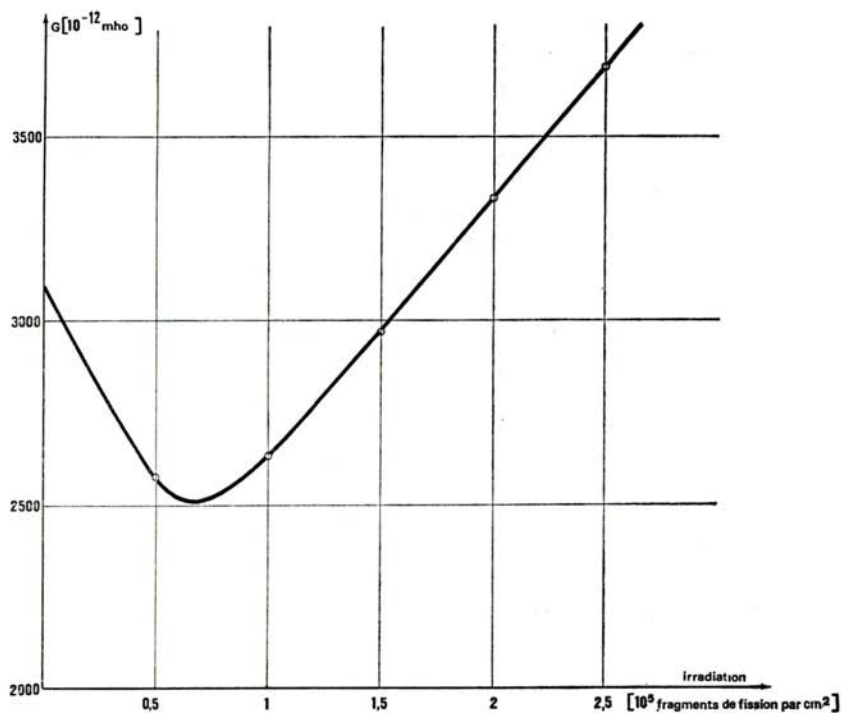


FIG. 4. — Conductance en fonction de l'irradiation en fragments de fission/cm²

Nitrate de cellulose de $40 \mu\text{m}$.
Développement 1 h $\theta = 60^\circ\text{C}$.
Soude 6,5 N.

Dans le cas de l'acétate de cellulose, des essais effectués dans les mêmes conditions de développement ne conduisaient pas à des variations de la conductance mesurables par notre technique. Par contre, en opérant le développement avec de la soude 8 N pendant 2 h à la même température de 60°C , nous avons obtenu les résultats représentés sur la figure 5.

Cela nous amène donc à déduire que l'acétate de cellulose est un détecteur moins sensible pour notre étude conductimétrique.

En conclusion, pour des temps de développement plus longs, de grandes durées d'irradiation en fragments de fission, et une concentration suffisante de soude (réactif de développement), l'acétate de cellulose présente, comme le nitrate, une conductance croissante en fonction de l'irradiation. Par contre,

le phénomène observé pour le nitrate, lors d'irradiations de moindre durée, n'apparaît plus dans le cas de l'acétate.

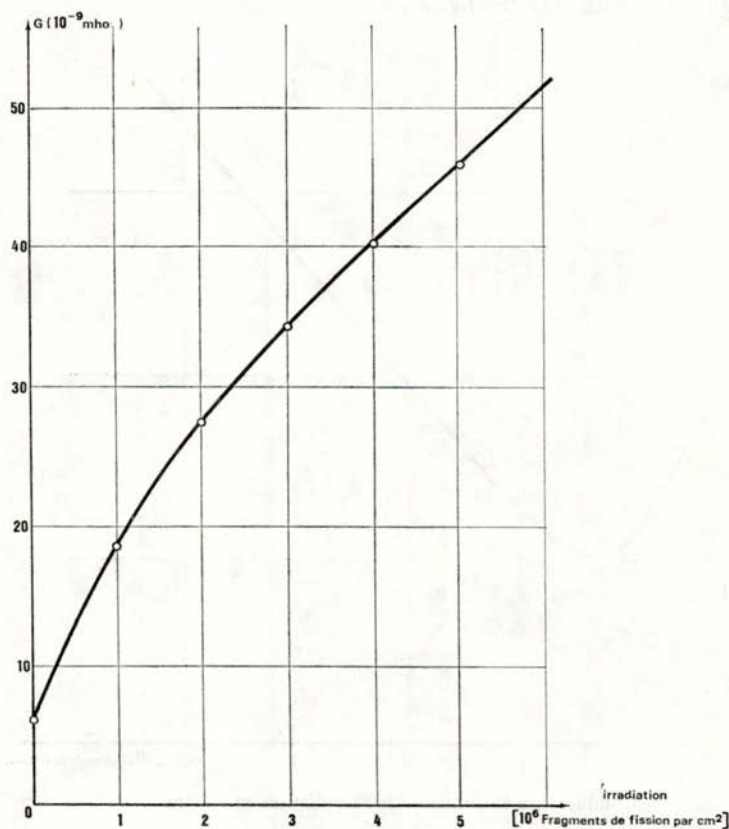


FIG. 5. — Conductance en fonction de l'irradiation en fragments de fission/ cm^2

Acétate de cellulose de $40 \mu\text{m}$.
Développement 2 h $\theta = 60^\circ\text{C}$.
Soude 8 N.

II - ÉTUDE APRÈS IRRADIATION PAR LES PARTICULES α

En raison de la faible activité de la source avec le dispositif utilisé, nous avons dans tous les cas opéré sur des temps d'irradiation plus longs comparativement à ceux utilisés lors d'irradiations en fragments de fission, les irradiations variant entre $20 \cdot 10^5$ et $40 \cdot 10^5 \alpha/\text{cm}^2$.

Nous avons mis en évidence pour le nitrate de cellulose [12], dans le cas d'une irradiation par des particules α , le fait que la conductance était une fonction

croissante du temps d'irradiation, sauf pour les doses faibles où nous retrouvons une conductance inférieure au témoin non irradié.

Dans le cas de l'acétate de cellulose, pour une irradiation effectuée après interposition de $18 \mu\text{m}$ d'épaisseur de Mylar métallisé entre la source d'américium 241 et l'échantillon et un développement de trois heures par la soude 8 N à 60°C , nous n'avons pas observé de variations de conductance pour des irradiations inférieures à 20.10^5 particules α/cm^2 . Par contre, pour des irradiations supérieures, la conductance est une fonction croissante du temps d'exposition (fig. 6).

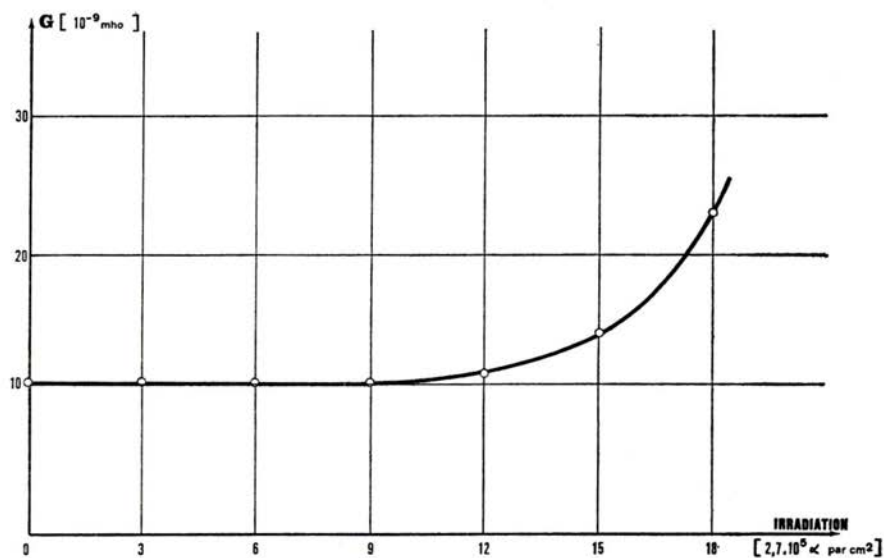


FIG. 6. — Conductance en fonction de l'irradiation en particules/cm²

Acétate de cellulose de $40 \mu\text{m}$.

Développement 3 h $\theta = 60^\circ\text{C}$.

Soude 8 N.

En conclusion, quel que soit le détecteur utilisé, nitrate ou acétate de cellulose, après irradiation avec des fragments de fission ou des particules α , et attaque à 60°C par la soude, nous avons, pour des conditions de développement convenablement choisies (durée et concentration de la soude), obtenu des courbes représentant la conductance en fonction du temps d'irradiation.

Ces courbes représentent des fonctions monotones et croissantes pour des expositions suffisantes.

Il est donc aisé de déterminer, à partir de mesures conductimétriques, et en utilisant une courbe étalon, les doses reçues par le détecteur solide de traces.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Comme nous l'avons déjà exposé, puisque nous avons opéré à atmosphère ambiante, il nous semblait vraisemblable que les traces développées aient été plus ou moins remplies d'air, les produits de l'attaque chimique ayant été éliminés par diffusion de la soude et par le rinçage consécutif au développement. Selon cette hypothèse, une diminution de la conductance des échantillons aurait dû être observée quand la densité des traces augmentait, puisque l'air est un meilleur isolant que le détecteur. En fait nous avons constaté une augmentation de la conductance des échantillons irradiés, après développement par la soude. Cependant le nitrate de cellulose présentait un comportement différent de l'acétate [12] puisque la courbe obtenue était décroissante dans un premier temps.

Nous avons essayé d'expliquer les phénomènes observés, à savoir l'augmentation de conductance, tout au moins pour des temps d'irradiation suffisants, et la différence de réponse des deux esters cellulosiques.

Il nous paraît important de souligner que cette augmentation de conductance n'est due en aucune façon à la présence de soude dans les traces, puisque, comme nous l'avons précisé, un lavage à l'eau distillée est poursuivi jusqu'à ce que la répétition de cette opération n'amène plus de modification dans les mesures.

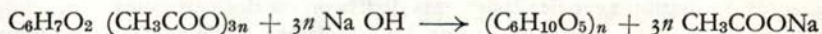
L'augmentation de conductance pourrait simplement s'expliquer par une diminution d'épaisseur de l'échantillon. Or, nos temps de développement étant toujours identiques pour une même série de mesures, l'épaisseur devrait être modifiée de la même façon, quelle que soit l'irradiation, lors du développement.

Evidemment, il serait possible d'expliquer néanmoins cette diminution de résistance par une diminution d'épaisseur, qui serait fonction de la dose d'irradiation en supposant que, pour une densité de traces importante, les canaux formés pourraient devenir jointifs.

Ce phénomène participe vraisemblablement à la variation de conductance. Mais il est certain qu'un autre processus doit se surajouter à cette diminution d'épaisseur, car le calcul montre que les variations de conductance observées correspondraient à des diminutions d'épaisseur supérieures à l'épaisseur de l'échantillon intact.

Par contre, nous faisons réagir un agent chimique, et nous avons pensé que les variations de conductance étaient peut-être dues à la modification chimique du matériau.

La soude saponifie en effet les esters cellulosiques, esters de polyalcool. On peut écrire pour l'acétate de cellulose par exemple :



Lorsqu'on traite un échantillon non irradié par la soude, pendant un temps relativement bref, il y aurait saponification uniquement au niveau de la surface du film, ce qui entraîne d'ailleurs la diminution d'épaisseur. Après irradiation par contre, l'attaque peut se faire en profondeur le long des dommages créés par les particules ionisantes, et la saponification aurait lieu en outre tout le long des traces latentes.

S'il en est ainsi, le nombre de fonctions hydroxyles devrait augmenter d'autant plus que la saponification est plus importante, donc il devrait y avoir d'autant plus de groupements hydroxyles que le détecteur a été plus irradié. Nous avons donc réalisé des spectres infrarouges de nos échantillons. Effectivement nous remarquons, que dans l'acétate (fig. 7) les groupements oxhydriles, qui absorbent aux environs de $3\ 500\text{ cm}^{-1}$, présentent un pic plus important pour les échantillons irradiés et développés que pour ceux traités uniquement par la soude et à

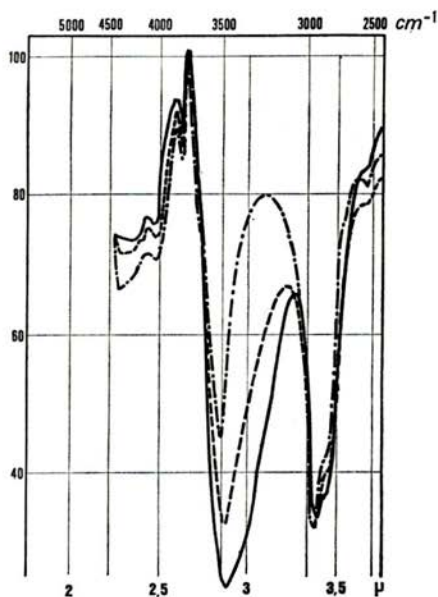


FIG. 7. — Bandes d'absorption en infrarouge des groupements OH et CH de l'acétate.

- Acétate de cellulose irradié 4 h par fragments de fission. Développement 1 h, NaOH 6,5 N.
- - - Acétate de cellulose traité par NaOH 6,5 N, 1 h.
- · - · - Acétate de cellulose.

fortiori ceux qui n'ont subi aucun traitement. Il semblerait donc qu'il y ait bien une réaction de saponification. De plus, on peut constater que tous les détecteurs organiques constitués par des esters peuvent être traités par la soude lors du développement [10].

Un point reste cependant obscur. En effet, la réaction de saponification est une réaction lente. Nous avons pour notre part opéré sur des temps de développement supérieurs ou égaux à 35 minutes, ce qui serait suffisant pour qu'il y ait un début de saponification. Par contre, la littérature préconise un temps minimum de deux minutes pour révéler des traces dans le nitrate (ce qui suppose que cette réaction chimique ne peut avoir lieu), alors qu'elle indique 40 minutes pour l'acétate, les autres facteurs étant identiques. Ceci laisse prévoir un comportement différent pour ces deux esters.

Si la soude concentrée limite son action sur l'acétate à une saponification, par contre, elle attaque différemment le nitrate sur lequel elle exerce de plus une dégradation oxydante avec rupture de chaînes et formation d'acide carbonique, d'acides organiques à faible poids moléculaire (acide formique, acide oxalique, acide pyruvique), de nitrites, d'ammoniaque et même d'azote, tous ces composés pouvant passer dans la phase liquide [13]. L'action de la soude sur le nitrate est donc double. Ces deux réactions pourraient avoir lieu en profondeur s'il existe déjà des points de rupture dans le matériau, comme c'est le cas lorsqu'il a été préalablement irradié. La réaction d'oxydation serait plus rapide que la saponification et conduirait à l'élargissement des canaux. Par suite, pour de faibles temps d'irradiation, c'est cette réaction qui semblerait déterminer la variation de conductance, dont la diminution serait due à la présence d'air au niveau des canaux. La quantité totale de soude ayant réagi par saponification ne serait pas suffisante pour que les modifications chimiques consécutives puissent intervenir de façon appréciable; il n'y aurait pas suffisamment de nouveaux groupements OH pour que ce mécanisme puisse entraîner une augmentation de conductance, d'autant plus que la présence d'air agirait en sens inverse.

Par contre, si la densité des traces est plus importante, la quantité globale de soude qui diffuserait dans le matériau serait accrue. Les groupements hydroxyles ainsi formés dans la totalité du film seraient plus nombreux et cette modification chimique, accroissant l'hétérogénéité du détecteur, augmenterait sa conductance.

Dans le cas de l'acétate de cellulose, lors d'irradiations par des particules α , les mesures pour des irradiations inférieures à $19,5 \cdot 10^5$ particules α/cm^2 ne correspondent pas à des modifications de la conductance par rapport au témoin non irradié et traité par la soude. Cela pourrait s'expliquer dans notre hypothèse de la façon suivante : il n'y a pas de dégradation oxydante, donc il n'y aurait pas de diminution due à l'air, et les dommages créés ne seraient pas assez nombreux pour permettre une diffusion suffisamment importante de la soude, la réaction de saponification n'aboutirait alors pas encore à une modification chimique globale du matériau suffisante pour faire augmenter la conductance.

Il eut été intéressant d'effectuer le développement avec un solvant qui n'aurait pas modifié la formule chimique et n'aurait agi que par dissolution. La conductance dans ces conditions devrait diminuer quand le temps d'irradiation augmente à cause de l'air présent dans les traces. Or, nous n'avons pu jusqu'à présent réaliser de tels développements car ils modifient trop profondément les propriétés mécaniques de l'échantillon. Des expériences sont actuellement en cours à ce sujet.

Rappelons enfin que toutes les mesures effectuées sur des échantillons irradiés et non développés n'ont pas montré de variation de conductance, car les dommages créés dans le détecteur sont trop peu importants par rapport à la quantité laissée intacte.

En conclusion, nous supposons donc que pour l'acétate le développement par la soude concentrée serait peut-être une réaction de saponification, qui devrait se poursuivre pour être efficace pendant un temps relativement long. L'augmentation de conductance enregistrée serait alors due à une modification chimique du détecteur, augmentation qui serait prépondérante par rapport à la diminution due à l'introduction d'air dans les canaux.

En ce qui concerne le nitrate de cellulose, la soude concentrée réagirait selon deux processus : dégradation oxydante rapide et saponification plus lente.

Le premier mécanisme favoriserait la création de canaux remplis d'air et correspondrait à une diminution de la conductance; le second mécanisme, rapidement prépondérant, correspondrait à une augmentation de la conductance.

Pour l'un et l'autre de ces esters, l'attaque chimique globale de l'échantillon dépendrait de la possibilité de diffusion de la soude dans le matériau, elle-même fonction croissante des dégâts produits dans le détecteur pendant l'irradiation, donc de la densité de traces.

Nous avons donc essayé d'appliquer cette méthode conductimétrique de lecture des traces développées, déjà mise au point pour le nitrate [12], à l'acétate de cellulose. Nous avons ainsi testé cette méthode avec succès pour des doses allant de 20.10^5 à 50.10^5 particules α/cm^2 . En ce qui concerne les fragments de fission, le domaine dosimétrique testé allait de 10^6 à $5 \cdot 10^6$ fragments de fission/cm². Les réponses obtenues étant monotones, rien ne semble interdire de pouvoir utiliser cette technique dans des domaines dosimétriques plus étendus. De plus, il est possible que les modifications des conditions de développement offrent des possibilités encore plus larges. Pour les doses très faibles, par contre, la simple lecture par microscopie optique reste évidemment préférable.

Cette méthode conductimétrique très rapide et peu onéreuse permet de plus de nombreuses mesures d'échantillons, sans fatigue pour l'opérateur.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANNO S., COMMANAY L. et TEYSSIER J.L. Problèmes posés par l'enregistrement et le décompte des traces de particules α dans le nitrate de cellulose. *Radioprotection*, 1970, 5, n° 2, 147-165.
- [2] PARIZET M.J. et MONNIN M. Observation des traces de fluorescence. Journées internationales d'étude de l'enregistrement des traces de particules chargées dans les isolants solides et leurs applications. Clermont-Ferrand, 6-9 mai 1969 (IX-6).
- [3] MORY J. Sur quelques utilisations de l'enregistrement des fragments de fission dans les isolants. 1965 rapport CEA, R 2846, 42 p.
- [4] FLEISHER R.L., PRICE P.B. et WALKER R.M. Solid state track detectors applications to nuclear science and geophysics.
- [5] FLEISHER R.L., PRICE P.B. et WALKER R.M. *J. Geophys. Res.*, 1965, 70, 2703.
- [6] LARK N.L. Spark scanning for fission fragment tracks in plastic foils. *Nucl. Instr. and Methods*, 1969, 67, 137-140.
- [7] CROSS W.G. et TOMMASINO L. *Health Physics*, 1968, 15, 196.
- [8] DEBEAUVAIS M. et CUER P. Les détecteurs ionographiques dans la dosimétrie et la spectrométrie des neutrons. Colloque Electr. Nucl. Toulouse, 1968, III, 43-55.
- [9] CHAPUIS A.M., GERARD N. et SOUDAIN G. Nouveau système de lecture pour détecteur ionographique. *Radioprotection*, 1970, 1, 13-16.
- [10] BLANC D. Les détecteurs solides de traces. *Radioprotection*, 1970, 5, n° 1, 37-78.
- [11] ANNO. Utilisation du nitrate de cellulose pour la détection de particules α . Thèse Sciences Physiques Toulouse, 1970.
- [12] ROUX F., BOURDEAUX-PONTIER M., BISSET J.P. et BRIAND C. Etude conductimétrique du nitrate de cellulose en tant que détecteur solide de traces. *Int. Journ. of appl. Rad. and Isotopes* (sous presse).
- [13] CHAMPETIER G. *Dérivés cellulosiques*. Dunod 1954.