

## Influence du rayonnement ultraviolet (UV) sur la stabilité physico-chimique d'un dosimètre du radon : le CN-85

M. MBODJ<sup>1</sup>, A. NDIAYE<sup>2</sup>, H.T. SOW<sup>1</sup>, M. DIARRA<sup>2</sup>, D. NDIAYE<sup>3</sup>, A. TIDJANI<sup>3</sup>,  
O. NDOYE<sup>1</sup>, S.S. GASSAMA<sup>1</sup>

(Manuscrit reçu le 13 mars 2007, accepté le 30 avril 2007)

**RÉSUMÉ** Les dosimètres de radon tels que des nitrates de cellulose connaissent souvent une dégradation sous l'action de certains facteurs physiques ou chimiques. Nous avons étudié le comportement du CN-85, détecteur solide de traces nucléaires (DSTN), en atmosphère tropicale très ensoleillée (photo-vieillessement naturel) et dans une enceinte SEPAP 12/24 (photo-vieillessement accéléré artificiel), avant son exposition à une source de particules alpha (Am-241). Les résultats ont montré des modifications chimiques du détecteur, aussi bien en accéléré qu'en naturel, entraînant un changement de coloration. L'étude comparée des deux modes de photo-vieillessement a permis de déterminer un facteur d'accélération du vieillissement de 2,5. L'irradiation aux particules alpha des détecteurs a montré une perte d'efficacité de 98 % après 40 heures d'exposition solaire, ce qui permet de considérer une durée limite d'utilisation du DSTN en atmosphère tropicale ne dépassant guère une semaine. Cette durée d'utilisation pourrait être prolongée à l'intérieur des habitations du fait d'une baisse des températures et de la luminosité.

**ABSTRACT** Influence of ultraviolet radiation (UV) on the physicochemical stability of a radon dosimeter: the CN-85.

The radon dosimeters such as cellulose nitrates are often degraded under the action of certain physical or chemical factors. In our research we studied the behavior of the CN-85, solid state nuclear track detector, in very sunny tropical atmosphere (natural photo-ageing) and in enclosure SEPAP 12/24 (artificial accelerated photo-ageing), before its exposure to a source of particles alpha (Am-241). The results showed chemical modifications of the detector, involving a change of coloring in accelerated as well as in natural photo-ageing, yet more in the first mode. The comparative study of the two modes (of photo-ageing) made it possible to determine an ageing acceleration factor of 2.5. The irradiation of the detectors with the particles alpha has shown a 98% loss of effectiveness after 40 hours of solar exposure, which makes it possible to consider the operational limit duration of the detector as hardly exceeding a week, in tropical atmosphere. This utilization period could be prolonged inside the dwellings due to the fall of the temperature and luminosity.

**Keywords:** CN-85 / stability / UV lights / dosimetry / radon

<sup>1</sup> Laboratoire de Biophysique et Médecine Nucléaire, Faculté de Médecine, UCAD, Sénégal.

<sup>2</sup> Laboratoire de Biophysique pharmaceutique, Faculté de pharmacie, UCAD, Sénégal.

<sup>3</sup> Laboratoire des Rayonnements Naturels et Artificiels, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD, Sénégal.

## 1. Introduction

L'exposition au radon est devenue depuis environ une quinzaine d'années un problème de santé publique dans le monde. Le radon-222 provient de la désintégration de l'uranium-238 présent dans des proportions diverses dans les roches, les sols granitiques et volcaniques. C'est un gaz rare, sans activité chimique, dont une grande partie se désintègre dans le sol, l'autre partie diffusant puis se désintégrant dans l'atmosphère.

Les particules alpha émises par le radon et ses produits de filiation peuvent être enregistrées par des polymères détecteurs solides de traces nucléaires (DSTN) (Andru, 1998).

Comme la plupart des matériaux, ces détecteurs polymères peuvent être dégradés par certains facteurs (chimiques ou physiques). Sous l'effet des rayons ultraviolets et en présence d'oxygène, ces détecteurs peuvent poser des problèmes de sensibilité sous exposition naturelle de longue durée.

Les nitrates de cellulose sont les polymères les plus utilisés pour mesurer la concentration volumique du radon. Cependant, leur instabilité et leur biodégradabilité peuvent poser quelques problèmes susceptibles de conduire à sous estimer une exposition et, par conséquent, un risque.

Nous nous proposons d'étudier le comportement physico-chimique d'un nitrate de cellulose détecteur de traces nucléaires : le CN-85 ( $C_6H_8O_8N_2$ )<sub>n</sub>, sous l'effet des rayons UV en milieu tropical ensoleillé.

Nous procéderons d'abord à la photo-oxydation accélérée en enceinte SEPAP 12/24 (Service de Photo vieillissement Accéléré des Polymères), ensuite à l'étude du vieillissement naturel en vue de comprendre les mécanismes d'oxydation qui modifient les chaînes du polymère. L'évolution physico-chimique du polymère sera utilisée comme critère de dégradation. L'étude du vieillissement naturel est nécessaire à la détermination précise de la durée de vie du polymère en utilisation normale. La comparaison des deux modes de vieillissement permettra par la suite d'évaluer le facteur d'accélération de la dégradation.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Le détecteur utilisé

Il s'agit d'un film de nitrate de cellulose CN-85 : ( $C_6H_8O_8N_2$ )<sub>n</sub> constitué d'une feuille transparente d'épaisseur 100 µm.

## **2.2. Dispositif d'irradiation UV**

### **2.2.1. Photo-vieillessement accéléré**

L'appareil utilisé est une enceinte à irradiation UV artificielle appelée SEPAP 12/24, équipée d'une tourelle cylindrique animée d'un mouvement de rotation circulaire uniforme de 4 tours/minute.

Les films à irradier sont disposés sur des porte-échantillons métalliques évidés en leur centre, fixés sur la tourelle à l'aide de vis.

Chaque angle de l'enceinte est occupé par une lampe à vapeur de mercure « moyenne pression » de type Mazda de puissance 400 W. L'enveloppe des lampes filtre les radiations de longueur d'onde inférieure à 300 nm, ce qui nous rapproche des conditions naturelles d'éclairement. Le contrôle et la régulation de la température sont faits à l'aide d'une sonde de platine (PT 100) thermo-résistante en contact avec un échantillon du polymère irradié ; elle commande les ventilateurs placés sur les parois de l'enceinte, par l'intermédiaire d'un régulateur « Eurotherm ». La température dans l'enceinte peut être fixée entre 58 et 62 °C. Les temps d'exposition en photo oxydation accélérée étaient de : 6 heures ; 10 heures ; 16 heures ; 20 heures.

### **2.2.2. Photo-vieillessement naturel**

Les films de nitrate de cellulose sont fixés sur un cadre en bois incliné à 15° par rapport à l'horizontale. Le dispositif orienté Sud-Ouest est placé, sur une terrasse, à 30 mètres environ au-dessus du niveau du sol.

L'angle d'inclinaison du dispositif correspond à la latitude du Sénégal qui, du fait de son climat tropical (haute température, fort taux d'humidité, rayonnements solaires intenses), est très adapté pour l'étude du vieillissement naturel des matériaux. Les temps d'exposition en photo-oxydation naturelle étaient de : 20 heures ; 32 heures ; 40 heures.

## **2.3. Dispositif d'irradiation alpha**

Il comprend :

- une source émettrice alpha d'américium-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), dont l'activité est de  $219,3 \alpha \cdot \text{s}^{-1} \cdot 2\pi$  ;
- un tube P.V.C. de 3 cm de diamètre, 7 cm de hauteur ;
- un porte-échantillon circulaire.

L'irradiation  $\alpha$  des détecteurs se fait sous vide. Le tube P.V.C. est placé sur la source de particules  $\alpha$ , il permet de canaliser les particules  $\alpha$  de sorte qu'elles atteignent les détecteurs sous incidence normale. Une sorte d'engrenage fait tourner le porte-échantillon autour d'un axe passant par son centre, permettant d'amener les détecteurs face à la source de particules  $\alpha$  à tour de rôle.

Entre la source de particules  $\alpha$  et les détecteurs, une feuille de polymère (Makrofol KG de 16  $\mu\text{m}$  d'épaisseur) est insérée afin de réduire l'énergie des particules  $\alpha$  de 5,49 MeV à 3,5 MeV. Étant dans la gamme de sensibilité du CN-85 nous obtenons une efficacité de détection de 100 %.

Les temps d'irradiation étaient choisis en fonction du nombre de traces souhaité : 4 minutes (500 traces), 8 minutes (1000 traces), 12 minutes (1500 traces).

#### **2.4. Méthode analytique**

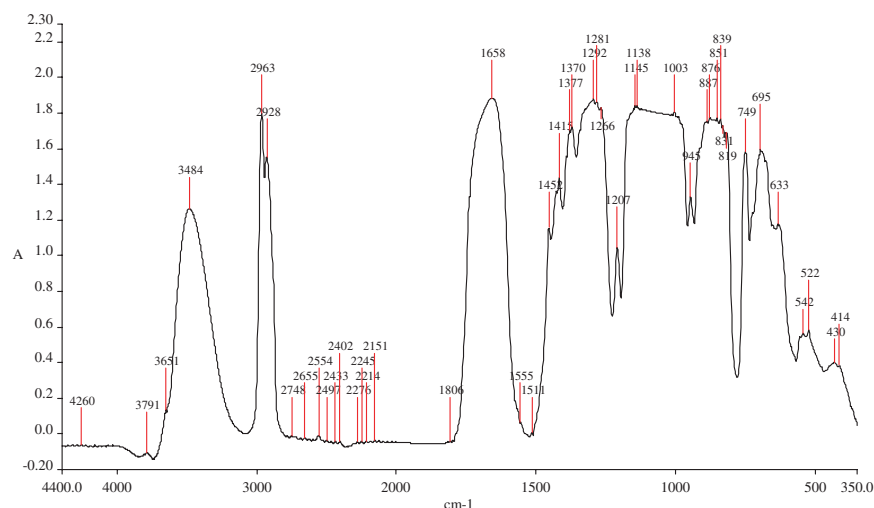
L'étude de l'effet du rayonnement ultraviolet (UV) sur le CN-85 s'est fait grâce à l'enregistrement de spectres infrarouges (IR) à l'aide d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (PERKIN-ELMER type BX FTIR) utilisant un détecteur de type *Deuterium Triglycine Sulfate* (DTGS) qui détecte les variations de température et les transforme en variation d'intensité. Elle permet, par interprétation des spectres obtenus, de déceler les groupements fonctionnels d'intérêt (alcool, aldéhyde, cétone, acide, ...), ainsi que les liaisons C-C intra chaînes (chaîne saturée, insaturée, caractère aromatique d'une molécule).

Le logiciel IR Spectroscopy<sup>®</sup> gère, traite et extrait les informations obtenues du spectre qui peut être enregistré sur une gamme de 4 400 à 350  $\text{cm}^{-1}$  avec une résolution pouvant aller jusqu'à 4  $\text{cm}^{-1}$ .

### **3. Résultats – discussion**

#### **3.1. Photo oxydation du CN-85**

Lors de la photo oxydation accélérée du CN-85, il a été noté une évolution du spectre infrarouge. Le spectre d'un échantillon irradié et après soustraction du spectre de l'échantillon vierge, montre de nombreuses bandes aussi bien dans le domaine des carbonyles (1 800–1 600  $\text{cm}^{-1}$ ) que dans celui des hydroxyles (3 800–3 000  $\text{cm}^{-1}$ ) (Fig. 1).



**Figure 1** – *Spectre après soustraction en photo oxydation accélérée (20 h).*  
*Spectrum after subtraction in photo accelerated oxidation (20 h).*

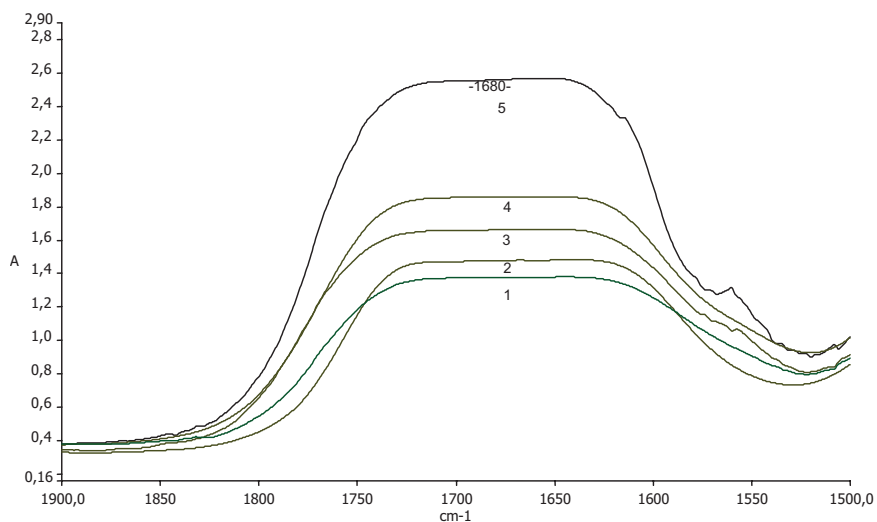
Un examen détaillé de ces zones au cours de l'irradiation nous donne :

- dans le domaine des carbonyles, une large bande centrée à  $1\ 660\ \text{cm}^{-1}$  ; cette bande est issue de l'absorption de plusieurs produits d'oxydation (acides, cétones) dont la différenciation est impossible à ce stade (Fig. 2) ;
- dans le domaine des hydroxyles, un massif centré à  $3\ 500\ \text{cm}^{-1}$  attribuable aux groupements tels que les hydroperoxydes et les alcools (Fig. 3).

L'apparition de ces bandes classiques lors de l'irradiation UV du CN-85 est assez bien expliquée dans la littérature. Il est admis que la décomposition de la cellulose se fait en deux étapes :

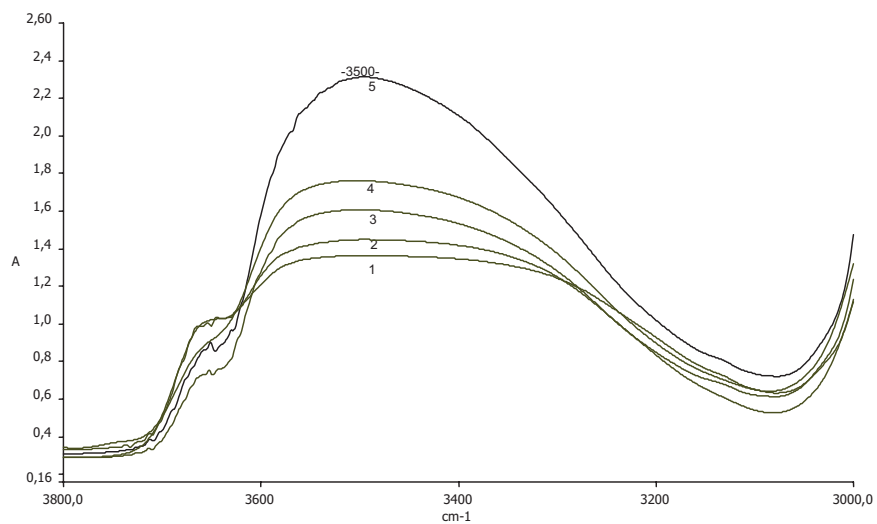
- une étape primaire dite d'initiation au cours de laquelle il y a formation de radicaux libres avec coupures de liaisons selon les réactions possibles suivantes (schéma 1). La réaction (1) est de loin la plus importante ;
- l'étape suivante est la combinaison avec l'oxygène des radicaux créés pour donner des peroxydes qui évolueront vers des groupements hydroperoxydes, ensuite survient la décomposition du CN-85 (schéma 2).

De manière générale, l'irradiation entraîne la formation de radicaux libres au sein de la matrice polymère et, en présence d'oxygène, il y a apparition d'espèces peroxydiques considérées comme les espèces primaires de l'oxydation. La coupure homolytique des hydroperoxydes ou des peroxydes génère des sous-produits



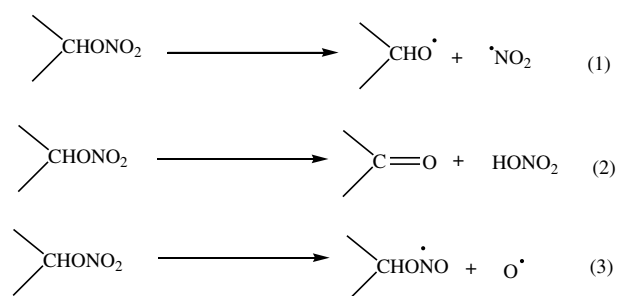
**Figure 2** – Évolution du spectre IRTF, dans la zone des carbonyles du CN-85 ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) photo-oxydé en enceinte SEPAP 12/24 à 60 °C durant : (1) 0 h, (2) 6 h, (3) 10 h, (4) 16 h, (5) 20 h.

*Evolution of spectrum IRFT, in the carbonyls zone of the CN-85 ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) photo-oxidized in SEPAP 12/24 enclosure at 60 °C during: (1) 0 h, (2) 6 h, (3) 10 h, (4) 16 h, (5) 20 h.*



**Figure 3** – Évolution du spectre IRTF, dans la zone des hydroxyles du CN-85 ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) photo-oxydé en enceinte SEPAP 12/24 à 60 °C durant : (1) 0 h, (2) 6 h, (3) 10 h, (4) 16 h, (5) 20 h.

*Evolution of IRFT spectrum, in the CN-85 hydroxyls zone ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) photo-oxidized in SEPAP 12/24 enclosure at 60 °C during: (1) 0 h, (2) 6 h, (3) 10 h, (4) 16 h, (5) 20 h.*



**Schéma 1 – Mode de décomposition du nitrate de cellulose (Selwitz, 1988).**  
*Decomposition of cellulose nitrate (Selwitz, 1988).*

carbonylés responsables de l'évolution de la structure (Jutier *et al.*, 1987). La consommation d'oxygène peut rendre également compte de l'évolution chimique primaire de l'oxydation, à savoir le degré de peroxydation au cours du photo-vieillessement.

Les hydroperoxydes formés sont reconnus comme étant les produits clés du mécanisme de dégradation ; leur décomposition conduit aux produits finaux tels que les cétones ( $1\ 715\ \text{cm}^{-1}$ ), les acides ( $1\ 720\ \text{cm}^{-1}$ ), les esters ( $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$ ), etc. Au cours de cette étape, surviennent des réactions de coupure de chaînes suivies de réarrangement.

Ces réactions associées à la décomposition secondaire du CN-85 telle que schématisée précédemment, entraînent une perte de coloration du CN-85 et de ses propriétés mécaniques (le CN-85 devient cassant).

Afin de vérifier que les mêmes mécanismes réactionnels de photo-oxydation accélérée se reproduisent en oxydation naturelle, nous avons mené une étude de dégradation sous exposition solaire. Sur la figure 4, une différence de la forme du spectre est visible comparativement à l'évolution spectrale sous conditions accélérées (Fig. 2). Ce qui traduit une différence de stoechiométrie entre la dégradation en naturel et en accéléré.

La bande d'absorption des esters (à  $1\ 740\ \text{cm}^{-1}$ ) est nettement visible dans les premiers moments de l'irradiation solaire. Par la suite, elle intègre la large bande observée précédemment.

Dans le domaine des hydroxyles (Fig. 5), les bandes obtenues en naturel sont plus affinées.

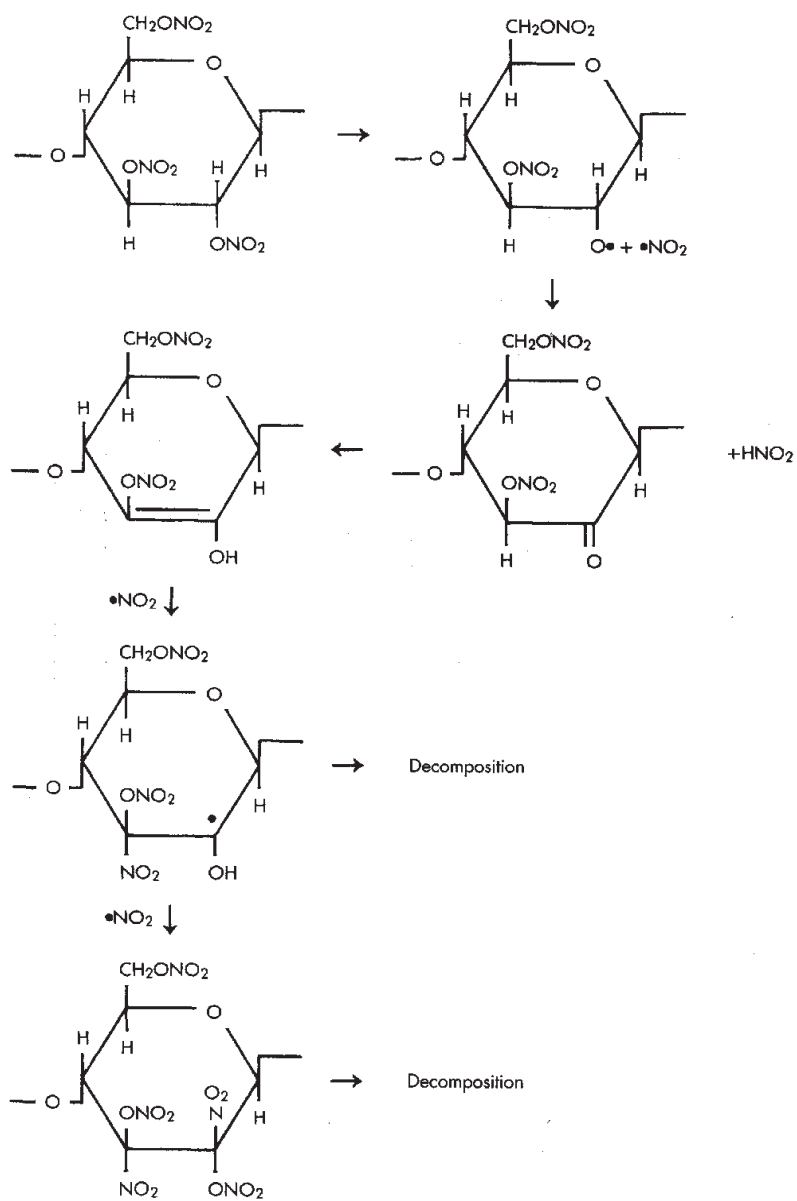
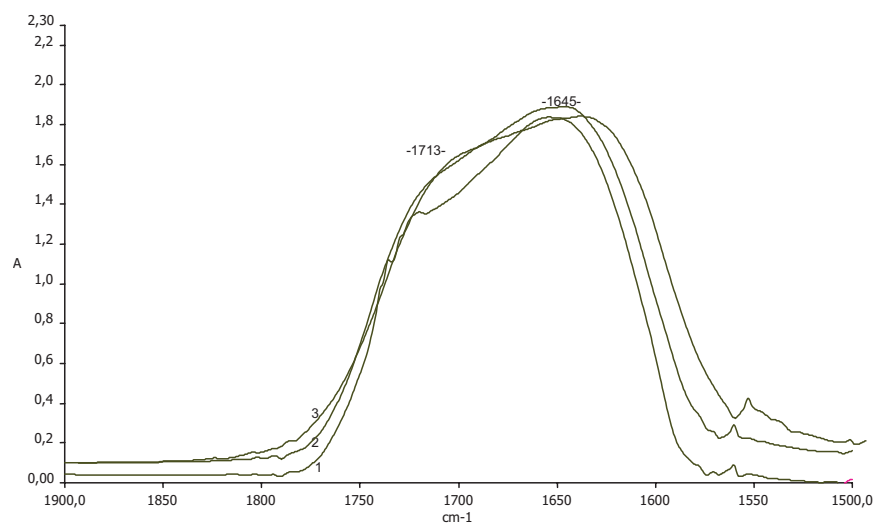


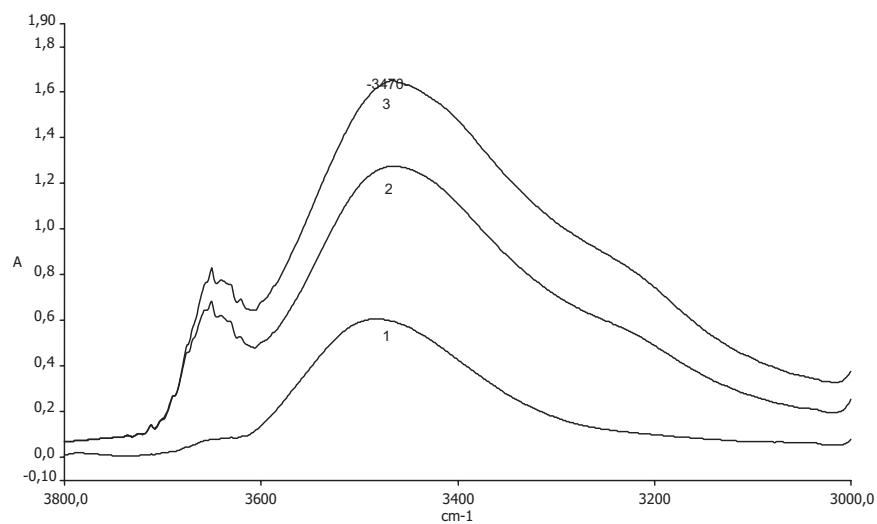
Schéma 2 – Mode de décomposition secondaire du CN-85 (Selwitz, 1988).  
 Secondary decomposition of CN-85 (Selwitz, 1988).





**Figure 4 – Évolution du spectre IRFT, dans la zone des carbonyles du CN-85 ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) en photooxydation naturelle durant : (1) 20 h, (2) 32 h, (3) 40 h.**

*Evolution of IRFT spectrum, in the CN-85 carbonyl zone ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) in natural photooxidation during: (1) 20 h, (2) 32 h, (3) 40 h.*



**Figure 5 – Évolution du spectre IRFT, dans la zone des hydroxyles du CN-85 ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) en photooxydation naturelle durant : (1) 20 h, (2) 32 h, (3) 40 h.**

*Evolution of IRFT spectrum, in the CN-85 hydroxyls zone ( $e = 100 \mu\text{m}$ ) in natural photooxidation during: (1) 20 h, (2) 32 h, (3) 40 h.*

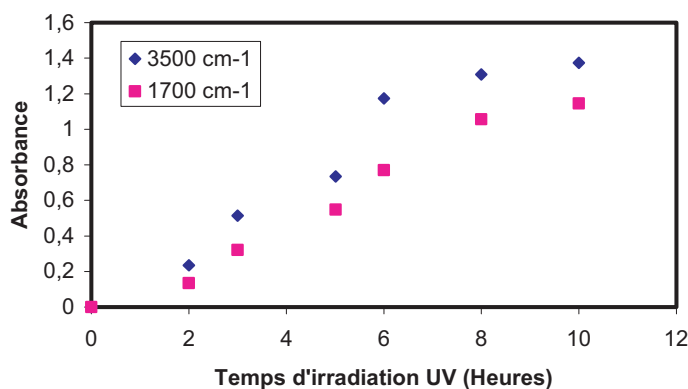


Figure 6 – Variation de l'absorbance à 3 500  $\text{cm}^{-1}$  (hydroxyles) et à 1 700  $\text{cm}^{-1}$  (carbonylés) en fonction du temps d'irradiation en enceinte SEPAP 12/24 du CN-85.

*Absorbance variation at 3 500  $\text{cm}^{-1}$  (hydroxyls) and at 1 700  $\text{cm}^{-1}$  (carbonyl) according to the irradiation duration of CN-85 in SEPAP 12/24 enclosure.*

Ces différences pourraient être attribuées à l'inégalité du flux de photons et de la température entre l'exposition naturelle et accélérée. Ces différences sont encore plus remarquables sur les cinétiques d'oxydation (Figs. 6 et 7).

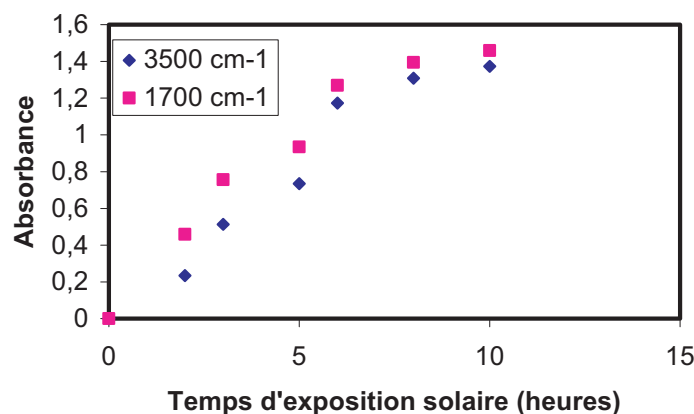
Dans le cas de la photo oxydation accélérée, l'apparition des carbonylés est plus précoce que celle des hydroxyles (Fig. 6) contrairement à la photo-oxydation naturelle (Fig. 7).

Ceci confirme la différence de stœchiométrie de la dégradation du CN-85 en naturel et en accéléré.

Le vieillissement naturel permet de déterminer la durée du bon fonctionnement du détecteur sous exposition UV. Jusqu'à présent, cette prédiction se faisait sans aucune base scientifique (« *by Try and error* »). Aujourd'hui en comparant les temps d'obtention d'une densité optique choisie d'une bande particulière sous exposition naturelle et accélérée, on peut définir de manière exacte un facteur d'accélération qui, à partir des essais, permet de prédire la « durée de vie » du matériau. Le facteur établi dans cette étude, à partir de l'absorbance à 1 715 ou 3 500  $\text{cm}^{-1}$  est de 2,5.

### 3.2. Effet de l'irradiation UV sur les propriétés de détection alpha du CN-85

Après 14 heures d'irradiation en enceinte SEPAP, le CN-85 présente une cinétique de détection qui tendrait vers un plateau et le détecteur devient jaunâtre. Au plan



**Figure 7** – Variation de l'absorbance à 3 500  $\text{cm}^{-1}$  (hydroxyles) et à 1 700  $\text{cm}^{-1}$  (carbonylés) en fonction du temps d'exposition solaire du CN-85.

*Absorbance variation at 3 500  $\text{cm}^{-1}$  (hydroxyls) and at 1 700  $\text{cm}^{-1}$  (carbonyl) according to the solar irradiation duration of CN-85.*

macroscopique, un phénomène d'effritement est aussi observé après 14 heures d'exposition. Les réactions de  $\beta$ -scission et de recombinaisons pourraient être responsables du changement de couleur et des phénomènes d'effritement (Fraise *et al.*, 2003).

La scission peut être créée dans la chaîne principale ou dans les chaînes des groupes substituants menant à la production de différents radicaux pouvant réagir par recombinaison ou par disproportion (Ranby et Rabeck, 1975).

Par contre, pour l'exposition naturelle, le jaunissement et les fissures apparaissent après 40 heures.

L'effet des radiations sur les polymères dépend initialement de la quantité d'énergie déposée plutôt que de la nature des photons ou des particules ionisantes.

Les bandes d'intérêt du CN-85 absorbent dans les domaines de 1 680 à 1 620  $\text{cm}^{-1}$  correspondant à la vibration asymétrique du groupement nitrate ( $\text{ONO}_2$ ), de 1 287 à 1 267  $\text{cm}^{-1}$  correspondant à la vibration symétrique de  $\text{ONO}_2$  (Sutej *et al.*, 1988), mais aussi dans les domaines des hydroxyles (3 800 à 3 000  $\text{cm}^{-1}$ ) et des carbonyles (1 800 à 1 600  $\text{cm}^{-1}$ ).

Le suivi de l'évolution chimique de la matrice polymère, au cours de la photo-oxydation, constitue une première approche conduisant à l'identification et à la

quantification des principaux produits d'oxydation. Cependant, il est connu que le processus chimique d'oxydation est une compétition entre coupures de chaînes et recombinaisons.

Plusieurs auteurs ont montré que l'exposition des D.S.T.N. aux rayons UV, en présence d'oxygène, rend les détecteurs « plus sensibles », ce qui se traduit par une augmentation des vitesses d'attaque  $V_B$  et  $V_T$ . Sutej *et al.* (1988) ont été les premiers à noter que, même si les rayons UV augmentaient la sensibilité des D.S.T.N., leur capacité de détection devenait incontrôlable. Dans deux études récentes, (Tidjani, 1991, 1990) a confirmé les résultats de Sutej en montrant que l'efficacité de détection des particules alpha du LR-115, du CN-85 et du CR-39 irradiés par des rayons UV, diminue bien que ces détecteurs soient plus sensibles.

Cette diminution de la capacité de détection des particules alpha après exposition aux UV a été également notée dans notre étude :

- en photo-oxydation accélérée (Fig. 8), après 6 heures d'exposition, aucune modification des capacités de détection des particules alpha n'a été remarquée. Cependant au bout de 14 heures d'irradiation, le DSTN présente une perte d'efficacité qui se traduit par une réduction de la pente de la droite ; on atteint un plateau au bout d'un certain temps d'irradiation alpha (8 mn), ce qui traduit une perte de l'efficacité du détecteur. Au-delà de 20 heures, la perte d'efficacité atteint 89 % et le détecteur devient inutilisable ;
- en photo-oxydation naturelle (Fig. 9), le détecteur garde toutes ses propriétés de détection jusqu'à 32 heures d'exposition UV pour accuser une baisse réelle d'efficacité à 40 heures, cette baisse est estimée à 98 %. Ceci permet de définir une limite d'utilisation de ce type de DSTN en atmosphère extérieure tropicale pour une période ne dépassant pas une semaine. À l'intérieur d'une pièce, cette limite augmente car les températures intérieures et la luminosité sont moindres. Cette détermination se fera lors de l'étude dosimétrique en cours dans notre laboratoire.

Comparé aux autres DSTN, en particulier le CR-39, le CN-85 présente une efficacité de détection vis-à-vis des particules alpha inférieure de 10 % (Khalid *et al.*, 1997), cependant pour les protons de faible énergie, il présenterait un bon rendement selon une étude récente (Arif *et al.*, 2004).

#### 4. Conclusion

L'estimation du risque d'exposition au radon passe d'abord par une mesure des activités volumiques de ce gaz. Les plastiques détecteurs solides de traces nucléaires sont principalement utilisés dans cet objectif, grâce à leur sensibilité aux particules alpha. Ces détecteurs enregistrent les impacts individuels des particules

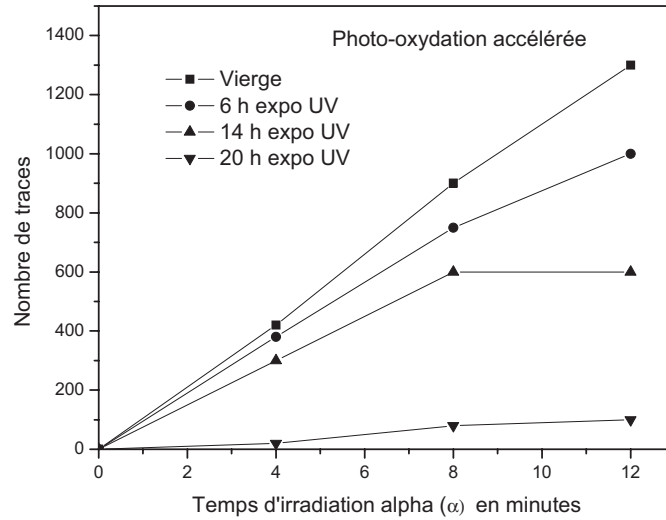


Figure 8 – Évolution du nombre de traces après différents temps d'exposition UV en photo-oxydation accélérée.

Evolution of the tracks number after various durations of UV exposure in accelerated photo-oxidation.

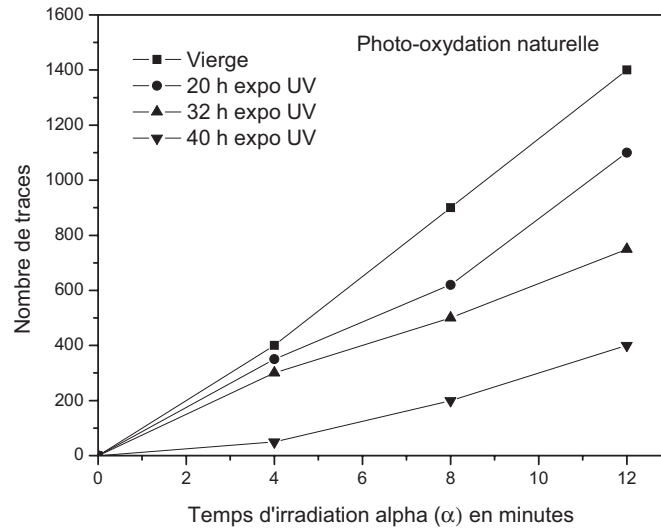


Figure 9 – Évolution du nombre de traces après différents temps d'exposition UV en photo-oxydation naturelle.

Evolution of the tracks number after various durations of UV exposure in natural photo-oxidation.

alpha, sans perturber le milieu. Un simple traitement alcalin permet de révéler, de visualiser, donc de compter les traces obtenues.

Parmi ces détecteurs, le nitrate de cellulose constitue un matériau très souvent utilisé (exemple du LR-115, CN-85). Nous avons cherché à mettre en évidence les effets des rayonnements ultraviolets sur le CN-85 (dosimètre de radon) par une photo-oxydation naturelle, et accélérée sous enceinte SEPAP 12/24. Les résultats ont montré une perte d'efficacité de détection alpha de 98 % après 40 heures d'exposition solaire ainsi qu'un changement de coloration après 14 heures en photo-oxydation accélérée. Cette perte d'efficacité de détection des particules alpha contribue à une sous estimation de la concentration volumique du radon..

L'étude comparative des deux modes de vieillissement a conduit à déterminer un facteur d'accélération de 2,5 de la photodégradation.

## RÉFÉRENCES

- Andru J. (1998) La pratique des méthodes de détection du radon par les plastiques détecteurs de traces nucléaires, *Radioprotection* **33**, 501-513.
- Arif M., Shazia B., Attiq Us.-S., Faizan Ul.-H. (2004) Track Registration Characteristics of Low-Energy Protons in Cellulose Nitrate (CN-85), *Turk J. Phys.* **28**, 283-288.
- Fraise F., Catastini C., Kumar A., Commereuc S., Verney V. (2003) Peroxides: Keys species about ageing of polymer, *33rd Meeting of the French Polymer Group*, Clermond Ferrand, November 25&27.
- Jutier J., Harrison Y., Premont S., Prud'homme R. (1987) A nonisothermal fourier transform infrared degradation study, *J. Appl. Polym. Sci.* **33**, 359.
- Khalid J., Al-Ahmady K.K., Fazal-ur-Rehman K., Safdar A., Qureshi A.A., Khan H.A. (1997) Relative performance of different types of passive dosimeters employing solid state nuclear track detectors, *Health Phys. Soc.* **73**, 629-632.
- Ranby B., Rabek J.F. (1975) *Photodegradation, Photooxidation and Photostabilisation of Polymers, Principles and Applications*. Wiley, New York.
- Selwitz C. (1988) *Cellulose Nitrate in Conservation*. The Getty Conservation Institute, USA.
- Sutej R., Ilic R., Najzer M. (1988) Response of track-etch dosimeters to environmental radon, *Nucl. Tracks Rad. Meas.* **15**, 547-550.
- Tidjani A. (1990) Effects of UV light on the efficiency of alpha particle detection of CR 39, LR-115 type II and CN-85, *Nucl. Tracks Rad. Meas.* **17**, 491.
- Tidjani A. (1991) Property modifications in UV irradiated polymeric track detectors, *Instrum. Meth. Phys. Res. B* **58**, 43-48.