Radioprotection, DUNOD. 1967
Vol. 2, n° 2, pages *119-147*

COMPTE RENDU DU COLLOQUE ORGANISÉ A VIENNE PAR L'A.I.E.A. DU 3 AU 7 OCTOBRE 1966 SUR LA DOSIMÉTRIE DES RAYONNEMENTS EN MÉDECINE ET EN BIOLOGIE PAR LES RÉACTIONS CHIMIQUES ET LES EFFETS DANS LES SOLIDES

D. BLANC - *Centre de Physique Atomique et Nucléaire de Toulouse*

B. CAIRE - *Service de Protection contre les Radiations*
Centre de Production de Marcoule

J. CERCY - *Service d'Etudes de Sûreté Radiologique*
Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache

Anne-Marie CHAPUIS - *Service Technique d'Etudes de Protection*
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

H. de CHOUDENS - *Service de Protection et des Laboratoires de haute Activité*
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble

J. CLUCHET - *Service de Protection contre les Radiations*
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

H. FRANÇOIS - *Service Technique d'Etudes de Protection*
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

Christiane LABAT - *Service Médical et Social*
Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel

Nicole PARMENTIER - *Département de la Protection Sanitaire*
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

M. PETEL - *Centre de Physique Atomique et Nucléaire de Toulouse*

G. SOUDAIN - *Service Technique d'Etudes de Protection*
Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses

Y. SUTRA-FOURCADE - *Service de Protection contre les Radiations*
Centre de Production de Marcoule

Ce compte rendu a été établi par le groupe de participants français signataires de cet article.

Ils souhaitent que ce texte n'apparaisse pas aux lecteurs comme un simple résumé de chaque exposé. Ils ont essayé de montrer les idées nouvelles, de décrire les techniques particulièrement intéressantes et d'exposer les résultats et les interprétations originales relevées dans les 36 communications qui ont été présentées.

Pour des raisons de commodité et pour faciliter aux lecteurs une consultation ultérieure des actes de la conférence, nous avons conservé la numérotation utilisée par les organisateurs et qui sera celle de la publication in-extenso faite par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.

On peut classer les sujets traités dans quatre grandes catégories :

I) Action des rayonnements sur les solides, phénomènes de radio photoluminescence et de radiothermoluminescence.

II) Dosimétrie avec les semi-conducteurs.

III) Dosimétrie chimique.

IV) Emploi d'autres détecteurs.

Avant d'exposer ces sujets précis, il est bon de rappeler certains aspects de la dosimétrie en biologie et en médecine.

Quelques communications ont traité des aspects généraux de la dosimétrie.

C'est ainsi que H.O. Wyckoff (SM 78/4) a présenté une étude d'ensemble des grandeurs et des étalons de rayonnements utilisés en dosimétrie.

Tout en reconnaissant l'influence d'autres facteurs, la Commission Internationale des Unités radiologiques admet cependant que les « effets du rayonnement sur un patient sont surtout caractérisés par l'importance de la dose absorbée ainsi que par sa distribution dans l'espace et dans le temps ».

L'auteur discute des quantités qui pourraient être prises en considération pour cette détermination dans le cas des rayons X et des électrons.

Une base commune de normalisation est nécessaire à toute comparaison des résultats thérapeutiques ou biologiques obtenus dans divers établissements.

Les laboratoires nationaux d'étalonnage qui travaillent en coordination avec le Bureau International des Poids et Mesures assurent bien le tarage des instruments utilisés pour la mesure des expositions dans des faisceaux de rayonx X de faible énergie. Rien encore n'a été fait pour la mesure des doses absorbées.

La plupart des données disponibles sur les doses en profondeur actuellement utilisées ont été établies pour l'eau dont le coefficient d'absorption massique pour les photons et le pouvoir d'arrêt pour les électrons sont très voisins de ceux du tissu mou dans le domaine d'énergies supérieures de 100 keV. Donc elle peut être adoptée comme matière de référence.

Pour utiliser les données sur les doses relatives en profondeur, il est nécessaire de les normaliser. En particulier il faut choisir un point de référence situé à une profondeur telle que les effets de courte portée dus aux rayonnements parasites (photons et électrons diffusés) soient minima.

En raison de ces effets, il ne semble pas convenable de se référer à une grandeur caractérisant par la source l'émission d'électrons ou de rayonnement X pour les applications radiologiques et médicales. En dernière analyse, il est préférable d'adopter la dose absorbée en un point déterminé au sein d'une matière de référence.

L'auteur procède ensuite à un examen critique de la précision des moyens utilisables pour effectuer cette mesure. Les détecteurs chimiques et thermoluminescents se prêtent particulièrement bien aux comparaisons entre laboratoires.

J.M. Boag (SM 78/3) passe en revue les méthodes de mesure des doses absorbées en biologie et en médecine.

Après un bref rappel historique des concepts de base et des méthodes de mesure de la dose absorbée, l'auteur analyse les différentes techniques actuellement utilisées. Elles peuvent se résumer ainsi :

1° Dosimétrie par ionisation : elle reste la plus largement utilisée et dans de nombreux cas la plus précise.

2° Dosimétrie par calorimétrie : c'est la méthode la plus séduisante puisqu'elle permet une mesure directe de l'énergie absorbée. Plus de 90 p. cent de cette énergie est transformée en chaleur et les quelques pour cent perdus en modifications chimiques influencent peu la mesure. Rappelons cependant, que les variations de température impliquées sont si faibles que cette technique ne peut pas être utilisée en biologie.

3° Dosimétrie chimique : cette méthode permet une mesure d'énergie absorbée dans un milieu équivalent aux tissus mais pose des problèmes d'étalonnage, en particulier au sujet du facteur *G* du dosimètre au sulfate ferreux. Les efforts actuels tendent à augmenter la sensibilité de ces réactions chimiques.

4° Dosimétrie par détecteurs solides :

— dosimètres photographiques : ils donnent des résultats rapides mais leur sensibilité varie avec la dose et l'énergie ;

— nouveaux détecteurs solides : ils ne peuvent pas être actuellement considérés comme des dosimètres absolus. L'auteur pense que dans l'avenir le calcul de l'énergie absorbée sera possible, si la densité des pièges est connue.

L'ensemble de l'examen des méthodes dosimétriques permet à l'auteur d'établir un tableau des critères de choix des dosimètres :

I - Ajustement du dosimètre au milieu.
II - Type de rayonnement utilisé.
III - Débit de dose.
IV - Gamme de dose.
V - Dimensions et mobilité du détecteur.
VI - Possibilité de la mesure du débit de dose ou de la dose intégrée.
VII - Détermination des distributions spatiales.
VIII - Erreur absolue et reproductivilité.

Pour les principes généraux et les méthodes mathématiques applicables à ce dosimètre, T.E. Burlin et M.F.K. Chan (SM 78/60) ont exposé les « nouveaux développements apportés à la théorie de la cavité en dosimétrie théorique ».

Conscients du fait que la théorie de la cavité était, jusqu'à maintenant, confirmée dans le cas où cette cavité était remplie d'un gaz, au sein d'un solide, ces auteurs se sont attachés à considérer les cas où la cavité est remplie d'un milieu condensé, c'est-à-dire liquide ou solide. Cette observation est de la plus grande importance pour l'application pratique à la dosimétrie des jonctions PN de silicium et des chambres d'ionisation remplies d'un liquide diélectrique.

Jonglant avec les calculs, les auteurs ont montré que les théories de Bragg-Gray et de Spencer-Attix s'appliquent si les dimensions de la cavité ne modifient pas le spectre d'énergie des électrons existant dans le milieu avoisinant. Ce prin-

cipe limite l'application de ces théories aux dosimètres solides et liquides ayant des dimensions de l'ordre de 10^{-5} cm; l'utilisation pratique est donc peu courante.

Cependant, la théorie de la cavité peut être modifiée et tenir compte de la déformation du spectre d'énergie due à la présence de la cavité ainsi que de la variation de l'énergie totale du spectre. On peut donc appliquer les calculs à des cavités beaucoup plus grandes.

Les auteurs prennent un exemple expérimental, celui du dosimètre au sulfate ferreux.

I) Action des rayonnements sur les solides luminescents

Les méthodes de dosimétrie par action du rayonnement sur les solides luminescents ont reçu de nombreuses applications et ont bénéficié de recherches importantes et efficaces dans de nombreux pays. Cet intérêt des médecins et des biologistes pour ce type de mesure est dû au fait que les matériaux utilisés permettent des réalisations de petite taille qui facilitent les applications « in vivo ». De plus ces dosimètrns sont commodes à encapsuler et à exploiter.

A. *Dosimétrie par la radiothermoluminescence*

J.H. Schulman (SM 78/1) a été un des premiers physicochimistes à s'intéresser à la dosimétrie du rayonnement par la modification des propriétés optiques des solides : colorations, apparition de photo et de thermoluminescence.

L'explication fondamentale de ces phénomènes peut se développer en utilisant les modèles de la physique et de la chimie du solide et Schulman relie entre eux les phénomènes induits par le rayonnement en utilisant les structures cristallines et les inclusions d'atomes étrangers au réseau.

Sans prendre parti sur les avantages comparés des deux systèmes, l'auteur décrit largement leurs performances respectives dans cette conférence qui introduit trois importantes sessions du congrès.

Au cours des deux premières séances consacrées en majeure partie à la dosimétrie par thermoluminescence, deux types de problèmes ont été abordés.

Des études théoriques ont été menées pour tenter d'expliquer le comportement sous radiations du fluorure de lithium et du borate de lithium. La compréhension des phénomènes observés (supralinéarité, saturation) peut nous renseigner sur les divers processus de stockage d'une partie de l'énergie absorbée dans les solides. On en est actuellement à proposer des modèles dont aucun n'est pleinement satisfaisant. Une théorie plus complète devrait permettre de mieux orienter les recherches vers d'autres substances ou d'autres méthodes pour recueillir les informations laissées par le rayonnement dans la matière.

D'autre part, les applications des deux substances les plus employées [CaF_2 (Mn) et LiF] ont conduit les auteurs à rechercher des formes bien adaptées à leurs besoins et faciles à manipuler : tubes de matière plastique remplis de poudres, dosimètres compacts tels que mélange LiF-Téflon, CaF_2-émail, etc.

Cependant, il semble que la thermoluminescence se fige actuellement autour des deux seules substances qui aient donné naissance à des dosimètres industriels : CaF_2 (Mn) et LiF. Le borate de lithium devrait cependant apporter à la dosimétrie un bon détecteur équivalent aux tissus, particulièrement intéressant pour mesurer les doses absorbées dues aux photons de faible énergie. Encore

faut-il que les utilisateurs éventuels manifestent leur intérêt pour ces problèmes et que les chercheurs dépassent le stade de l'empirisme où ils s'attardent parfois.

C. Brooke et R. Schayes (SM 78/20) reviennent sur les propriétés du dosimètre thermoluminescent au CaF_2 et des performances du lecteur MBLE. On peut faire la lecture soit en procédant à l'intégration de la lumière émise par le pic principal au cours du chauffage, soit en mesurant la hauteur de celui-ci. Des dosimètres spéciaux ont été réalisés notamment pour permettre une seconde lecture confirmant la première ou permettant l'utilisation d'une sensibilité mieux adaptée. On peut également interrompre le chauffage immédiatement après avoir atteint le sommet du pic, de sorte que les pièges correspondants ne sont pas complètement vidés.

Les caractéristiques du dosimètre normal sont ensuite décrites. En particulier les auteurs signalent un effet de « vieillissement » qui se traduit par une augmentation de la sensibilité, pour des mesures répétées de doses supérieures à 1 000 R.

Les problèmes posés par la mesure des très faibles doses sont ensuite examinés.

Les auteurs présentent les résultats de leur étude des effets de la lumière sur les dosimètres à base de CaF_2. L'irradiation de ce composé par les γ emplit non seulement les pièges responsables de la courbe de luminescence, mais aussi des pièges plus profonds qui ne sont pas vidés lors des lectures normales des dosimètres. Ce phénomène est fonction également de la dose reçue par l'échantillon. L'irradiation ultérieure par une lumière de longueur d'onde convenable entraîne le transfert des porteurs de charges liés à ces pièges profonds sur les pièges correspondant aux pics de luminescence normale.

Cette « dose transférée » est proportionnelle à la dose totale et peut être lue normalement. Comme on peut ne transférer qu'une fraction de la dose, l'opération peut être répétée plusieurs fois.

Enfin on compare les courbes de luminescence consécutives à des irradiations avec des particules α et des rayons γ.

P.R. Almond, A. Wright, J.F. Lontz (SM 78/22) décrivent les méthodes d'emploi de fluorure de lithium thermoluminescent et les résultats obtenus avec des faisceaux d'électrons de grande énergie.

Les auteurs se proposent de mesurer les doses absorbées dans l'eau, à diverses profondeurs, le long d'un faisceau d'électrons de 15 MeV. L'énergie des électrons variant de façon continue le long de leur trajectoire, il convient de connaître la réponse des dosimètres utilisés, en fonction de l'énergie des électrons. De même, il est nécessaire de vérifier la linéarité de la réponse de ces dosimètres en fonction de la dose absorbée.

On utilise des dosimètres thermoluminescents au LiF, la poudre étant contenue dans des capsules de téflon, ou incorporée dans des disques également en téflon.

Pour étudier la réponse en fonction de l'énergie, les auteurs les irradient soit avec des photons d'énergies comprises entre 24 keV et 22 MeV, soit avec des électrons de 6 à 24 MeV.

En ce qui concerne les photons d'énergie inférieure à 1,25 MeV, on mesure l'exposition avec des chambres d'ionisation étalonnées par le « National Bureau of Standard » et on en déduit la dose absorbée dans l'eau par une méthode de calcul non précisée. Aux énergies supérieures, pour les photons et pour les

électrons, on mesure les doses absorbées dans une solution de sulfate ferreux, cette dernière étant étalonnée à partir de mesures calorimétriques dans un bloc d'aluminium. Dans ce dernier cas, on passe de la dose absorbée dans l'aluminium à la dose absorbée dans l'eau en tenant compte du rapport des pouvoirs d'arrêt massiques des deux matériaux.

Les résultats les plus intéressants sont les suivants :

— En ce qui concerne le sulfate ferreux pour des électrons de 13 à 24 MeV, le coefficient G (Fe^{2+}) est trouvé égal à 15,4 molécules/100 eV $\pm$ 2 %.

— La réponse du LiF par rapport à la dose absorbée dans les tissus est fonction de l'énergie proportionnelle au transfert linéique d'énergie des électrons (calculs de Burch). Elle présente un maximum de 1,4 à 70 keV environ.

— Les mesures de doses absorbées dans l'eau à diverses profondeurs avec les dosimètres au LiF et avec des chambres d'ionisation Siemens (0,5 cm^3) et Baldwin-Farmer (0,6 cm^3) sont en bon accord pour un faisceau d'électrons incidents de 15 MeV.

— Les dosimètres au LiF ne sont plus linéaires pour des doses supérieures à 500 rads (accroissement de sensibilité de 17 % entre 200 et 1 000 rads).

En conclusion, ces expériences montrent qu'il est possible de mesurer les doses absorbées en profondeur, avec des dosimètres au LiF, dans le cas d'électrons de plusieurs MeV. Il convient cependant de noter la complexité des techniques d'étalonnage, l'utilisation de données non expérimentales pour passer de l'exposition ou de la dose absorbée dans l'aluminium à la dose absorbée dans l'eau, l'utilisation de photons pour l'étude de la réponse en fonction de l'énergie appliquée ensuite aux électrons. On peut craindre des erreurs systématiques pouvant être très supérieures aux erreurs admises par les auteurs. Enfin, les courbes de dose en fonction de la profondeur montrent que les faisceaux d'électrons utilisés n'étaient pas monoénergétiques ce qui rend impossible toute vérification théorique.

Dans l'introduction de leur exposé intitulé « Un dosimètre au fluorure de lithium pour des mesures « in vivo », S. Benner, S.M. Johansson, B. Lindskoug, P.T. Nymann (SM 78/25) rappellent les bases empiriques de la dosimétrie à l'aide du fluorure de lithium, permettant néanmoins de réaliser des mesures de routine acceptables. Ils proposent une simplification de cette dosimétrie, applicable à des mesures dans du matériel biologique et dans des fantômes.

La poudre de LiF (TLD 100) est enfermée à demeure dans un tube de téflon scellé à chaud. Chaque tube contient environ 10 milligrammes de poudre.

Pour la lecture des doses, on chauffe l'ensemble tube-poudre à l'aide d'une résistance électrique enroulée en serpentin.

Un dispositif classique permet de mesurer la quantité de lumière émise. Un obturateur commande l'instant et la durée de la mesure.

Ce type de dosimètre possédant certaines particularités, telle que le scellage des tubes, permet de faciliter les manipulations et permet d'éviter les erreurs dues à la pesée de la poudre ou aux inévitables pertes lors des transvasements.

On évite la luminescence parasite par le scellage des tubes dans une atmosphère d'azote et on compare le courant d'obscurité du photomultiplicateur aux résultats donnés par une chambre d'ionisation auxiliaire et une source de Krypton 85.

Certains inconvénients sont à signaler :

— le téflon ne pouvant être soumis à une température de 400°, la régénération de la poudre ne pourra pas se faire par la méthode habituelle, et la mauvaise distribution spatiale des températures rend ininterprétable l'enregistrement des variations du flux lumineux en fonction de la température.

Les résultats sont ceux de l'étude des variations de la sensibilité des dosimètres en fonction de la dose cumulative dans le cas d'irradiation avec une source de ^{60}Co et en fonction de l'énergie dans le cas d'irradiation avec des électrons rapides.

Les auteurs étudient les variations de la sensibilité en fonction de la dose, d'abord pour une poudre en atmosphère normale (air) puis, pour une poudre en atmosphère d'azote.

Si la lecture correspondant à une dose de 6 500 rads est prise comme base de référence vingt dosimètres simultanément irradiés permettent d'observer une augmentation de la sensibilité, la lecture relative passant de 0,55 à 1,25 environ quand la dose croît de 0 à 17 500 rads.

D'autres mesures avec 5 dosimètres donnent un maximum de sensibilité pour 26 000 rads environ. Avec 136 500 rads, la sensibilité ne représente plus que 35 % de la valeur maximale. Après une semaine, on observe une restauration. L'étendue relative des mesures varie de 55 % pour une dose d'environ 1 000 rads à 8 % pour une dose d'environ 18 000 rads. Une amélioration de la régénération de la poudre réduit ces chiffres à 35 % et 5 % environ.

Avec une atmosphère d'azote, l'expérience réalisée dans les conditions comparables à celles décrite plus haut, permet de constater que la présence de l'azote ne modifie pratiquement pas la variation de la réponse en fonction de la dose. Par contre, l'étendue relative des mesures est notablement réduite et n'excède jamais 10 %.

La sensibilité varie en fonction de l'énergie d'électrons rapides.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Energie (MeV)	Nombre de divisions/rad (électrons) Nombre de divisions/rad (^{60}Co)
15	0,94 ± 0,05
20	0,91
25	0,93
30	0,92
33	0,89

Les valeurs du tableau précédent semblent légèrement supérieures aux valeurs que l'on peut trouver dans la littérature. Les écarts restent cependant inférieurs à l'estimation de l'erreur.

D'autre part, les erreurs assez importantes qui entachent les différentes mesures sont probablement liées aux émissions qui correspondent aux « pics » de basse température, les lectures étant effectuées dans des délais variables après l'irradiation.

Toutefois, en prenant toutes les précautions élémentaires, par exemple en étalonnant chaque fois les dosimètres à l'aide de dosimètres de référence irradiés à une dose connue, il semble que l'on puisse attendre une erreur relative d'environ ± 3 % pour des doses de quelques centaines de rads.

Ces détecteurs ont été utilisés pour mesurer la dose absorbée au niveau des poumons de lapins lors d'irradiation de ces animaux par des rayons X conventionnels; après anesthésie générale par pentobarbital intraveineux, un cathéter est introduit dans la bronche terminale du lobe inférieur gauche sous radioscopie. Ce cathéter sert de guide pour introduire les dosimètres. Ces dosimètres sont changés dès qu'ils ont reçu une dose de 100 rads. Une deuxième application consiste à introduire les dosimètres dans la cavité droite du cœur par cathétérisme de la veine jugulaire.

Nous aurions souhaité connaître la manière dont les auteurs ont tenu compte de la dose probablement non négligeable délivrée par les contrôles radioscopiques (l'énergie de ce rayonnement se situe de plus dans la zone d'hypersensibilité du FLi).

D. Regulla, H. Pychlau et F. Waschmann (SM 78/30) ont exposé les propriétés des dosimètres en phase solide et leur utilisation en médecine. Après un bref rappel des avantages présentés par les dosimètres en phase solide, les auteurs montrent les résultats de leurs travaux dans ce domaine, étudiant les variations de leur sensibilité et la reproductibilité des mesures.

D'une manière générale, ce type de dosimètre conduit à une surestimation des doses pour les rayonnements de faible énergie. L'utilisation du fluorure de lithium d'une part, de filtres avec les autres détecteurs d'autre part, doit se faire avec prudence, surtout si la répartition énergétique du rayonnement est inconnue.

La reproductibilité est étudiée pour les verres au métaphosphate et pour le fluorure de Lithium.

Verres au métaphosphate

Cent dosimètres provenant d'une même livraison ont révélé des écarts de + 20 % et — 10 % de part et d'autre de la réponse moyenne. Il est donc nécessaire de prévoir des étalonnages individuels.

La régénération altère les propriétés des dosimètres. Par exemple, les écarts précédents deviennent respectivement + 85 % et — 25 % après la quatrième régénération : un étalonnage sera donc nécessaire après chaque régénération.

Par ailleurs, les valeurs lues immédiatement après l'irradiation ne représentent qu'environ 70 % des valeurs lues après un délai d'au moins 24 heures, par suite des perturbations causées probablement par la création de nouveaux centres de luminescence engendrés thermiquement par les électrons libérés à la température du laboratoire.

Si ces dosimètres permettent de renouveler les lectures, il faut toutefois remarquer que les expositions aux ultraviolets qui en découlent conduisent à une perte d'information non négligeable.

Fluorure de lithium

C'est le matériau le plus séduisant pour la dosimétrie par thermoluminescence.

Comme pour les verres, les auteurs ont constaté que le comportement des

dosimètres dépendait de l'échantillon de LiF utilisé, de sa structure physique, de la dose totale accumulée, du nombre et de la qualité des régénérations. Il faut donc encore procéder à un étalonnage individuel des dosimètres ou à un étalonnage des lots de poudre, et ceci après chaque régénération.

Les auteurs ont pu réaliser des mesures avec des cristaux uniques, sur la poudre obtenue par broyage de ces cristaux et avec des agglomérats de poudre présentant la même autonomie que les cristaux.

Ces agglomérats furent obtenus par compression à chaud à haute pression, soit de poudre d'origine cristalline, soit de poudre extraite directement d'une solution.

Cette poudre dite « non cristalline » attire notre attention. En effet, si sa sensibilité est beaucoup plus faible que celle de la poudre dite « cristalline » les agglomérats qu'on obtient avec elle présentent une sensibilité trois fois plus grande que ceux obtenus avec l'autre poudre. Cette sensibilité semble d'ailleurs beaucoup plus constante que celle de la poudre classique surtout après une pré-irradiation d'environ 9 000 rads.

La courbe représentant la thermoluminescence en fonction de la température ne présente en outre qu'un pic à 120°.

Les auteurs ont trouvé une bonne concordance entre les courbes de rendement en profondeur dans un fantôme d'eau (irradié avec une source de ^{60}Co) obtenues, respectivement avec une chambre d'ionisation, des dosimètres en verre au métaphosphate et des dosimètres au fluorure de lithium.

Ces courbes montrent une légère surestimation de la dose avec les verres au-delà de 16 cm de profondeur, et avec une source de radiothérapie conventionnelle (200 kV) (les points correspondant aux mesures effectuées avec les verres se trouvent presque tous au-dessus des autres).

Cet article constitue une bonne mise au point sur les précautions à prendre lorsqu'on utilise les dosimètres en phase solide.

La poudre dite « non cristalline » mériterait peut-être des examens plus attentifs bien que la température de son pic de thermoluminescence fasse craindre une perte importante des informations au cours du temps, même à la température ambiante.

Il semble bien que la non linéarité des phénomènes de radiothermoluminescence en fonction de la dose reçue inquiète de nombreux auteurs et de nombreux praticiens. Ainsi, J.R. Cameron, J. Wagner, C. Wilson, K. Doppke, D. Zimmerman (SM 78/21) avaient déjà tenté d'établir une théorie pour expliquer la supralinéarité observée au-delà de 10^3 rads avec des dosimètres au LiF (Conférence Internationale sur la Dosimétrie par luminescence du 21 au 23 juin 1965 à Palo Alto, Californie U.S.A.). Cette première approche consistait à admettre la formation de pièges supplémentaires dans le cristal sous l'effet de l'irradiation. La saturation qui apparaît vers 10^5 rads conduisait à attribuer au réseau cristallin un nombre maximal de pièges.

La théorie présentée ici suppose que l'irradiation crée des centres de recombinaison, favorisant la libération des électrons piégés. Cette hypothèse permet d'expliquer la supra-linéarité.

Quant aux pertes de sensibilité, elles sont attribuées aux dommages causés par l'irradiation, conduisant à la destruction de pièges. L'étude de ce phénomène jusqu'à 2,5 M rads fait apparaître deux constantes de destruction des pièges. L'une, la plus grande, est relative à la destruction des pièges vides. L'autre, plus

faible intéresse les pièges déjà remplis. Pour étayer cette hypothèse, les auteurs irradient des dosimètres maintenus à une température de + 290 °C. Comme les pièges du LiF sont vidés à + 190 °C, ils sont donc tous vides dans ces conditions d'irradiation. La courbe de perte de sensibilité en fonction de la dose ne présente plus qu'une seule pente, caractéristique de la destruction des pièges vides.

Ainsi, jusqu'à des doses inférieures à quelque 1 000 rads, le LiF conserve une sensibilité pratiquement constante, les dommages provoqués par l'irradiation étant négligeables. Entre quelque 10^3 rads et quelque 10^6 rads, il est supralinéaire, avec un maximum à 10^5 rads, à cause de la production de centres de recombinaison. Au-delà de 10^6 rads, les dommages deviennent prépondérants et la sensibilité diminue.

Cette communication apporte de précieux renseignements sur le comportement du LiF sous irradiation. Pratiquement, un tel dosimètre devra être réétalonné, après avoir reçu en une ou plusieurs fois, quelques milliers de rads. Il est cependant possible de tirer profit de l'augmentation de sensibilité d'un facteur 5 à 6 par une irradiation à 10^5 rads, suivie d'un chauffage à 280 °C pendant une heure. Mais, si cette théorie est plus élaborée que la précédente, elle se heurte à une objection analogue : les spectres de luminescence de dosimètres diversement irradiés sont les mêmes. Ainsi, doit-on admettre que les centres de recombinaison créés, responsables de l'accroissement de sensibilité, ont les mêmes propriétés que les centres initiaux. Les auteurs sont conscients de cette difficulté d'interprétation et poursuivent les recherches dans cette direction.

Il fut très agréable à l'auditoire d'entendre enfin une communication sur la thermoluminescence de composés autres que les traditionnels LiF et CaF_2.

R.D. Kirk, J.H. Schulman, E.J. West and A.E. Nash (SM 78/23) présentent leur étude sur la thermoluminescence du borate de lithium et son utilisation en dosimétrie.

Le Dr. Schulman et ses collaborateurs avaient déjà étudié l'utilisation du borate de lithium en dosimétrie (Conférence Internationale sur la Dosimétrie par luminescence du 21 au 23 juin 1965 à Palo Alto, Californie - U.S.A.). L'une des difficultés rencontrées était une mauvaise reproductibilité d'un lot à un autre. En augmentant la quantité préparée (75 g) et en utilisant des creusets de platine, on obtient un produit parfaitement reproductible et de sensibilité accrue. Cependant, on observe une supralinéarité dès 150 rads. Les auteurs ont étudié l'influence des proportions de Li_2CO_3 et de H_3BO_3 dans le mélange initial destiné à la préparation. Les courbes de réponse présentent des sensibilités et des supralinéarités différentes, sans qu'il y ait de corrélation très nette avec la composition du mélange initial.

Le borate de lithium a un comportement voisin de celui du fluorure de lithium : l'irradiation doit y induire des pièges ou des centres de recombinaison et détruire les pièges aux doses élevées. Cette remarque a donc conduit à tenter d'augmenter sa sensibilité par une irradiation préalable. Effectivement, après avoir absorbé une dose de 3.10^4 rads, les dosimètres chauffés à 300 °C ont une sensibilité nettement accrue (facteur 4 environ). Cet accroissement de sensibilité semble stable. Il se traduit sur les courbes de thermoluminescence, par l'apparition d'un nouveau pic vers 250 °C, alors que le pic initial se situe à 200 °C. La destruction des pièges par contre, conduit à une perte de sensibilité, pour des doses de quelques 10^5 rads.

En résumé le borate de lithium particulièrement intéressant pour la dosimétrie des photons en raison de sa composition équivalente aux tissus, présente actuellement un domaine d'utilisation limité. Pratiquement, la dose minimale mesurable est de 10 mrads dans les conditions les plus favorables, tandis que la réponse cesse d'être linéaire vers 150 rads. Si le seuil inférieur pouvait être abaissé, ce dosimètre pourrait cependant conduire à d'utiles applications en radioprotection. Le problème de la mesure des faibles doses ne peut être résolu qu'en surmontant deux difficultés :

— La luminescence jaune-orangée du borate de lithium est assez éloignée du maximum de sensibilité spectrale des photocathodes courantes. Il faut donc faire un choix judicieux du photomultiplicateur de lecture pour améliorer la sensibilité de la mesure.

— Il faut également améliorer la discrimination du rayonnement de luminescence et du rayonnement purement thermique.

C'est, semble-t-il, dans ces deux directions que doivent s'orienter les recherches.

B.E. Bjarngard et D. Jones (SM 78/24) font une mise au point sur les possibilités offertes par les matières thermoluminescentes incorporées dans une matrice de Téflon. Les auteurs insistent surtout sur les applications du FLi.

Les dosimètres se présentent soit sous l'aspect d'un « boudin » extrudé de 1 mm de diamètre livrable par tronçons de plusieurs dizaines de centimètres, soit sous forme de disques, d'épaisseurs variées découpés dans un cylindre moulé de 5 à 15 mm de diamètre. On peut prélever sur le boudin des petits cylindres dont la longueur peut atteindre 61 mm. Il est possible de prélever des disques de 15 μ dans des cylindres contenant des grains de FLI de 10 μ seulement.

Après fabrication, les dosimètres sont d'abord recuits à 300 °C pendant 17 heures puis étuvés à 80 °C durant 6 heures. Par ailleurs, les tolérances dimensionnelles sont aussi serrées que possible.

Dans ces conditions, les auteurs ont cherché à chiffrer l'erreur introduite par chaque paramètre identifié :

Paramètre	Ecart type exprimé en pourcentage	
	cylindres 1 × 6 mm	disques 12 × 0,4 mm
Dosimètre :		
Distribution de la matière luminescente .	négligeable	négligeable
Dimension du dosimètre	± 1,2	± 2,0
Traitement thermique - lecture	± 1,5	± 1,5
Stabilité électronique .	± 0,5	± 0,5
Mode de chauffage ...	± 1,5	± 1,5
Ecart type global	± 2,5	± 3

Les doses minimales détectables avec les cylindres de 1 mm de diamètre, 6 mm de longueur et pour les disques de 12 mm de diamètre, 0,4 mm d'épaisseur, sont respectivement de 1 rad et quelques dizaines de millirads.

Les auteurs attirent l'attention sur le gradient considérable de la dose quand on désire faire des mesures avec des rayons β ou des électrons de faible énergie. C'est pourquoi ils se sont efforcés de réaliser des disques très minces (15 μ d'épaisseur). A titre d'application, ils décrivent une expérience intéressante qu'ils ont faite pour préciser la répartition de la dose aux alentours de la surface de séparation entre le muscle et l'os.

La contribution de Mme MIHAILOVIC de la Faculté de Médecine de Lubliana en Yougoslavie (SM 78/27) nous a montré comment en dosimétrie l'utilisation du fluorure de Calcium ainsi que celle du fluorure de Lithium est facilitée si ces poudres peuvent être fixées au sein d'une matrice solide.

Beaucoup d'essais ont été entrepris pour réaliser de telles fixations (collage sur un support métallique, incorporation dans du Téflon). L'auteur incorpore la poudre à un émail; les problèmes qui ont dû être résolus sont évidemment ceux de la compatibilité chimique entre le fluorure de Calcium et l'émail, la transparence de l'émail, et l'élimination de la triboluminescence. D'après l'exposé, ces problèmes ont apparemment été surmontés. Par contre, subsiste l'inconvénient inhérent au fluorure de Calcium qui a une mauvaise réponse en fonction de l'énergie du rayonnement. L'auteur tente de compenser avec un filtre de plomb. Les résultats sont cependant sujets à caution, car d'après la courbe publiée, la réponse serait correcte jusqu'à 25 keV. On admet cependant que le filtre de plomb, s'il abaisse l'hypersensibilité des dosimètres vers les 100 à 200 KeV, provoque par contre une chute de la réponse en énergie au-dessous de 70 KeV. La courbe présentée ne donne aucun point entre 40 et 150 KeV, si bien qu'on ne peut pas savoir dans cette région, ne subsiste pas l'hypersensibilité que le filtre de plomb est censé corriger.

Malgré cette remarque, on peut noter que l'incorporation de matériaux radiothermoluminescents à un émail est une très importante contribution à la dosimétrie. Les émaux sont des composés qui possèdent en effet de très intéressantes propriétés mécaniques et optiques et leur application serait particulièrement fructueuse.

La comparaison des résultats obtenus entre différents laboratoires spécialisés est une préoccupation normale de nombreux de nos collègues et P.R. ALMOND et R.J. SHALEK (SM 78/26) nous montrent comment on peut employer les dosimètres au fluorure de lithium pour de tels travaux.

L'utilisation de générateurs X et de bétatrons en radiothérapie impose que les différents hôpitaux pratiquent une dosimétrie comparable. Des intercomparaisons doivent donc être organisées et le fluorure de Lithium par la petite taille de son conditionnement, sa robustesse et par sa facilité d'emploi peut facilement être envoyé d'un laboratoire à l'autre et constituer le dosimètre de choix.

L'auteur s'attache donc à étudier les précautions à prendre et les corrections à effectuer lorsque les dosimètres irradiés en un endroit sont ensuite envoyés pour lecture dans un autre laboratoire. Les principales causes d'erreurs proviennent naturellement de l'évanouissement durant le temps que sépare l'irradiation de la lecture ainsi que les variations de bruit de fond qui peuvent survenir

lors des transports. On peut réduire ces erreurs en lisant le dosimètre après un délai fixé, identique. Moyennant ces précautions, l'auteur parvient à une précision de 2 à 3 %.

Ce procédé est certainement très intéressant, car il permet de résoudre à moindre frais et par un processus relativement facile, le problème de la concordance des dosimétries dans divers laboratoires. Ce résultat est obtenu sans avoir à déplacer les chambres d'ionisation de référence qui sont toujours fragiles et encombrantes.

B. *Dosimétrie par la radiophotoluminescence*

Il semble qu'aux Etats-Unis après avoir été abandonnés ou négligés, les verres dosimètres au phosphate d'argent soient de nouveau considérés comme un moyen de pratiquer la dosimétrie des rayonnements.

Les appareils de lecture n'ont jamais été l'objet de travaux scientifiquement complets et on doit reconnaître que les performances générales des verres au métaphosphate ont dépassé très largement la technologie de lecture.

J. Kastner, D. Eggenberger, A. Long Necker, D. King, D. Schutt (SM 78/33) utilisent un faisceau de lumière cohérente pour exciter les verres au phosphate d'argent.

Ce qui limite la sensibilité des verres photoluminescents, c'est principalement la prédose et la composante visible émise par la lampe d'excitation U.V. Cette composante malgré les filtres va en partie impressionner le photomultiplicateur.

Il se trouve que la composante lumineuse due à la prédose est émise avec une constante de temps très courte (0,3 μs), alors que la composante due à l'irradiation est émise avec une constante de temps plus longue (3 μs).

En utilisant cette différence, l'auteur décrit un dispositif qui permet de mesurer de très faibles doses (de l'ordre de 1 mrad). Il emploie un laser qui émet des éclairs U.V. très brets et très intenses (10 à 20 nanosecondes). Le photomultiplicateur de lecture est retardé de 1 à 5 μs; donc l'intensité U.V. très forte émise en un temps très court permet d'exciter avec une grande efficacité la fluorescence du verre. Le photomultiplicateur ne lit cette fluorescence que lorsque la composante rapide de prédose est terminée et la lecture n'est pas gênée par la lumière d'excitation U.V. car le laser est alors éteint.

Ce dispositif est certainement très astucieux et très intéressant. Il permet en effet, de lire des doses très faibles. Le pinceau du laser très fin, mais très intense, permet l'emploi de très petits dosimètres (quelques microns de diamètre), ce qui serait intéressant en biologie, et rendrait possible la dosimétrie au niveau de la cellule.

Le gros inconvénient réside dans le prix d'achat du laser.

Klaus Becker (SM 78/31) fait observer au début de sa Conférence sur les caractéristiques des verres radiophotoluminescents que certains appareils de lecture permettent d'apprécier une dose γ de 10 mR $\pm$ 4 %. L'auteur s'intéresse surtout à la cinétique des phénomènes de Radiophotoluminescence. En particulier il étudie les temps d'établissement et les évanouissements.

L'auteur présente une courbe qui rassemble les résultats obtenus avec des verres R.P.L. d'origines différentes (Schulman, Yokota, CEA-CEC France, Baush et Lomb à bas Z, et verre Schott-Becker). Il résulte de l'examen de cette courbe que le verre Schulman serait le seul à atteindre sa réponse maximale

après 2 heures. Les autres échantillons ne se trouveront en équilibre qu'après 1 mois. La courbe montre, à notre avis, que l'accroissement de la radiophotoluminescence n'est que 2,7 % entre 1 jour et une semaine et se situe ensuite vers 0,9 % pour un temps écoulé compris entre 1 semaine et un mois (courbe 1).

K. BECKER présente la composition spectrale de la lumière émise par des verres dosimètres de différentes fabrications (fig. 2) et il étudie les variations subies par ces spectres en fonction des différents facteurs tels que la durée du temps d'établissement et les traitements thermiques. Il note que pour des doses très fortes, si la forme du spectre n'est pas modifiée, il apparaît un nouveau pic dans l'ultraviolet. De plus, le spectre n'est pas modifié pour des concentrations en argent comprises entre 0,5 et 5 %.

Les effets d'évanouissement et la sensibilité de la réponse à l'énergie du rayonnement incident augmentent avec la concentration en argent. Les traitements thermiques particuliers que recommande l'auteur ne peuvent pas être appliqués sans se heurter à de grandes difficultés pratiques et ne doivent être considérés que comme des expériences de laboratoires destinées seulement à mieux comprendre le mécanisme de la formation des centres F.

Il serait souhaitable, à notre avis, qu'avant de comparer les influences des traitements thermiques sur différents verres, l'auteur ait tenu compte de leurs compositions respectives. Il nous semble donc que les courbes 3 et 4 n'apportent pas des renseignements bien précis.

Le verre expérimental décrit par l'auteur possède certainement des caractéristiques dosimétriques intéressantes. A cause de sa composition, il est impossible qu'il présente certaines caractéristiques mécaniques nécessaires, c'est-à-dire, résistance à l'humidité, conservation des propriétés optiques dans le temps qui feraient de lui un dosimètre pratiquement réalisable.

Les docteurs R. MAUSHART et E. PIESCH (SM 78/32) ont montré comment il était possible uniquement avec des verres dosimètres au phosphate d'argent, d'assurer la dosimétrie du personnel et de réaliser des expériences sur fantome en médecine et en biologie. Les auteurs rappellent comment fonctionne le verre dosimètre et montrent qu'il peut répondre à des doses comprises entre 0 et au moins 1 000 R. Ils signalent que le temps d'établissement peut être diminué par un traitement thermique léger.

Les auteurs emploient au Centre d'Etudes Nucléaires de Karlsruhe un dosimètre constitué par un cube de verre placé dans une sphère métallique percée de trous pour réaliser la compensation en énergie. Une plaquette de matière plastique associée à la sphère contient un détecteur neutronique à seuil pour les neutrons rapides d'énergie supérieure à 2,5 MeV (P_{31} (np) Si_{31}) qui peut être ensuite utilisé par les neutrons thermiques (P_{31} (n γ) P_{32}). Les auteurs distinguent les doses pour chaque rayonnement par les différences de périodes des éléments incidents. En modifiant un compteur à scintillation liquide utilisé pour le tritium, les auteurs montrent que l'activité β peut être mesurée par l'effet CERENKOV.

Après avoir présenté les sensibilités des verres utilisés dans des champs de rayonnements mixtes, les auteurs montrent la manière pratique de déterminer la contribution de chaque type de rayonnement avec un seul de ces systèmes.

Les mesures des neutrons rapides peut se faire 1 à 8 heures après l'irradia-

tion et la mesure des neutrons thermiques après 24 heures par simple détermination de l'activité.

A ce même instant, la fluorescence est due à la fois à la dose γ et à la dose neutrons thermiques. La composante γ seule, résulte de la confrontation entre ces deux dernières mesures.

24 heures après l'irradiation, on peut mesurer la contribution à la fluorescence de la dose γ et de la dose neutrons thermiques. On peut alors soustraire la composante thermique pour obtenir la dose γ seule.

Les auteurs ont ensuite montré comment cette technique pourrait être appliquée à la biologie et à la médecine et quels en étaient les avantages.

Nous avons apprécié l'orientation résolue et le choix courageux de nos collègues allemands dans l'utilisation d'un système dosimétrique nouveau dont ils améliorent sans cesse les performances. Ils n'ont pas hésité à le choisir malgré les difficultés de cette technique qui fait appel à des explications théoriques encore chancelantes.

II) Dosimétrie par l'emploi de corps semi-conducteurs

Les jonctions à base de silicium offrent de multiples possibilités pour la mesure des champs de rayonnement dont l'action donne naissance, suivant les cas, à des impulsions, à des courants d'ionisation et à des variations du réseau cristallin. On peut regretter que les mémoires qui traitent de ce sujet soient si peu nombreux. Encore faut-il, parmi ceux-ci, faire abstraction du travail de A. Fernandez (SM 78/53) dont le sujet ne correspond pas exactement au thème de ce colloque. Il décrit, en effet, les différents stades de fabrication — lavages, attaque chimique, diffusion — d'une jonction p-n selon la méthode classique de diffusion de phosphore dans du silicium de type p. Il obtient ainsi des jonctions d'épaisseur 0,7 mm.

Le détecteur à « avalanche » étudié par H. Bernt, G. Keil et I. Ruge (SM 78/17) est une jonction fonctionnant sous une tension inverse voisine de la tension de claquage. Il se produit une multiplication des charges, déclenchées par une charge minoritaire présente dans la zone de champ intense, et donnant naissance à une impulsion. Malheureusement les premiers essais ne sont pas concluants :

— Le mécanisme de fonctionnement est mal connu.
— Le volume sensible du détecteur est très petit, compris entre 2.10^{-5} et 3.10^{-2} mm^3.
— Pour un débit de fluence donné, le nombre d'impulsions est une fonction très sensible de la variation de tension appliquée et de la température.
— Le détecteur est sensible au rayonnement électromagnétique et aux particules β d'énergie élevée. On ne connaît pas la variation de sensibilité avec l'énergie. Il semblerait que, pour les énergies supérieures à 100 keV et quand l'équilibre électronique est réalisé, le nombre d'impulsions par rad absorbé dans le silicium augmente légèrement avec l'énergie.
— Le bruit de fond dû à la génération thermique de porteurs est de l'ordre de 10 impulsions par seconde.
— Selon les auteurs, les détecteurs peuvent être utilisés entre 10^2 et 10^6 R/h.

Pour la dosimétrie des rayonnements électromagnétiques, R.P. PARKER et B.J. MORLEY (SM 78/14) utilisent des jonctions à barrière de surface 2 cm^2 (UKAEA - HARWELL) ou 7 mm^2 (20° Century Electronics) et comparent leurs différents modes d'utilisation.

Entre 10 μR/mm. et 0,1 R/mm. les jonctions fonctionnent comme des compteurs : le bruit de fond est de l'ordre de 20 c.p.m., la réponse moyenne est de $8{,}75.10^6$ coups/R, si le seuil inférieur est fixé à une valeur équivalent à 115 keV, la variation de la réponse pour les rayonnements γ de ^{198}Au, ^{131}I, ^{137}Cs, ^{60}Co est inférieure à 30 %.

Entre 0,1 R/mm. et 10^5 R/mm. le photocourant (dont la mesure est plus facile et plus intéressante que celle de la tension en circuit ouvert) est proportionnel au débit de dose et indépendant de la température. L'inconvénient majeur de ce système réside dans la variation de sa réponse en fonction de l'énergie (exprimée en nA pour 1 R/mm). Mais pour un spectre donné, ce qui est le cas en radiothérapie, ces détecteurs permettent des mesures rapides et précises « in vivo » et le contrôle de l'homogénéité des champs.

Jusqu'à présent le calcul du photocourant est effectué pour des jonctions p-n et sans tenir compte du ralentissement des électrons. D. BLANC et al. (SM 78/41) ont repris ce travail en utilisant une théorie à multigroupes. Le calcul s'applique aux jonctions à barrière de surface pour un rayonnement γ incident complexe; il tient compte de l'absorption du rayonnement incident dans le silicium. Le courant de court-circuit est proportionnel au flux de photons incidents. Ceci est vérifié expérimentalement pour des rayons X d'énergie comprise entre 25 et 250 keV et pour le rayonnement γ du cobalt 60. Les jonctions utilisées ont des caractéristiques très voisines de celles étudiées par PARKER et la variation de la réponse en fonction de l'énergie présente la même hypersensibilité au rayonnement de faible énergie.

III) DOSIMÉTRIE CHIMIQUE

La dosimétrie chimique est un système dosimétrique basé sur les effets des rayonnements dans la matière et plus précisément sur les changements de la structure de certaines substances chimiques après irradiation. C'est une très bonne méthode de mesure indirecte de la dose absorbée. Elle couvre une très vaste gamme de doses comprise entre 1 et 10^{10} rads, selon le système chimique choisi. Ses applications sont donc nombreuses et diverses mais parfois difficiles.

Parmi les communications présentées pendant ce Colloque, il en fut une fort ntéressante qui nous permit d'avoir une vue d'ensemble de la dosimétrie par réactions chimiques déjà étudiée depuis plus de quarante ans. Il s'agit de la communication de R.K. BROSZKIEWICZ « La dosimétrie chimique des rayonnements ionisants » (SM 78/2). L'auteur a d'abord rappelé les facteurs qui déterminent le choix d'un système dosimétrique et les conditions que doivent remplir les dosimètres, dont les plus importantes sont :

— la proportionnalité entre la réponse chimique et la dose absorbée et, si possible, la dépendance linéaire entre les transformations chimiques et la dose;
— l'indépendance vis-à-vis du débit de dose et des caractéristiques spectrales des rayonnements, ainsi que du transfert d'énergie linéïque;

— la stabilité du système avant et après irradiation particulièrement sous l'action de la lumière et de l'oxygène de l'air, des variations de température et de la présence d'impuretés.

Puis R.K. Broszkiewicz mentionne les difficultés que rencontre la dosimétrie des très faibles doses, ce qui est le cas en médecine et en biologie. En effet, pour de très faibles doses, le rendement radiochimique reste bas et l'analyse des infimes concentrations de substances formées est difficile. Il faut rechercher, d'une part des corps chimiques dont le rendement de transformation sera relativement élevé et d'autre part des méthodes d'analyse extrêmement sensibles. De plus, pour certains dosimètres de très petite taille, la quantité de substances employée reste faible.

Après ces généralités, l'auteur passe en revue les différents systèmes chimiques qui ont été étudiés, non sans avoir rappelé d'abord le mécanisme de la radiolyse de l'eau qui fut à l'origine de la radiochimie. Si ce mécanisme n'est pas encore entièrement connu, les recherches déjà réalisées permettent le développement de nombreux systèmes dosimétriques. Parmi ces systèmes, deux ont été et sont encore largement employés. Il s'agit d'une part, de la transformation chimique des solutions de sels de fer et d'autre part de la réduction des sels cériques sous l'effet des rayonnements.

Le premier de ces dosimètres, connu sous le nom de dosimètre de Fricke, est un des plus anciens. Il est parfaitement décrit par l'auteur de la communication. Il se compose d'une solution de sulfate ferreux en milieu sulfurique dilué. L'irradiation de cette solution produit l'oxydation des ions ferriques et la mesure de la concentration du système en ions ferriques permet de déduire la dose absorbée. Pour obtenir une bonne réponse du dosimètre, il y a, bien sûr, certaines conditions à respecter. En particulier, il faut veiller à supprimer toutes les impuretés et éviter l'oxydation lente du sulfate ferreux par l'oxygène de l'air.

C'est un système chimique qui est utilisable avec réserve en médecine et en biologie, car il couvre une gamme de doses allant de 4.10^4 à 4.10^4 rads. Or, si la limite supérieure est suffisante pour les applications médicales du dosimètre, la limite inférieure reste trop élevée. Il a donc été nécessaire d'apporter des modifications de façon à abaisser cette limite inférieure, par exemple le dosage de l'ion Fe^{3+} par des méthodes analytiques plus sensibles que la classique spectrophotométrie directe du sulfate ferrique dans la bande d'absorption de 304 mμ.

Un deuxième dosimètre très connu est le dosimètre à sels de cérium, basé sur la réduction des sels cériques (sulfate) en milieu sulfurique et ensuite dosé par spectrophotométrie à 320 mμ.

Pour élargir le domaine d'application de ces deux types de dosimètres et en particulier pour mesurer de très faibles doses, deux chercheurs Norman A. Frigerio et Victor D. Henry, ont apporté des modifications qu'ils présentent dans leur communication intitulée « Dosimètres à sels de fer et de cérium pour les doses de 50 à 1 500 rads » - SM 78/12.

Ils proposent l'emploi du thiocyanate d'ammonium, lequel ajouté à la solution de Fricke augmente beaucoup la sensibilité et la précision tout en diminuant l'influence de la température. La détermination du thiocyanate ferrique formé est facile par colorimétrie dans le visible à 475 mμ.

Pour le dosimètre à sels de cérium, Frigerio et Henry ont mis au point une méthode de dosage par fluorimétrie du sulfate cérique en utilisant la propriété

des sels cériques qui est d'oxyder quantitativement la fluorescéine. La technique fluorimétrique de dosage est simple et rapide et beaucoup plus sensible que la spectrophotométrie. Aussi a-t-elle permis d'abaisser la limite inférieure de mesure des doses. On peut ainsi mesurer de 0 à 2 500 rads.

Il existe bien d'autres systèmes dosimétriques en milieu aqueux, R.K. Broszkiewicz les a rappelés brièvement avant de mentionner la propriété que possèdent certaines substances organiques colorées de se décolorer sous l'effet des rayonnements. Par exemple, un composé du type quinone, le bleu de méthylène, par réduction donne une leucobase incolore ou par réaction avec les radicaux OH provenant de la radiolyse de l'eau, fournit irréversiblement des produits d'oxydation incolores. Inversement, des substances incolores peuvent, sous l'effet d'une irradiation, donner naissance à des produits colorés faciles à doser.

A côté des dosimètres aqueux et des substances colorées, ils rappellent l'existence des dosimètres organiques parmi lesquels on classe les systèmes composés d'hydrocarbures halogénés. Ces dosimètres sont dits à une ou deux phases. Par exemple, une phase sera de l'eau saturée de chloroforme ou de tétrachlorure d'éthylène, tandis que la deuxième phase sera une solution aqueuse d'un indicateur de *p*H. L'acide chlorhydrique libéré par l'action des rayons réagit sur l'indicateur de *p*H qui donne alors la mesure de la dose absorbée, soit par colorimétrie, soit par spectrophotométrie.

Ce type de dosimètre permet de mesurer des doses de rayonnements mixtes en associant plusieurs dosimètres. Par exemple :

— 1 dosimètre rempli d'une solution de trichloréthylène additionnée de LiCl.
— 1 dosimètre rempli de la même solution sans LiCl, mais gaîné d'un alliage lithium-aluminium.
— 1 dosimètre au tétrachlorure d'éthylène (deux phases) sous gainage lithium-aluminium et plomb.

Le premier dosimètre donne la mesure des rayons γ et des neutrons rapides. Le second dosimètre des doses γ et des doses neutrons thermiques, le dernier des doses γ seulement.

Ces dosimètres sont plutôt destinés à la mesure des doses importantes en chimie des rayonnements ou en technologie nucléaire.

La mesure des rayons γ dans des rayonnements mixtes, en particulier lorsqu'ils sont accompagnés de neutrons rapides, a fait l'objet d'une intéressante communication de E. Proskch « Utilisation des perfluoroalcanes comme dosimètres chimiques insensibles aux neutrons rapides ». Proskch (SM 78/9) a constaté que l'emploi des hydrocarbures perfluorés était bien préférable à celui des hydrocarbures chlorés. En particulier, les perfluoroalcanes sont peu sensibles aux neutrons. Ils donnent par irradiation CF_4 ou C_2F_6 que l'on détermine par chromatographie en phase gazeuse. On peut ainsi mesurer les doses de 1 à 50 Mrad avec une bonne précision et reproductibilité convenable. Pour cela, l'auteur a étudié différentes substances, soit des mélanges bon marché mais qu'il est nécessaire de purifier, soit des composés bien définis et purs, par exemple des perfluoro-n-hexanes plus coûteux.

Cette étude n'est pas terminée et Proskch se propose de déterminer plus précisément certains facteurs encore mal connus, comme l'importance du débit de dose sur la réponse de ces dosimètres.

Il reste encore à mentionner pour mémoire deux types de dosimètres chimiques, plus complexes : les dosimètres à base de polymères et les dosimètres gazeux. Dans les premiers, il y a polymérisation ou dépolymérisation de la substance et certaines de ces substances ont des propriétés très intéressantes en dosimétrie car elles ont une composition à peu près équivalente aux tissus biologiques (ainsi la polyacrylamide en solution aqueuse). D'autres, comme le Perspex, prennent la forme que l'on désire. Ils jouent maintenant un rôle important dans la dosimétrie sur fantomes, ainsi que d'autres systèmes chimiques plus simples qu'on peut « remplir » d'agar-agar.

Le dosimètre de FRICKE au sulfate ferreux reste une des techniques d'étalonnage des plus précises et des plus faciles à mettre en œuvre, à condition qu'on travaille soigneusement et que certains modes opératoires soient rigoureusement respectés.

A.T. REDPATH, J. LAW, J.R. GREENING, K.J. RANDLE ont essayé de déterminer les valeurs de G pour des rayons X d'une énergie de 15 keV et d'énergies inférieures (SM 78/10).

Les valeurs de G du sulfate ferreux ont été calculées pour les rayons γ du Cobalt 60.Les auteurs ont voulu mesurer G pour un rayonnement de faible énergie. Ils ont utilisé la délicate méthode de calorimétrie. Ils placent successivement devant un faisceau de rayons X un dosimètre au sulfate ferreux et un calorimètre. Ce dernier donne l'énergie libérée sous forme de chaleur par absorption totale et le sulfate ferreux donne le nombre d'ions formés. Les auteurs décrivent les détails de construction du calorimètre dont l'élément sensible est une feuille d'or de 75 μ d'épaisseur qui absorbe plus de 99,9 % des rayons X de 20 keV. La chaleur est transformée en courant électrique grâce à une thermistance. La mesure du courant permet de calculer l'énergie dissipée. On prend de grandes précautions pour isoler la feuille d'or et éviter les déperditions de chaleur par conduction. Les auteurs trouvent $G = 12{,}7 \pm 0{,}3$ ions/100 ev. L'erreur essentielle provient des difficultés de positionnement exact du calorimètre et du dosimètre au sulfate ferreux. Quelques mesures effectuées à 15 keV donnent une valeur de G sensiblement plus faible.

Les auteurs ont comparé la valeur de 12,7 pour 20 keV avec des valeurs de 15,4 à 15,8 pour les rayons gamma du Cobalt 60, mais il semble que ces dernières valeurs soient un peu élevées. D'autres auteurs ont donné, en effet, des chiffres beaucoup plus voisins de 12,7.

Les valeurs de G pour le sulfate ferreux restent encore actuellement chez les radiochimistes un sujet de polémiques. Cette communication dont les résultats expérimentaux sont obtenus par la meilleure de toutes les méthodes de dosimétrie mais qui est aussi la plus délicate, ne va pas contribuer à clore la discussion.

Le sulfate de fer est très employé en dosimétrie et il faut remercier H. SVENSSON, C. PETTERSSON, G. HETTINGER (SN 78/13), d'avoir étudié l'influence du stockage dans des petites cellules de polystyrène, sur les solutions des dosimètres au sulfate ferreux.

Afin de ne pas provoquer de distorsions des champs de rayonnement à mesurer, lorsque par exemple on doit disposer des dosimètres dans un fantôme,

les auteurs ont utilisé des cellules en polystyrène (matériau pratiquement équivalent à l'eau) contenant une solution de sulfate ferreux.

Ils ont remarqué que, lorsque la solution du dosimètre est stockée dans des cellules d'irradiation en polystyrène (ou autre matière plastique), certains effets apparaissent dans la mesure photométrique :

1. Variation du pouvoir absorbant dans les dosimètres non irradiés.

2. Augmentation de la réponse optique des dosimètres irradiés, stockés avant irradiation.

Il y a deux causes essentielles à ces déviations :

— La durée du temps de stockage entre le remplissage des cellules et l'irradiation.

— La dimension de la cellule de polystyrène, et plus particulièrement, la valeur du rapport de la surface au volume.

A titre d'exemple, des cellules ayant un rapport $S/V = 5\ cm^{-1}$ (volume 3 ml) donnent des résultats corrects, même après un stockage de deux à trois heures avant irradiation, alors que sur des cellules de $S/V = 27\ cm^{-1}$ (0,4 ml de volume) des effets sont décelables après 15 minutes de stockage. Les auteurs ont également observé que les dosimètres irradiés donnent des résultats cohérents indépendants du temps de stockage et du rapport S/V, pour autant qu'aucun pouvoir absorbant n'apparaisse dans les cellules non irradiées du même lot.

Ces différents effets ne sont pas négligeables, en particulier lorsqu'il s'agit de procéder à des intercomparaisons d'étalonnage entre différents laboratoires. Il semble donc qu'il soit indispensable d'étudier systématiquement le problème des matériaux constituant les récipients des dosimètres chimiques.

I. Dvornick, U. Zec, F. Ranogajec (SM 78/15) proposent un système chimique dans lequel on mesure la formation radiolytique d'acide chlorhydrique. Ce sont des dosimètres chimiques à bas niveau, du type aéré éthanol-thymolsulphonphtaleïne. Pour éviter une recombinaison du HCl formé par chlorutation, le produit est utilisé en solution organique diluée avec de l'éthanol comme stabilisant. L'indicateur est la thymolsulphonphtaleïne.

Le système décrit est à base de toluène-éthanol-chlorobenzène. On irradie 10 ml de la solution, dans un récipient en verre préalablement siliconé avec des débits de doses qui varient entre 44 et 1 145 rads/mm. Les doses sont déterminées par la méthode du sulfate ferreux.

L'acide chlorhydrique est dosé en mesurant la variation de densité optique à la longueur d'onde de 5 530 Å où l'indicateur acide présente la plus forte absorption.

L'auteur étudie l'effet de la température, de l'eau et des phénomènes retardés en fonction du débit de dose.

La gamme de sensibilité varie en fonction de la concentration des différents constituants. La limite supérieure est de l'ordre de 9 000 rads. La limite inférieure n'est pas indiquée, mais paraît être de l'ordre de 100 rads. La précision est bonne. La déviation standard est de 0,37 % sur 42 mesures indépendantes.

Ce système est intéressant car il nécessite un matériel réduit. Il est bon marché et facile à exploiter. Son utilisation auprès des accélérateurs et dans les cas d'accidents nucléaires rendrait de grands services.

G.C. de BAERE, M.J. de PROOST, T.K. VAN ELSEN, étudient tout particulièrement la dosimétrie γ pour des niveaux élevés, par le bichromate de potassium (SM 78/16).

Le dosimètre de FRICKE ne peut guère fonctionner au-delà de 40 000 rads et le système proposé devrait être utilisé pour de fortes irradiations. Les auteurs emploient une solution sulfurique de bichromate de potassium. Sous l'effet du rayonnement, le bichromate est réduit. Les variations de densité optique peuvent être mesurées soit à 3 500 Å, soit à 4 400 Å.

Le dosimètre de FRICKE est utilisé pour l'étalonnage. Les débits de dose varient de 6.10^{-6} à 6.10^{7} rad/h. La pente de la courbe d'étalonnage permet d'évaluer la valeur de G qui est égale à environ 0,4.

La solution est très stable et la mesure peut être faite entre 1.10^{6} rads et 6.10^{7} rads.

Les auteurs ont étudié l'influence du pH sur l'efficacité du système. Lorsque la concentration de l'acide sulfurique passe de 0,5 N à 1,5 N, la réduction radiolytique du bichromate diminue de quelques pour cent.

La reproductibilité est supérieure à 2,5 % Le dosimètre proposé est donc très simple et d'emploi très commode, mais il ne permet pas de mesurer des doses inférieures à 10^{6} rads.

Les techniques analytiques aussi fines que la chromatographie en phase gazeuse permettent à B. CAIRE et L. ORDINAIRE d'utiliser un mélange eau-benzène-phénol pour la dosimétrie (SM 78/17).

Le dosimètre chimique basé sur l'oxydation du benzène en phénol, a été proposé dès 1949 par DAY et STEM. La détermination du phénol formé se faisait par spectrophotométrie. Le but des auteurs fut l'étude des possibilités de la chromatographie en phase gazeuse appliquée à la détermination des produits de radiolyse. On peut ainsi améliorer la sensibilité, la rapidité du dosage et le volume du dosimètre.

Les différents paramètres intervenant dans la chromatographie ont été examinés en détail et notamment les différents supports et les phases stationnaires afin de diminuer les effets de l'eau. La droite d'étalonnage a été établie pour le rayonnement γ du Cobalt 60 par comparaison avec des dosimètres au sulfate ferreux.

Les expériences réalisées couvrent la gamme 10 000 - 70 000 rads et on peut atteindre 2 000 rads.

La prise d'essai varie de 0,001 ml à 0,01 ml. Le volume de l'échantillon est donc petit et la durée de l'analyse est de 10 minutes environ. De plus, le dosimètre est très stable et peut être exploité longtemps après l'irradiation.

Les effets de polymérisation peuvent être utilisés en dosimétrie et M. TALAT-ERBEN, ENVARE UNSEREN, NURTEN SEBER (SM 67/18) proposent un dosimètre γ qui utilise la polymérisation du méthacylonitrile.

Deux faits essentiels suggèrent la possibilité d'une dosimétrie γ basée sur la polymérisation du méthacrylonitrile ($H_2C = C\ (CH_3)\ CN$).

1° Il se crée, lors de la polymérisation, deux doubles liaisons sur un même atome de carbone (liaison cetinimine $= C = C = N_-$) conférant à la molécule une absorption caractéristique à 4,96 μ.

2° Sous rayonnement γ, le méthacrylonitrile se polymérise et la liaison cetinimine est « étonnamment » stable.

Les auteurs, après l'irradiation γ d'échantillons de 25 ml de méthacrylonitrile très bien purifié par distillation fractionnée (à 91 °C), à travers une colonne de Vigreux, sous un courant d'azote, et enfermés dans des ampoules de verre scellées, peuvent tracer les courbes de variation de la densité optique à 4,96 μ de la variation de la transmission en % à 4,96 μ et de la fraction de monomère polymérisé en fonction de la dose γ cumulée. Malgré la dispersion des points, les différentes valeurs obtenues se placent sur une droite jusqu'aux alentours de 20 Mrad.

Ce système dosimétrique semble supérieur aux autres systèmes à polymérisation. En effet, on mesure directement une propriété physique sans qu'une détermination ou une séparation (précipitation, filtration, pesée, etc.) du polymère formé soit nécessaire, ce qui élimine les erreurs et les difficultés rencontrées dans de telles opérations.

De plus, il semble que le dosimètre soit indépendant de la qualité du rayonnement puisque sur une courbe sont réunis des points correspondant à des irradiations par une source de Cobalt 60 et à des irradiations auprès d'un réacteur. Le dosimètre n'est pas sensible à la lumière; les essais ont eu lieu sous contrôle de la température (entre 20 et 23 °C). En raison de la stabilité de la liaison cétinimine au rayonnement γ et de la durée de vie de l'information (pas de changement dans les valeurs mesurées, même après plus d'un mois écoulé) le système peut être employé pour déterminer des doses cumulatives.

Au-dessus d'une dose de 20 Mrad, l'échantillon devient visqueux. On peut toutefois mesurer des doses cumulées supérieures, si avant la spectrophotométrie on dilue le produit obtenu avec le méthacrylonitrile monomère non irradié.

La précision de la méthode est de $\pm$ 10 %.

La déviation du plan de rotation de la lumière polarisée par une substance organique est due à une dissymétrie dans la molécule. Ainsi l'atome de carbone lié à 4 radicaux différents dévie le plan de polarisation

$$R_1 - \overset{\displaystyle R_2}{\underset{\displaystyle R_3}{C}} - R_3$$

C. Suschng, H. Frittum et H. Eisenlohr (SM 78/54) nous ont montré comment l'irradiation pouvait causer des variations du plan de rotation de la lumière polarisée pour les raisons suivantes :

Le molécule peut se décomposer et former des produits possédant une rotation spécifique.

La molécule optiquement activée peut donner des produits inactifs.

Enfin, la racémisation peut survenir après irradiation.

Les auteurs utilisent des sources de forte intensité (0,75 Mrad heure) et un appareillage optique de très grande précision.

Il serait difficile de citer ici toutes les expériences et tous les résultats que ces auteurs nous ont présentés sous forme de tableaux et de graphiques. Cependant il semble que d'excellents résultats soient obtenus avec le sucrose, le lactose et le fructose.

Ces études outre leur intérêt en dosimétrie découvrent des perspectives très intéressantes en chimie physique. Elles permettent de mieux comprendre certains phénomènes radiolytiques.

IV) Emploi d'autres détecteurs en dosimétrie

Les traces laissées dans les matériaux isolants peuvent être révélées par une attaque chimique convenable et être utilisées pour la dosimétrie des neutrons. C'est un procédé ionographique. Il consiste à irradier deux feuilles accolées d'une matière plastique ou d'un isolant et d'un matériau fissile. Après attaque chimique de la matière plastique ou de l'isolant, les impacts des fragments de fission apparaissent au microscope sous forme de figures de corrosion que l'on peut dénombrer. W.V. Baumgartner et al. (SM 78/50) décrivent brièvement un détecteur de ce type constitué par un ensemble de disques de matière plastique et de feuilles d'éléments fissiles (^{235}U, ^{237}Np, ^{238}U). La variation de la section efficace de fission en fonction de l'énergie des neutrons rend difficile l'équivalence entre le nombre de traces et la dose, mais permet une spectrométrie grossière. Le même procédé peut être utilisé pour la détection des protons de haute énergie. Les auteurs rappellent les avantages de tels détecteurs (insensibilité aux rayonnements β et γ - stabilité dans le temps). Ils donnent une indication des doses minimales décelables et proposent des détecteurs de forme cylindrique ou sphérique dont l'utilité, dans ce cas, n'est pas évidente.

D. Blanc, J. Mathieu, J.P. Patau, H. François, G. Soudain (SM 78/19) présentent les résultats qu'ils ont obtenus avec une chambre d'ionisation à remplissage liquide équivalent au tissu pour la dosimétrie des rayonnements électromagnétiques.

Le but de ce travail est la réalisation d'un dosimètre dont le milieu détecteur présente un coefficient d'absorption massique en énergie égal à celui du tissu mou standard. Le calcul des coefficients de divers composés susceptibles d'être utilisés comme remplissage de chambres d'ionisation a montré que les hydrocarbures saturés de C^6 à C^{10} d'une part et le tétrachlorure et le sulfure de carbone d'autre part, encadrent les valeurs concernant le tissu mou dans le domaine d'énergie considéré (0,01 à 10 MeV). En particulier, un mélange de 5,4 molécules de CCl_4 et 94,6 molécule d'hexane (4 % de CCl_4 en volume) présente un coefficient d'absorption massique en énergie égal à 1,045 fois celui du tissu de 30 keV à 5 MeV.

La cellule utilisée est une chambre d'ionisation cylindrique dont les électrodes sont en acier inoxydable. Le volume sensible est entouré de 6 mm de liquide afin d'assurer l'équilibre électronique jusqu'à 2 MeV. La tension d'alimentation est de 5 kV pour des débits de doses inférieures à 10^{-1} rad/s et de 10 kV pour des débits de doses supérieurs à cette valeur. Le courant résiduel est de 1.10^{-13} à 5.10^{-13} A. L'étalonnage a été effectué dans le domaine d'énergie de 70 keV à 8 MeV, avec les moyens suivants :

1. un faisceau de rayons X;
2. un flux de rayons γ issu de sources ponctuelles;
3. un flux de photons de 8 MeV efficace, issu d'un bétatron.

La courbe de variation du courant d'ionisation en fonction de l'énergie du rayonnement pour un débit de dose de 1 mrad/s absorbé dans un tissu mou standard montre une légère chute au-dessous de 100 keV. Cette chute est due, à l'atténuation du flux dans les parois, dans les 6 mm de liquide entourant le volume sensible, et dans le volume sensible lui-même.

En conclusion, le dosimètre étudié est stable, donne des résultats reproductibles, présente une réponse constante ($3{,}5.10^{-10}$ A pour 1 mrad/s) de 150 keV à 8 MeV et linéaire de 10^{-6} à 1 rad/s.

W.H. Wilkie, B.R. Fish (SM 78/60) montrent comment une méthode par scintillation peut être appliquée par extrapolation à la dosimétrie de particules beta radioactives.

La technique utilisée permet d'obtenir les valeurs de la dose β absorbée dans des volumes « équivalent tissu » aussi petit que possible, ayant presque la taille des cellules.

La méthode comporte une série de scintillateurs (anthracène, ou matières plastiques NE - 102 - A) dont les dimensions vont de 11 mm de diamètre et 0,5 mm en épaisseur jusqu'à 1 mm de diamètre et 0,032 mm d'épaisseur.

Les cristaux sont montés sur des conduits de lumière en méthacrylate de méthyle et son couplés à un photomultiplicateur relié à un sélecteur multicanaux. L'étude a été menée à bien, grâce à un accélérateur d'électrons spécialement construit dans ce but, pour les énergies jusqu'à 60 keV et par l'emploi de sources comportant des électrons de conversion pour les énergies jusqu'à 600 keV. L'étalonnage est effectué à l'aide d'une source d'américium 241.

Les mesures sont réalisées dans une chambre spéciale, sur une certaine épaisseur et différents diamètres. Elles permettent ainsi une extrapolation au diamètre zéro.

Un programme de calcul permet d'obtenir la dose β en fonction des différents paramètres. Les mesures peuvent être faites sur des sources dont les activités sont comprises entre 0,05 et 500 μCi.

J. Pensko préconise l'utilisation d'un compteur à iodure de sodium pour la mesure précise du bruit de fond γ (SM 78/39).

L'auteur recherche la détermination précise de la dose γ intégrée par les populations dans une région donnée. Les appareils habituellement utilisés sont la chambre à ionisation ou le compteur G.M. Toutefois, l'emploi d'un cristal à iodure de sodium a permis d'obtenir une meilleure sensibilité; de plus, grâce à un sélecteur multicanaux, il est possible d'obtenir des informations intéressantes sur la distribution en énergie.

L'auteur utilise un sélecteur transistorisé à 200 canaux couplé à un cristal d'iodure de sodium de 44 × 30 mm. L'étalonnage est effectué à l'aide de sources d'iode 131, de Cesium 137, de Cobalt 60, de Sodium 24 et de Radium, tout en vérifiant la réponse quasi isotropique du cristal. Un « bruit de fond équivalent » a pu alors être déterminé et étalonné par des pourcentages connus de radium et d'iode 131 (75 % de radium - 25 % d'iode 131). Enfin, l'auteur étudie pour le cristal considéré la réponse en énergie γ dans l'intervalle 300 keV à 2,9 MeV, la réponse aux radiations β dues aux émetteurs naturels, et la réponse au rayonnement cosmique. Dans ses calculs, il tient compte de ces divers facteurs.

L'auteur estime que l'erreur globale sur ces mesures ne dépasse pas ± 7,5 %;

ce résultat n'est pas notablement différent de celui obtenu par la méthode des chambres d'ionisation. La réponse du cristal au rayonnement cosmique ne dépasse par 6 % et celle au rayonnement ± 3 %. Enfin, le principe de la spectrométrie γ permet de séparer la dose due aux retombées provenant des expériences nucléaires de celle due au rayonnement naturel.

Les méthodes traditionnelles qui limitaient la dosimétrie à une physique expérimentale purement métrologique sont très nettement dépassées et les spécialistes ne peuvent plus se contenter des résultats donnés par les chambres d'ionisation et les compteurs Geiger Muller.

La dosimétrie s'est orientée vers la chimie physique dont elle emploie les méthodes et les moyens. Elle doit répondre aux interrogations posées par les médecins et les biologistes qui imposent des conditions expérimentales de plus en plus précises.

Nous avons entendu au cours de ce congrès des exposés et des discussions qui traitaient de l'exploitation ou de l'explication des phénomènes qui naissent de l'action du rayonnement sur la matière.

Ainsi nous avons pu apprendre que les systèmes radiothermoluminescents à base de fluorure de calcium et fluorure de lithium n'étaient pas près de donner toute satisfaction aux utilisateurs.

Nous avons regretté qu'il n'y ait pas davantage d'études consacrées à l'emploi d'autres composés tels que les borates alcalins et les sulfates alcalino-terreux.

Les dosimètres radiophotoluminescents un peu délaissés ces années dernières aux Etats-Unis ont été par contre très étudiés en Europe. En Allemagne les verres aux métaphosphates remplacent tous les autres systèmes dosimétriques et en particulier les films dosimètres.

Les appareils de lecture, tant en thermo qu'en photoluminescence sont peu étudiés. L'emploi d'un faisceau laser convient à titre onéreux il est vrai à des expérimentations passionnantes et certainement fructueuses.

Nous avons été agréablement surpris de l'abondance et de la qualité des communications traitant de la dosimétrie chimique par emploi de liquides.

Les systèmes chimiques liquides présentent l'avantage de constituer un milieu équivalent aux tissus biologiques. On peut s'attendre à ce que ces techniques se développent rapidement dans les très prochaines années.

Certaines techniques analytiques très avancées comme la chromatographie en phase gazeuse, la mesure de l'absorption de la lumière due à la création de doubles liaisons conjuguées, la fluorimétrie, la polarométrie permettent de mesurer avec une excellente précision de très faibles rendements radiolytiques autrefois inaccessibles.

Les petites chambres d'ionisation à liquides, les jonctions PN au silicium apportent des solutions différentes qui permettent par leur souplesse d'emploi d'intéressantes applications biologiques et médicales.

En conclusion, exposés et discussions ont été très intéressants, mais il est regrettable que les possibilités d'utilisations pratiques de ces techniques en biologie et en médecine, n'aient été qu'effleurées.

Cette réunion scientifique fut intéressante et profitable. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, et en particulier à M. SERVAN et à M. SUMASUNDARAM.

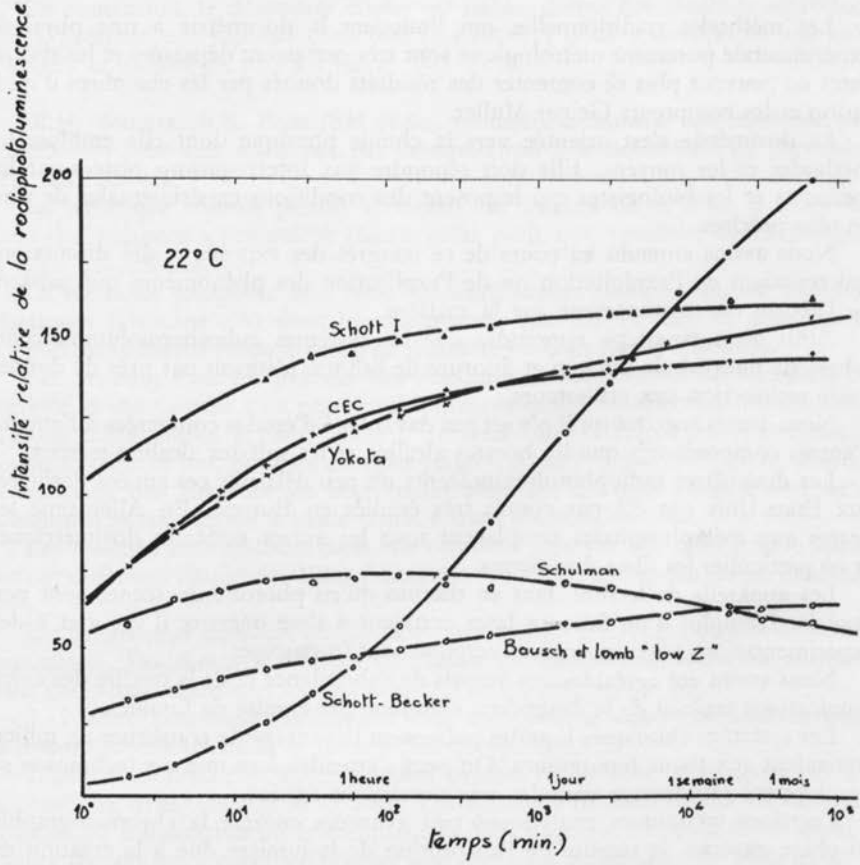


FIG. 1. — Intensité de la radiophotoluminescence (unités arbitraires) de dosimètres (3 × 3 × 4,7 mm) après exposition à 100 R d'un rayonnement de 660 keV à la température du laboratoire en fonction du temps de stockage.

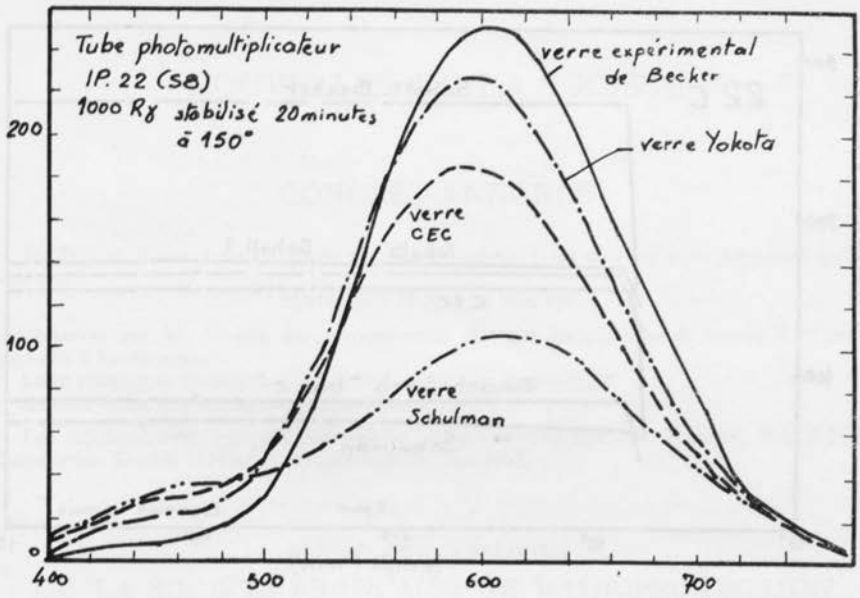
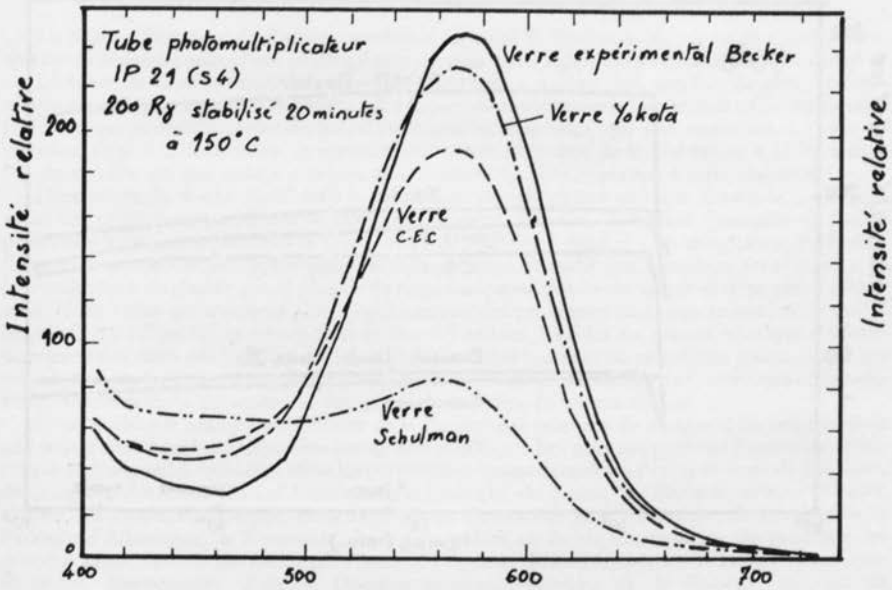


FIG. 2. — Spectre de la radiophotoluminescence en unités arbitraires pour différentes compositions de verres dosimètres après exposition et stabilisation.



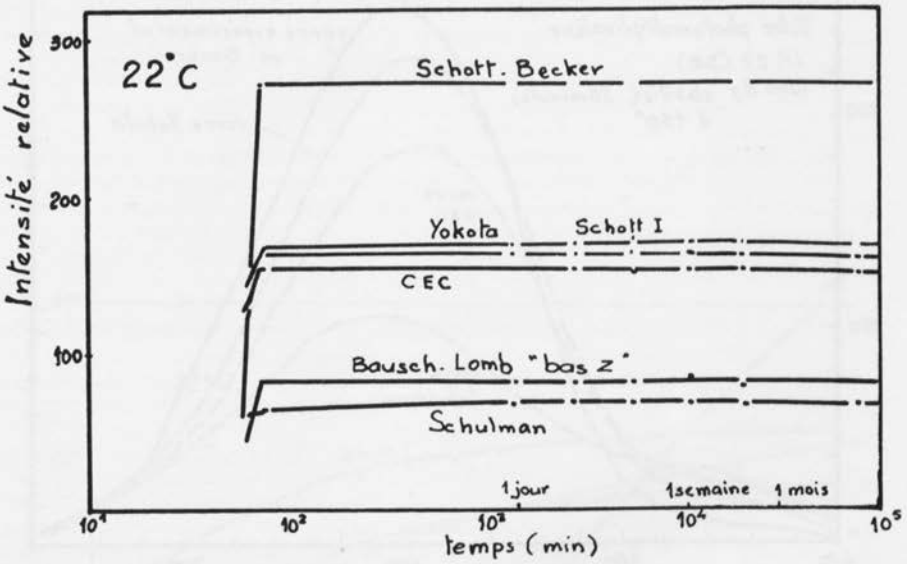
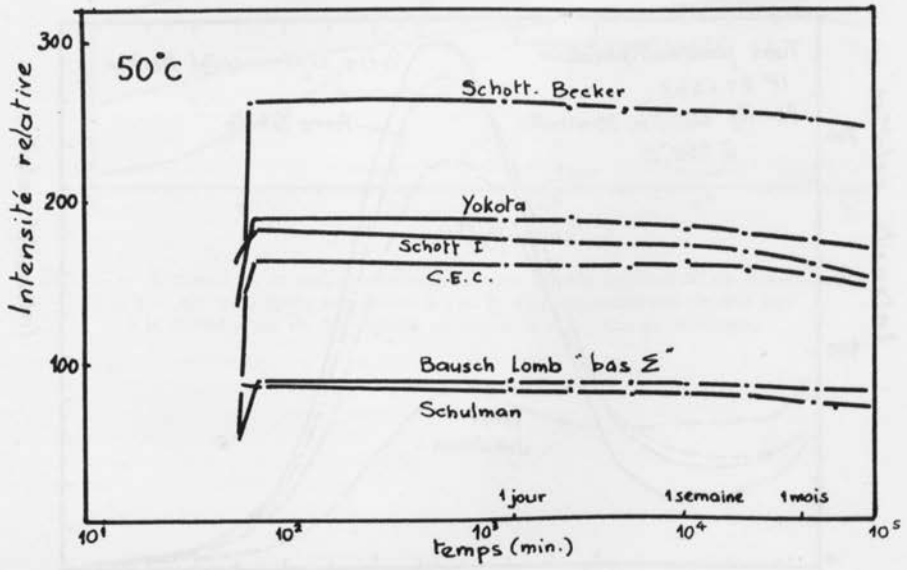



FIG. 3. — Intensité relative de la radiophotoluminescence pour différents temps de stockage pour des verres exposés à 100 Rγ et stabilisés par chauffage à 150 °C pendant 15 minutes.