LES ACTIVITÉS DANS LE DOMAINE DE LA RADIOPROTECTION DU CENTRE DE PHYSIQUE ATOMIQUE ET NUCLÉAIRE DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

par Daniel BLANC
Faculté des Sciences de Toulouse

SOMMAIRE

L'auteur, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse, Directeur du Centre de physique atomique et nucléaire, passe en revue très succinctement les activités d'enseignement et de recherche du Centre, liées, directement ou indirectement, à des problèmes de radioprotection. Une trentaine de chercheurs étudient le mécanisme de fonctionnement des détecteurs de particules du type électronique dont les chambres d'ionisation à remplissage de liquide, les jonctions PN de silicium, les tubes compteurs de Geiger-Muller à cathodes activables. Vingt-cinq chercheurs sont spécialisés dans la mesure des gaz radioactifs naturels présents dans l'air (radon, thoron, actinon); ils étudient aussi les éléments à vies longues tels que RaD, béryllium 7 etc..., les produits de fission gazeux, ainsi que la physique des aérosols. Un très grand nombre de ces travaux ont été effectués en collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique.

SUMMARY

The author, Director of the atomic and nuclear physics center reviews briefly the teaching and research activities of the Center, more or less directly related to radioprotection. About thirty researchers study the functioning mechanism of the electronic type particle detectors, among those, the liquid filling ionization chambers, the silicon PN junctions, the activable cathode Geiger-Muller counters. Twenty five researchers are specialised in the measurement of the natural radioactive gases present in air (Radon, Thoron, Actinon); they study too the long-lived elements such as RaD, ^7Be , etc... the gaseous fission products, and the aerosol physics. A great number of those studies are carried out in collaboration with the « Commissariat à l'Energie Atomique ».

Trop peu nombreux sont les laboratoires universitaires qui se consacrent à des recherches associées à la radioprotection; cette situation est particulièrement flagrante dans les Facultés des Sciences. Or, la radioprotection fait appel à des phénomènes fondamentaux encore bien mal connus, et qui justifieraient de nombreux travaux de base. Cet état de chose vient de ce que la radioprotection est une science jeune, qui ne présente pas encore partout un caractère quantitatif, et où les mesures absolues sont d'une extrême difficulté. Il s'ajoute à cela que, certains physiciens travaillant auprès des accélérateurs ou des réacteurs faisant preuve d'une remarquable inconscience, manifestent une certaine hostilité vis-à-vis de leur propre sécurité, avec la crainte qu'elle ne soit un obstacle à l'exécution de leurs mesures. Ces craintes et ces réticences sont anachroniques et la radioprotection s'impose, peu à peu, en tant que science, mais, par rapport à

ce qui se produit ailleurs, le nombre d'universitaires français s'intéressant à ces questions, reste anormalement faible.

Conscient de cette situation, le Centre de Physique Atomique et Nucléaire de la Faculté des Sciences de Toulouse a décidé, dès sa création en 1957, d'acquérir une spécialisation bien définie dans ce domaine. Sur les quelques quatre vingt chercheurs de mon laboratoire, une trentaine étudient les détecteurs du type « électronique » en vue de la spectrométrie et de la dosimétrie des particules nucléaires; sous la direction du Docteur J. FONTAN, vingt-cinq se consacrent au dosage des gaz radioactifs et à ses applications dans de nombreux problèmes de géophysique et de météorologie.

Je ne saurais trop fortement souligner tout ce que nous devons à l'appui et à la collaboration constante du Commissariat à l'Energie Atomique.

En plus d'une collaboration efficace avec le Commissariat à l'Energie Atomique, nous avons aussi la chance d'être en relation constante avec le laboratoire de physique des nuages de l'Université de Paris, dirigé par le Professeur BRICARD, qui coordonne et dirige les activités d'un groupe de laboratoires, dont le nôtre, s'intéressant à la physique des aérosols.

J'ajouterai enfin que le Centre est étroitement lié au Professeur COMMANAY et à sa section de radiobiologie du laboratoire de Biophysique A de notre Faculté de Médecine et de Pharmacie; cette section constitue l'« aile biologique » du Centre; elle nous conseille et nous épaula dans les applications à l'homme des sujets que nous traitons. Le groupe de physiciens du Professeur COMMANAY est installé de façon permanente dans les locaux du Centre; un programme commun de recherche à longue échéance a été élaboré, et les moyens matériels des deux laboratoires sont mis en commun.

Ces appuis et ces collaborations nous ont permis d'aborder une gamme assez ouverte de problèmes; je vais les passer en revue en signalant d'abord notre action dans le domaine de l'enseignement spécialisé.

L'ENSEIGNEMENT

Le Centre a la charge de l'enseignement de tout ce qui est nucléaire à la Faculté des Sciences de Toulouse et nous avons eu à cœur d'organiser des cours de base sur la radioprotection. Ces enseignements interviennent dans la scolarité du certificat d'études supérieures de Génie Atomique, du certificat d'études supérieures de Chimie Nucléaire (dirigé par le Professeur VOIGT, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Toulouse), mais l'effort principal porte sur le diplôme d'études approfondies (ou D.E.A.) de Physique Nucléaire, qui permet à nos jeunes boursiers d'acquérir les connaissances indispensables pour aborder un travail de recherche. Dans le cadre de ce D.E.A., une heure hebdomadaire est consacrée aux détecteurs de particules et à leurs applications en dosimétrie pratique; une seconde heure hebdomadaire concerne la radioactivité, la pénétration des particules dans la matière, le calcul des écrans de protection, la physique des aérosols.

Enfin, nous conduisons en collaboration avec le Professeur COMMANAY, un enseignement d'initiation à l'emploi des radioéléments, qui comporte une dizaine de leçons sur les dangers biologiques de ces produits et sur les précautions à prendre dans leur manipulation.

SPECTROMÉTRIE ET DOSIMÉTRIE
DES PARTICULES NUCLÉAIRES1° *Chambres d'ionisation à remplissage liquide.*

Depuis 1958, le Centre étudie les propriétés de chambres d'ionisation remplies d'un liquide diélectrique organique : l'énergie transférée au liquide par le rayonnement est directement liée à l'ionisation induite, et, par là, au courant de conduction qui traverse un échantillon d'un tel liquide soumis à un champ électrique. En collaboration avec le Service Technique d'Etudes de Protection du C.E.A., nous avons entrepris d'exploiter ce phénomène en vue de la réalisation d'un dosimètre pratique.

Nos recherches portent sur la réalisation de chambres étanches, permettant d'obtenir et de conserver un remplissage d'hydrocarbures donnant des résultats stables et reproductibles, sur la fabrication des liquides très purs, sur le calcul théorique de l'énergie transférée au milieu et des coefficients d'absorption en énergie des rayons X, γ et des neutrons dans divers hydrocarbures, enfin sur la détermination des caractéristiques de ces dosimètres et sur leur étalonnage.

FIG. 1. — Dosimètre cylindrique rempli d'un hydrocarbure liquide.

La figure 1 présente une cellule cylindrique. Les pièces métalliques sont en acier inoxydable poli, les passages sont en téflon. Le bruit de fond est inférieur à $2 \cdot 10^{-14}$ ampère par cm^2 ; la sensibilité du dosimètre par les rayons γ est de $5 \cdot 10^{-7}$ rad par seconde.

Si l'on trace la caractéristique $I = f(E)$ qui lie le courant d'ionisation au champ électrique moyen E appliqué, on obtient une courbe qui présente, entre 5 et 30 kV/cm, une région quasi linéaire (ou « palier »); au-delà, la variation

est presque hyperbolique (fig. 2); la courbe se prolonge d'autant plus loin que le liquide est plus pur; la moindre trace d'impuretés provoque une augmentation énorme du courant et peut conduire à un claquage.

FIG. 2. — Courbe donnant le courant d'ionisation en fonction du champ électrique moyen, dans le cas d'un échantillon de CCl_4 soumis à l'irradiation des rayons γ venant d'une source de ^{60}Co .

Nous avons vérifié l'accord entre les points expérimentaux et ceux calculés à partir de la théorie de Jaffé entre 0 et 400 kV/cm pour des échantillons d'hexane et de tétrachlorure de carbone. En ajustant les paramètres, il est possible de réaliser l'accord à 3 % près dans tout le domaine, et d'en déduire le courant de saturation I_0 , donné par :

$$I = \frac{I_0}{1 + \frac{\alpha N_0}{8 \pi D} e^{\frac{i \pi}{2} H_0^1(i \zeta)}}$$

avec :

$$\zeta = \frac{b^2 \mu^2}{2 D^2} \frac{1}{2} E^2$$

H_0^1 , étant la fonction de Hanckel de 1^{re} ordre,

α , le coefficient de recombinaison,

N_0 , l'ionisation spécifique de la particule dans le milieu considéré,

D , le coefficient de diffusion,

b , le rayon moyen d'interaction de la particule ionisante,

μ , le coefficient de mobilité des ions créés,

E , le champ électrique appliqué.

L'étude des caractéristiques dans le domaine quasi linéaire a permis de mettre en évidence un résultat important : le prolongement des paliers tracés pour différents flux incidents de particules identiques sont concourants sur l'axe des abscisses et ce point de concours dépend de la nature du rayonnement (α , γ ou neutrons). L'ordre dans lequel s'alignent les points est le même que celui des facteurs de qualité. D'autre part dans un rayonnement mixte (γ , neutrons) il est possible, moyennant un étalonnage préalable de déterminer la dose due à chacun des deux rayonnements (fig. 3).

FIG. 3. — Points caractéristiques des rayons α (5,30 MeV), des neutrons (14 MeV) et des rayons β et γ (1 MeV environ) dans le cas d'une chambre à électrodes planes et parallèles.

Pour la dosimétrie des rayons X ou γ d'énergies comprises entre 30 keV et 6 MeV, l'hexane contenant 4 % de tétrachlorure de carbone en volume présente un coefficient massique d'absorption en énergie constant par rapport à celui du tissu mou standard; la valeur de S est en effet voisine de 1,045 (voir la fig. 4).

En ce qui concerne la dosimétrie des neutrons rapides, un mélange d'hydrocarbures comportant un pourcentage d'hydrogène égal à celui des tissus doit donner des résultats excellents. Dans le cas de l'hexane pur, la figure 5 donne l'étalonnage d'un dosimètre cylindrique, de 5.10^{-7} à 5.10^{-4} rad par seconde, pour des neutrons de 14,7 MeV. La droite « tissu » indique la dose qui serait déposée dans un tissu « standard » substitué au dosimètre.

Nous nous efforçons de réaliser la « miniaturisation » des dosimètres et d'utiliser des parois constitués par des éléments légers. Nous voulons enfin appliquer

nos expériences à la mesure de la valeur moyenne de l'énergie nécessaire pour créer une paire d'ions dans divers hydrocarbures à l'état liquide.

FIG. 4. — Valeurs du coefficient d'absorption massique en énergie de divers composés, rapportées à celle du tissu mou standard.

FIG. 5. — Etalonnage d'un remplissage d'hexane pur pour des neutrons de 14,7 MeV (après déduction du fond γ).

2° *Jonctions PN de Silicium.*

Ces recherches sont effectuées en collaboration avec le Service Technique d'Etudes de Protection du C.E.A. pour qui nous avons organisé un laboratoire de fabrication de jonction PN à barrière de surface, selon le procédé mis au point à Strasbourg par le Professeur COCHE et ses collaborateurs. La jonction polarisée en sens inverse, collecte sur ses électrodes les charges électriques présentes dans la zone de déplétion, sans qu'il y ait amplification; le champ électrique interne étant intense, la recombinaison est en général négligeable. L'énergie dépensée pour créer une paire (trou-électron) est, en première approximation, indépendante de la nature et de l'énergie de la particule incidente; en mesurant le nombre des charges créées par ionisation, dans un volume connu de silicium, on peut donc avoir une indication de la dose absorbée dans le silicium, quelle que soit la nature du rayonnement incident (α , β ou γ).

FIG. 6. — Prototype de dosimètre à jonctions PN de silicium réalisé au laboratoire.

Le détecteur représenté sur la figure 6 est un exemple des fabrications du laboratoire : la jonction d'une surface utile de 2 cm² est montée dans un boîtier d'aluminium de 0,2 cm d'épaisseur, dont le couvercle présente une fenêtre en

aluminium de 2 cm de diamètre, épaisse de 2,5 mg/cm². Un tel montage permet d'effectuer une dosimétrie sélective des rayons α , β et γ .

Par ailleurs, la variation, sous irradiation, de la capacité des jonctions PN de silicium à barrière de surface nous a conduits à utiliser cette propriété pour mesurer des flux intégrés de neutrons rapides supérieurs à 10^9 neutron/cm² s⁻¹. Cette variation est provoquée par l'apparition, dans la bande interdite, de niveaux d'énergie dus aux défauts introduits lors de l'irradiation. Ces niveaux donneurs ou accepteurs vont influencer sur la durée de vie des porteurs minoritaires et, par suite, sur la longueur de diffusion de ces porteurs; on a, en effet :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + \nu_s + A \phi$$

ν_s = vitesse de recombinaison en surface,

$A \phi$ = nombre de défauts créés dans le semi-conducteur par le flux incident ϕ de neutrons.

La capacité globale mesurée au pont de capacités, fait intervenir les capacités de déplétion, d'inversion et d'accumulation. L'étude en fonction de la tension de polarisation appliquée (à fréquence variable) permet de déterminer et de caractériser ces différentes régions.

FIG. 7. — Variation de la capacité d'une jonction PN de silicium en fonction de la tension appliquée. C_0 : avant irradiation; C_1 , après 10^9 n cm⁻² s⁻¹; C_2 , après $2 \cdot 10^9$ n cm⁻² s⁻¹.

La connaissance des contributions respectives de ces différentes composantes permet de relier la mesure de la capacité de la jonction au flux de neutrons qu'elle a reçu. La figure 7 représente la variation de la capacité en fonction de la tension appliquée, avant irradiation et après des irradiations de 10^9 n/cm² s et de $2 \cdot 10^9$ n/cm² s.

Enfin, nous appliquons les jonctions *PN* à la dosimétrie des rayons *X* (20 à 100 keV) et des rayons γ , en mesurant le photocourant de non équilibre, qui est composé de deux courants de directions opposées, le courant de migration des paires dans la région de déplétion et le courant de diffusion des porteurs minoritaires atteignant la zone sensible. Nous avons lié le courant de court-circuit au débit de dose, mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation Victoreen.

L'intensité du photocourant a fait l'objet d'une étude détaillée; en effet, pour les rayons *X* étudiés, les photoélectrons sont émis dans un cône de demi-angle au sommet compris entre 50° et 90° : il en résulte que la diffusion des porteurs minoritaires n'est pas isotrope. L'équation de transport fait intervenir un terme « source » qui a été calculé dans les diverses régions de la diode; le calcul utilise la théorie du ralentissement et l'âge de Fermi, ainsi que le modèle de recombinaison de Shockley et Read; il tient aussi compte de l'atténuation du faisceau incident et des conditions aux limites imposées par l'état de surface du semiconducteur.

3° *Tubes-compteurs de Geiger-Müller à cathodes activables.*

Ces recherches sont effectuées pour le compte du Laboratoire Central de l'Armement. Pour mesurer des flux intégrés de neutrons rapides de 14 MeV, nous employons des tubes-compteurs de Geiger-Müller à cathodes activables d'aluminium, d'argent, de cuivre, de laiton ou d'acier inoxydable. La mesure du taux de comptage du détecteur après activation est directement liée au flux total de neutrons. Le flux minimal mesurable est défini par le bruit de fond du compteur, la valeur maximale mesurable par son temps mort. La dose minimale détectable est de 5 mrads avec des cathodes de cuivre; la dose maximale est de 40 rads, dans le cas de flux faibles et de compteurs en acier inoxydable.

4° *Réalisation d'un lecteur de laboratoire pour verres dosimètres.*

Cette étude résulte d'une collaboration avec le Commissariat à l'Energie Atomique; l'appareil est adapté à la lecture des verres fabriqués en France, par la C.E.C.; le principe consiste à exciter le verre par un rayonnement ultra-violet et à mesurer l'intensité de la lumière émise par fluorescence.

Sur le prototype réalisé, la source de lumière est une lampe à vapeur de mercure à haute pression; nous utilisons la raie très intense du mercure activé à 365 Å, sélectionnée à l'aide d'un filtre Eppendorf. Le système optique forme une image de l'arc de la lampe sur la face de sortie du verre. La lumière est modulée à 100 hertz à l'aide d'un disque entraîné par un moteur synchrone. Un disque percé de 24 trous semblables permet la lecture successive de 24 verres. Le dosimètre est positionné de telle sorte que ses génératrices soient perpendiculaires à la direction du faisceau lumineux. La lumière émise, dont les rayons UV sont filtrés, est recueillie dans un photomultiplicateur Radiotechnique XP 1002, dont la réponse spectrale est du type S-20. Le signal délivré par le PM est envoyé dans un amplificateur accordé sur 100 hertz, et dont le gain est voisin de 10^7 . Cet amplificateur est suivi d'un enregistreur Sefram.

La prédose apparente est de l'ordre de 500 mrads. Pour des doses supérieures à 10 rads, la reproductibilité des mesures est de $\pm 1,5\%$. Pour les plus faibles doses, le bruit de fond devient gênant: la valeur moyenne de la « pseudoprédose »

est de 135 mrads; les fluctuations correspondant à une dose de 23 mrads. Au total, la plus petite dose mesurable est d'environ 50 mrads.

Enfin, notre appareil est linéaire entre 100 mrads et 600 rads. Des mesures sont en cours pour déterminer l'étendue complète de la zone de linéarité, qui est certainement plus grande.

Les performances obtenues semblent provenir, pour une large part, du choix des filtres secondaires et de la faible dimension du faisceau incident de rayons ultraviolets.

RADIOACTIVITÉ DE L'AIR ET QUESTIONS ASSOCIÉES

Depuis la création du Centre, et sous l'impulsion de M. Jacques FONTAN Docteur ès-Sciences, s'est développé un groupe de recherche qui étudie la radioactivité naturelle et artificielle de l'air atmosphérique, et la physique des aérosols qui lui est étroitement liée. Il se préoccupe aussi du dosage des produits de fission gazeux, dans le contexte de la physique des réacteurs nucléaires.

Radioactivité de l'air.

Il serait beaucoup trop long de présenter ici en détail nos activités dans ce domaine. Je ne ferai que les rappeler très succinctement.

Depuis les roches de l'écorce terrestre se dégagent des gaz radioactifs naturels, le radon, dont la période est de 3, 8 jours, le thoron de période voisine de la minute, et l'actinon, de période beaucoup plus courte (4 secondes). Après avoir mis au point des procédés sélectifs de dosage instantané de ces gaz dans l'air atmosphérique, le Centre a appliqué les appareils réalisés à l'étude des corrélations entre la radioactivité mesurée et les phénomènes météorologiques, à des échelles d'autant plus grandes que la période radioactive est plus longue. Un camion-laboratoire, que nous devons à l'aide du Commissariat à l'Energie Atomique, nous permet de nombreuses mesures sur le terrain, dans le Sud-Ouest de la France, les Pyrénées et le Massif Central, et de préciser de nombreuses questions de « météorologie nucléaire », science nouvelle et en rapide développement.

En liaison avec les problèmes si actuels de la pollution atmosphérique, la mesure de la concentration des gaz radioactifs dans l'air, à diverses altitudes, permet d'obtenir le coefficient de diffusion verticale des masses d'air et de déterminer ainsi la rapidité avec laquelle s'éliminent les gaz toxiques produits au niveau du sol par les installations industrielles et les moteurs à explosion. Des mesures sont faites sur la tour météorologique, haute de 30 m, de Magny-les-Hameaux, près de Saclay; d'autres sont projetés sur la tour de 100 m qui équipe le terrain du futur aéroport de Paris-Nord. Grâce à l'obligeance du laboratoire de mesures spéciales du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, nous utilisons des ballons captifs pour effectuer des déterminations jusqu'à une altitude de 1 000 m. Enfin, l'emploi de certains avions de l'armée de l'air nous permet d'opérer jusqu'à 5 000 m.

Ce qui précède concerne les produits qui, dans l'atmosphère, subissent un mouvement de bas en haut. D'autres radioéléments se dirigent de haut en bas : ce sont ceux produits par les rayons cosmiques dans les hautes couches de l'atmosphère, et ceux qui y sont injectés par les explosions nucléaires. Notre effort porte aussi sur ce point et nous effectuons des prélèvements massifs d'eau de pluie

et de poussières atmosphériques pour en extraire des éléments à relativement longues périodes, tels que le béryllium 7. Le passage du « nuage » provenant de la dernière bombe chinoise s'est traduit par une augmentation spectaculaire de l'activité radioactive collectée.

Physique des aérosols.

Ces recherches conduisent, inéluctablement, à se préoccuper des propriétés des aérosols présents dans l'air, ou obtenus en atmosphère contrôlée. Sous la direction du Professeur BRICARD, plusieurs laboratoires, dont le nôtre, étudient les caractéristiques des aérosols. En particulier, cette association de laboratoires a mesuré la mobilité des ions radioactifs formés sur les atomes de recul provenant de la désintégration du thoron dans l'air et divers gaz à la pression atmosphérique. Dans le domaine compris entre $4 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ et $0,1 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, il existe trois catégories différentes d'ions, dont les mobilités dépendent de la nature du gaz, alors que, dans l'hélium, on ne constate l'existence que d'une seule catégorie dont la mobilité est de l'ordre de $3,5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

FIG. 8. — Schéma de principe de l'installation de dosage des produits de fission gazeux.

Dosage des produits de fission gazeux.

La méthode de la « chambre de désintégration », utilisée pour doser les gaz radioactifs naturels de l'air, a été généralisée au dosage des produits de fission gazeux; la figure 8 donne le schéma de principe du montage réalisé. Le dispositif peut fonctionner de trois façons différentes :

a) *Cyclage avec source.* Après introduction du gaz dans la chambre, l'installation fonctionne en circuit fermé. La source est supprimée; c'est le cas de la détection des gaz à périodes longues.

c) *Traversée unique.* Le courant gazeux provenant de la source traverse la chambre de désintégration, le filtre de sortie, puis est rejeté vers l'extérieur. Cette méthode s'applique à la détection des gaz de périodes courtes; le temps de passage de l'air dans la chambre est de l'ordre de 20 secondes.

Les mesures se traduisent par des courbes de croissance et de décroissance de l'activité β du filtre collecteur des aérosols. La spectrographie gamma permet une diagnose plus directe, en identifiant certains produits solides des gaz de fission.

Le calcul complet du fonctionnement a été mené à bien. L'appareil contient une solution aqueuse de UO_3 (50 grammes d'uranium 235) et une source Pu- α -Be de 7 curies.

Nous avons étudié plus particulièrement, avec cet appareil de dosage des gaz de fission, le ^{88}Kr et le ^{139}Xe qui ont des périodes de 2,78 heures et 17 minutes; ils sont les plus faciles à détecter, et nous ont servi à mettre au point l'installation. Les sensibilités sont de $3 \cdot 10^{-9}$ Curie pour le ^{88}Kr et de $1,6 \cdot 10^{-8}$ Curie pour le ^{138}Xe .

Notre appareil détecteur permet de faire des mesures sur les gaz de fission à périodes courtes. Il est facile de diminuer le temps de transit : solution fissile-chambre de désintégration, et nous espérons pouvoir doser les gaz ayant une période de l'ordre de 10 secondes. Nous pensons que la mesure exacte du flux neutronique, du temps de dégazage de la solution et du temps de transit permettra de déterminer les sections efficaces de production de ces gaz dans différents matériaux fissiles. Une boucle expérimentale basée sur ce même principe a été réalisée sur le réacteur Ulysse de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires de Saclay, en collaboration avec la Direction des piles du C.E.A. et le département d'Electronique du C.E.A.

* *

Nous avons voulu dans ce bref exposé montrer combien est fructueuse, efficace et amicale notre collaboration avec d'autres laboratoires qui n'ont pas toujours les mêmes préoccupations et les mêmes objectifs que nous.

Nous avons donc esquissé le panorama des activités du Centre qui sont associées à la radioprotection. Il resterait beaucoup à dire, particulièrement sur les détecteurs à étincelles, sur les scintillateurs gazeux et sur l'application des scintillateurs liquides à la dosimétrie, question que nous traitons en collaboration avec le Professeur COMMANAY. Nous comptons, dans des articles publiés ultérieurement dans « Radioprotection », entrer dans le détail et traiter ces sujets de façon beaucoup plus précise.