

Avant-propos

Pour la première fois, Contrôle ne consacre pas son dossier à un sujet lié aux installations dont l'Autorité de sûreté nucléaire assure le contrôle. En effet, dans le cadre de la réforme en cours sur le contrôle de la radioprotection en France, j'ai souhaité apporter un éclairage sur la problématique des activités diverses qui utilisent des rayonnements ionisants et que l'on appelle parfois « nucléaire diffus » ou « petit nucléaire ».

Au travers de quelques exemples, ce dossier a pour objet de montrer la grande diversité ainsi que les problèmes posés par ces activités. Si certaines sont bien connues, comme l'utilisation de la radiographie ou de la radiothérapie dans le domaine médical, d'autres dans les domaines de l'industrie ou de la recherche sont plus surprenantes.

Au-delà de la diversité des utilisations, j'ai également souhaité montrer la complexité du contexte réglementaire qui les

encadre ainsi que la diversité des acteurs institutionnels qui assument aujourd'hui une part du contrôle destiné à s'assurer que les rayonnements ionisants ne portent pas atteinte à la santé de nos concitoyens. En effet, comme l'atteste l'article relatant des accidents survenus de par le monde ces dernières années, toute négligence dans la mise en oeuvre d'une activité nucléaire, comme une perte de source de rayonnements ou un mauvais réglage d'appareil de traitement médical, peut se traduire par des conséquences très graves pour les personnes accidentellement exposées.

Enfin, j'ai choisi de montrer par l'exemple de la Finlande comment on peut envisager un contrôle intégré de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Comme d'habitude, ce numéro donne également la parole à des personnalités extérieures au domaine évoqué.

L'utilisation des rayonnements ionisants en médecine

par **Gabriel Kalifa**, Service de radiologie,
hôpital Saint-Vincent-de-Paul à Paris

Sans qu'il soit question de remettre en cause l'utilisation des rayons X dans les applications médicales diagnostiques et thérapeutiques, le recours à ces méthodes doit respecter un certain nombre de principes définis dans le cadre de la CIPR 73 et rappelés dans la directive Euratom 97/43 du 30 Juin 1997 :

- justification de l'examen utilisant les radiations ionisantes ;
- optimisation de la radioprotection ;
- limitation des expositions individuelles.

Nous aborderons dans cet article la réglementation concernant la protection des personnels, mais il faut rappeler que la règle fondamentale de radioprotection en médecine est de savoir limiter les examens. En effet les principales dérives identifiées sont la répétition inutile des examens, la prescription d'explorations qui n'auront pas d'effet sur la prise en charge du patient, les examens mal orientés et mal adaptés à la pathologie, souvent faute de renseignements cliniques précis. Enfin on assiste de plus en plus à une sur-prescription d'examens car le principe de précaution est poussé à l'extrême, allant même jusqu'au principe de « l'ouverture du parapluie »...

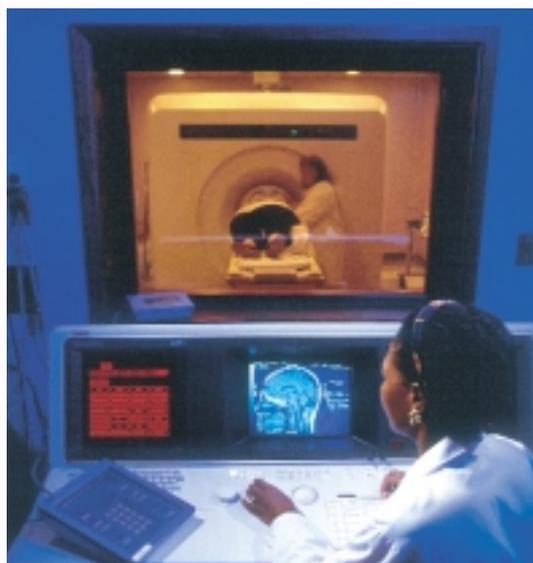
Les rayons X sont utilisés en médecine dans 4 grands domaines :

- le radiodiagnostic ;
- la radiologie interventionnelle ;
- la médecine nucléaire ;
- la radiothérapie et la curiethérapie.

Le radiodiagnostic

On estime que les risques radiologiques liés au radiodiagnostic sont extrêmement faibles sauf peut-être dans le domaine du scanner avec l'apparition des appareils dits spirales. Les autres « dérives » relèvent davantage de

la faute professionnelle et du mauvais contrôle des appareillages.



Technique d'imagerie médicale : IRM cérébrale

Sur le plan topographique, la zone contrôlée correspond aux salles de radiologie en « activité » puisqu'elle ne requiert ce terme que pendant le fonctionnement de l'appareil. En dehors de ces périodes, la zone est considérée comme zone surveillée au même titre que les salles d'attente et les couloirs d'accès.

La majorité des personnels des services de radiodiagnostic est classée en catégorie B, et relève d'une dosimétrie trimestrielle.

Seules certaines personnes travaillant notamment au bloc opératoire ou dans certaines salles spécialisées (comme la radiologie dentaire) sont classées en catégorie A et relèvent d'une dosimétrie mensuelle avec examen médical au moins tous les 6 mois.

En catégorie A la limite de dose va être fixée à 20 mSv par an en moyenne. Les travailleurs de catégorie B sont, quant à eux, susceptibles d'être exposés à des doses annuelles inférieures à 6 mSv dans les conditions habituelles de travail.

Pour ce qui est du personnel féminin, les dispositions sont prises pour que l'exposition abdominale de la femme soit évitée ou tout au moins maintenue à des niveaux aussi bas que raisonnablement possible, au dessous de 1 mSv, c'est-à-dire la dose annuelle applicable à la population.



Radiographie des seins : mammographie

La Société française de radiologie et l'Office de protection contre les rayonnements ionisants terminent actuellement un travail très important sur les procédures et les niveaux de référence des examens médicaux, notamment concernant le scanner. En effet le scanner doit être particulièrement « surveillé » compte tenu des dérives possibles, mais son utilisation rationnelle permet de rester dans des limites de doses tout à fait acceptables tant pour les travailleurs que pour les patients.

La mise en place de la dosimétrie opérationnelle se heurte à quelques difficultés pratiques importantes ; elle intéresse essentiellement les personnes concernées par la radiologie interventionnelle.

La radiologie interventionnelle

La radiologie interventionnelle expose particulièrement aux risques radiologiques ; il ne faut jamais omettre que beaucoup de ces gestes sont pratiqués par des diniciens qui n'ont pas toujours eu la formation adaptée à la radioprotection et à la radiobiologie. Les interventionnistes s'exposent et exposent leur entourage à des doses élevées alors que des mesures simples et des contrôles aisés permettent de limiter nettement les risques.

Quelles sont les précautions à prendre en matière de radiologie interventionnelle pour ceux qui pratiquent cette technique (recommandations de la CIPR) ?

- Limiter au maximum la mise sous faisceaux.
- Ne pas oublier que les doses sont plus élevées et l'accumulation plus rapide chez les patients corpulents.
- Garder des paramètres aussi adaptés que possible en maintenant un voltage élevé afin d'obtenir un compromis entre qualité et basse dose.
- Toujours collimater le plus près possible de la zone d'intérêt.
- Toujours porter des protections, surveiller les doses, utiliser des caches, bien savoir où se positionne le personnel
- Si le faisceau est horizontal ou proche de l'horizontale, l'opérateur doit se tenir du côté de l'amplificateur de brillance afin de réduire la dose.
- Si le faisceau est vertical ou proche de la verticale, essayer de maintenir le tube sous le patient.

Les risques liés à la radiologie interventionnelle sont les risques classiques stochastiques. On atteint rarement les doses conduisant à des effets déterministes. En fait, les précautions fondamentales sont :

- le bon choix des indications en pesant le rapport « bénéfice/risque » ;
- la diversification des opérateurs à condition que ceux-ci aient tous une compétence minimale ;
- l'évaluation régulière des procédures, afin de savoir modifier les techniques notamment en termes de radioprotection ;
- tous les appareillages doivent être munis de système de mesure de doses délivrées et aucune installation ne saurait fonctionner sans la stricte observation de cette règle ;
- enfin, les personnels travaillant en radiologie interventionnelle relèvent de la catégorie A avec les contrôles afférents et leurs installations sont bien entendu du ressort de la zone contrôlée.

La médecine nucléaire

Pour les actes à visée diagnostique, notamment les scintigraphies, les radioéléments utilisés ont en règle générale des périodes brèves ; par exemple, le technétium 99 a une période de 6 heures. Les quantités utilisées n'ont pas une activité très élevée et ne posent donc pas de problème.

Pour les actes thérapeutiques, les radioéléments sont donnés en quantités plus fortes (5 à 10 microcuries pour une hyperthyroïdie, 100 à 200 millicuries pour un cancer thyroïdien), et le radioélément I 131 a une période de 8 jours. Cela conduit à deux mesures principales :

- hospitalisation des patients en chambre protégée avec cuve de décroissance des urines lorsque le traitement dépasse 20 millicuries ;
- pour le personnel soignant, l'optimisation de la radioprotection se conçoit à toutes les phases d'utilisation de l'isotope, notamment lors de la construction des installations. Le personnel doit pouvoir surveiller le malade en permanence tout en étant protégé par des vitres plombées. Les méthodes de travail doivent être écrites sous forme de procédures avec des procédures spécialement dédiées à la radioprotection et mises à jour régulièrement. Ces procédures concernent le laboratoire chaud, la salle d'injection, les postes de travail, la salle d'attente et l'utilisation des accessoires de radioprotection (poubelles plombées, protège-seringues, tabliers, matériel de détection).

La somme des doses délivrées par les différentes pratiques auxquelles l'individu est exposé ne peut pas dépasser la limite de dose, soit 20 mSv par an avec possibilité d'atteindre 50 mSv une année à condition de ne pas dépasser 100 mSv sur 5 ans.

Les grossesses doivent être signalées à l'employeur et la femme enceinte doit être placée dans un poste où la dose n'excède pas 1 mSv/an.

Le personnel soignant des services d'hospitalisation doit être informé de la nature de l'examen dont a bénéficié le patient. Il doit connaître les précautions nécessaires vis-à-vis de ce dernier, ainsi que les précautions sur les déchets et manipulations.

A titre d'exemple, voici une procédure décrivant l'attitude à avoir en cas d'incident :

En cas d'incident

Dans la pratique, toute contamination de surface, de locaux, de vêtements ou de peau doit être éliminée dès sa détection et son origine recherchée.

Contamination de pailleuse, sol... : matérialiser la zone concernée, absorber si possible le produit contaminant à l'aide d'un papier approprié, nettoyer avec un produit décontaminant type RBS, vérifier la décontamination avec un détecteur adapté.

Contamination de la peau : décontaminer par lavage abondant à l'eau tiède, savonner avec un produit non abrasif, non corrosif et non toxique, vérifier la décontamination avec le détecteur adapté.

Contamination interne : évaluer l'activité incorporée, procéder au recueil des urines pendant 24h si celles-ci dépassent 0,1 LAI.

DANS TOUS LES CAS PRÉVENIR LA PERSONNE COMPÉTENTE EN RADIOPROTECTION ET/OU LE MÉDECIN DU TRAVAIL

Personne compétente en radioprotection :
M... Tél. :
Médecin du travail :
M... Tél. :

La gestion des déchets radioactifs bénéficie de procédures spécifiques. Leur élimination est régie par un ensemble de dispositions réglementaires. L'ensemble est placé sous la responsabilité de chaque titulaire d'autorisation de détention et d'utilisation des substances radioactives conformément à la décision de la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA) et soumis à l'agrément de la Direction générale de la santé.

Les déchets radioactifs ont en règle générale une très faible radioactivité après utilisation mais se présentent sous un très grand volume. L'utilisation médicale in vivo des radioéléments génère surtout des déchets assimilables à des déchets solides. Malgré leur activité initiale importante, les courtes

périodes physiques et le groupe de radiotoxicité auquel appartiennent les isotopes font que le temps de stockage est relativement faible et la gestion est entièrement locale.

L'utilisation médicale in vitro des radioéléments génère des déchets de faible activité mais dans un volume important, sous forme solide, liquide ou mixte. Il est nécessaire d'avoir des temps de stockage non négligeables, d'environ quelques mois à quelques années. Dans le cadre d'une procédure nouvelle de recherche, une étude cas par cas s'impose et ces éléments sont nécessaires lors de l'élaboration d'un dossier pour la CIREA. Le mode d'élimination est déterminé suivant les résultats de l'analyse quantitative ou relative des déchets produits.

Il existe deux modes d'élimination :

- le traitement local ou regroupé après décroissance radioactive ;
- la prise en charge par un organisme agréé (ANDRA) en vue d'un traitement spécifique.

Le choix du mode d'élimination s'appuie sur les critères suivants :

- les caractéristiques physico-chimiques des sources radioactives :
 - forme non scellée ou scellée,
 - état physique (solide, liquide, gaz),
 - activité initiale des déchets,
 - période radioactive,
 - groupe de radiotoxicité du radioélément (décret 66-451 modifié),
 - présence ou non de risques associés (infectiosité, corrosivité, inflammabilité, etc.) ;
- le volume de déchets produits ;
- la capacité totale de stockage du site ;
- l'organisation de la gestion des déchets du site.

Le conditionnement des déchets

Les déchets contenant des substances radioactives doivent être conditionnés, à des fins de stockage ou de transport, dans des embal-

lages normalisés : pour les déchets solides à vie longue, dans des fûts de 100 ou 200 litres, pour les déchets liquides à vie longue, dans des bonbonnes de 30 litres.

Seuls les déchets correctement conditionnés peuvent faire l'objet de demande d'enlèvement.

Quels sont les risques liés à ces radioéléments ?

Il s'agit d'exposition externe et de contamination interne. La contamination peut se faire à partir de la source, du matériel et des vêtements et elle peut être interne, respiratoire ou cutanée.

La radiothérapie et la curiethérapie

Nous ne rentrerons pas dans les détails des spécificités propres à la radiothérapie car il s'agit d'une activité très particulière. Rappelons simplement que tous les personnels préparant et mettant en place les sources sont classés en catégorie A et que les personnels travaillant sur les accélérateurs sont classés en catégorie B.

Contrôle réglementaire de radioprotection

Le tableau ci-après emprunté à Jean-Pierre Vidal (Revue le Manipulateur numéro spécial, septembre 1999, p. 22-23 « Contrôles réglementaires de radioprotection ») rappelle les règles de contrôle en radioprotection, en médecine nucléaire, radiothérapie et radiologie.

Enfin, pour terminer, rappelons les contre-indications aux travaux sous rayonnements ionisants (voir encadré p. 38).

bibliographie

Le Manipulateur d'imagerie médicale et de radiothérapie ; « Rayonnements ionisants et radioprotection » numéro spécial, septembre 1999.

T'Hop, Travail Santé à l'Hôpital ; « Radiation ionisantes : évolution de la radioprotection à l'hôpital » numéro 12, mars 2001.

Nature des sources émettrices	Nature des		Opérateurs susceptibles d'effectuer les contrôles
	Contrôles	Installations	
Sources scellées et générateurs	Avant mise en service	Radiodiagnostic	OPRI ou organisme habilité
		Radiothérapie	OPRI
	Après modification	Radiodiagnostic	OPRI, organisme habilité ou personne compétente en radioprotection
		Radiothérapie	OPRI et/ou personne compétente en radioprotection
	Périodique	Radiodiagnostic (y compris camions de radiologie)	OPRI, organisme habilité ou personne compétente en radioprotection
		Radiothérapie	Personne compétente en radioprotection et/ou OPRI
Sources électriques de rayonnements	Après dépassement des limites réglementaires d'exposition	Radiodiagnostic	OPRI ou organisme habilité
		Radiothérapie	OPRI
	Sur mise en demeure	Radiodiagnostic	OPRI et/ou organisme habilité
		Radiothérapie	OPRI
	Contrôles d'ambiance en zone surveillée		OPRI et/ou organisme habilité ou personne compétente en radioprotection
	Contrôles d'étanchéité des sources scellées		OPRI et/ou organisme habilité ou personne compétente en radioprotection
Sources non scellées	Contrôle avant mise en service		OPRI
	Contrôles réguliers des installations et locaux ; contrôles de contamination		OPRI et/ou personne compétente en radioprotection
	Contrôles des moyens d'évacuations des effluents et des déchets		OPRI et/ou personne compétente en radioprotection
	Contrôle après dépassement des limites réglementaires d'exposition		OPRI
	Contrôles d'ambiance des zones surveillées		OPRI et/ou personne compétente en radioprotection
	Contrôle terminal		OPRI
	Contrôle sur mise en demeure		OPRI
Toutes sources	Mise en demeure article L231-5 du code du travail		OPRI ou organisme désigné

Les contre-indications (CI) aux travaux sous rayonnements ionisants sont classiques

- **Hématologiques** : sources scellées et non scellées

CI absolues - hémopathies malignes ;

CI temporaires - anomalies persistantes de l'hémogramme (arrêté du 28 août 1991) :

Nombre d'hématies $< 3,7.10^6/\text{mm}^3$ ou $> 6.10^6/\text{mm}^3$

Nombre de leucocytes $< 3,5.10^3/\text{mm}^3$ ou $> 11.10^3/\text{mm}^3$

Nombre de PN $< 1,8.10^3/\text{mm}^3$ ou $> 9.10^3/\text{mm}^3$

Nombre de lymphocytes $< 1,4.10^3/\text{mm}^3$ ou $> 4.10^3/\text{mm}^3$.

Dans la pratique, seuls les chiffres des leucocytes et des polynucléaires ont un intérêt. Il faut pondérer les hyperleucocytoses chez les tabagiques et les neutropénies (phénomène de marginalisation) chez les originaires des DOM-TOM. Dans tous les cas, le médecin du travail reste le seul juge pour apprécier l'aptitude du salarié dont l'hémogramme peut être modifié par rapport aux valeurs de référence.

- **Ophthalmologiques** : sources scellées et non scellées

CI temporaires - glaucome non traité ; opacités cristallines corticales.

- **Troubles cutanés des extrémités** : sources scellées et non scellées

CI absolues - radiodermes chroniques.

- **Troubles cutanés des extrémités** : sources non scellées

CI temporaires - plaies en cours de cicatrisation, dermites squameuses ou exsudatives.

- **Autres** : affections thyroïdiennes (sources non scellées), troubles neuropsychiatriques (troubles du comportement, troubles de l'humeur, phobie des rayons) (sources scellées et non scellées).

Dans la plupart des secteurs de soins, seuls les personnels non médicaux (manipulateurs d'électro-radiologie, ou techniciens de laboratoires, personnels de soins) ayant une dosimétrie passive mensuelle bénéficient du suivi médical complet. Or tous les médecins qui pratiquent de la radiologie interventionnelle, de la curiethérapie et les chirurgiens au bloc opératoire sont soumis à des niveaux d'exposition élevée aux rayonnements ionisants.

Utilisation de sources scellées radioactives dans le domaine industriel non nucléaire : étude de quelques cas pratiques

par **Pierre Muglioni** - Coordinateur radioprotection du CeTe APAVE Nord-Ouest

Le domaine industriel non nucléaire utilise un nombre très important de sources radioactives pour des applications diverses et variées parmi lesquelles :

- les jauges de mesures d'épaisseur, de densité, de pesage et de niveau, représentant environ 70 % des sources référencées par la CIREA ;
- les gammadensimètres-humidimètres de chantiers, représentant environ 7 % des sources référencées par la CIREA ;
- les gammagraphes utilisés en contrôles non destructifs, représentant environ 6 % des sources référencées par la CIREA ;
- les analyseurs de plomb, toute nouvelle application utilisant une source radioactive.

Ces sources étant soumises aux contrôles réglementaires de radioprotection avec une périodicité annuelle, les rapports que nous établissons à la suite de ces contrôles en tant qu'organisme agréé permettent de tirer certains enseignements qui ne sont certes pas exhaustifs mais suffisamment significatifs pour être pris en compte.

Les utilisations

Les jauges

Les jauges sont des appareils installés à poste fixe constitués :

- d'un bloc émetteur contenant une source radioactive d'activité dépassant rarement quelques GBq (Pm 147, Kr 85, Sr 90, Am 241, Cs 137, Co 60...). Ce bloc (en plomb) assure une parfaite protection de l'environnement. De plus, un obturateur vient se positionner devant la source lorsque la jauge n'est pas utilisée. Les débits de dose équivalente sont

très souvent inférieurs à 2 $\mu\text{Sv/h}$ à 1 m du bloc ;

- d'un bloc détecteur. Le faisceau émis par la source est atténué par la traversée de l'espace entre les 2 blocs. Le signal capté par le détecteur permet de renseigner sur la grandeur mesurée (densité, niveau...).



Jauge d'épaisseur



Jauge de densité

Les problèmes les plus fréquents rencontrés sur les jauges sont : des problèmes d'obturateurs pneumatiques, de voyants, des plaques de source très souvent absentes ou inacces-

sibles, des signalisations « présence de matières radioactives » très rarement en place.

Les jauges étant fixes, la zone contrôlée en fonctionnement est à environ 0,5 m du bloc source et la zone surveillée à environ 1,5 m.

La délimitation de zone est nécessaire essentiellement pour la zone surveillée mais elle pose problème surtout pour les jauges en extérieur, car les jauges peuvent être installées dans des endroits difficiles d'accès.

Il n'y a généralement pas de poste de travail en fonctionnement normal à proximité immédiate, aussi le personnel n'est généralement pas classé comme exposé aux rayonnements ionisants ; il ne dispose que rarement d'appareil de mesure de rayonnement.

Le personnel ne reçoit que rarement une formation sur la radioprotection. Quand elle est faite, elle nécessite d'être périodiquement renouvelée.

Les gammadensimètres-humidimètres mobiles

Les gammadensimètres-humidimètres sont des appareils transportables utilisés sur chantiers pour mesurer la densité et l'humidité d'un sol.

Ils contiennent deux sources radioactives ($Cs137$ et $Am241-Be9$) d'activité dépassant rarement quelques GBq.

L'appareil dispose d'un blindage suffisant autour des sources pour assurer la protection de l'opérateur (très souvent unique). Les débits de dose équivalente, hors utilisation, sont inférieurs à $200 \mu Sv/h$ à 5 cm de l'appareil (190 en gamma + 15 en neutron) et à $130 \mu Sv/h$ sur le caisson de transport. A 1 m de l'appareil, il ne reste plus que $6,5 \mu Sv/h$ (5 en gamma + $1,5$ en neutron).

En utilisation, l'opérateur réalise un trou de quelques centimètres de diamètre et d'environ quarante centimètres de profondeur. L'appareil est posé au sol sur le forage et le porte-source $Am241-Be9$ est descendu mécaniquement dans le trou (la source de $Cs137$ restant dans l'appareil).

La zone contrôlée est alors à environ 0,8 m de l'appareil et la zone surveillée à environ 1,5 m.



L'appareil et son caisson de transport



En utilisation

La délimitation de ces zones pose problème étant donné le temps de mesure très court et l'environnement (chantier routier avec engins).

Le poste de travail de l'opérateur est en fonctionnement normal à environ 2 m de l'appareil en utilisation. L'opérateur est généralement classé personnel exposé de catégorie A ; il dispose en principe d'un appareil de mesure de rayonnement gamma mais très rarement d'appareil de mesure des neutrons émis par la source d'américium-béryllium.

L'opérateur ne reçoit que rarement une formation sur la radioprotection. Par contre, des consignes de travail sont systématiquement établies et distribuées.

Les gammagraphes

Les gammagraphes sont des appareils transportables utilisés pour faire des radiographies dans le domaine industriel. Ils contiennent une source radioactive (essentiellement $Ir192$) d'activité de l'ordre de quelques TBq.



L'appareil et ses équipements

Le gammagraphe sert à la fois de stockeur et de projecteur de source.

Le gammagraphe dispose d'un blindage suffisant autour de la source (plomb et uranium appauvri) pour assurer la protection de l'environnement lorsque l'appareil est en stockage. Les débits de dose équivalente sont alors inférieurs à $25 \mu\text{Sv/h}$ à 5 cm du gammagraphe et à $2 \mu\text{Sv/h}$ à 1 m.

En utilisation, une gaine d'éjection est connectée au gammagraphe et, grâce à une manivelle, la source est éjectée hors du gammagraphe. La zone contrôlée est alors, sans écran atténuant le faisceau de rayonnements, à plusieurs centaines de mètres et la zone surveillée est d'autant plus éloignée.

Il n'y a généralement pas de poste de travail en fonctionnement normal à proximité immédiate. Mais l'utilisation d'un tel appareil sur chantiers extérieurs nécessite une surveillance très étroite des opérateurs. La délimitation des zones réglementées se fait par l'opérateur au moyen d'un appareil de mesure de rayonnement. Cet appareil permet également de s'assurer en fin de travail que la source a bien été rentrée dans le gammagraphe.

Le personnel est généralement classé personnel exposé de catégorie A. Il est, de plus, titulaire du CAMARI (certificat d'aptitude à manipuler des appareils de radiologie et radioscopie industrielle). L'opérateur ne reçoit que rarement une formation sur la radioprotection. Par contre, des consignes de travail sont systématiquement établies et distribuées.

Les analyseurs de plomb

Les analyseurs de plomb sont des appareils portables utilisés pour mesurer la teneur de plomb dans les peintures des murs de locaux d'habitations. Ils contiennent une source radioactive ($\text{Cd } 109$ ou $\text{Co } 57$) d'activité ne dépassant pas le GBq.



L'appareil (exemple)



Son utilisation

L'appareil dispose d'un blindage suffisant autour de la source pour assurer la protection de l'opérateur, très souvent travailleur indépendant intervenant seul. Les débits de dose équivalente, lors du transport, sont inférieurs à environ $40 \mu\text{Sv/h}$ (face avant du détecteur avec source de $\text{Co } 57$).

Pour la mesure de la teneur en plomb d'un mur, l'appareil est tenu à la main ; il est collé à la paroi, et l'obturateur peut alors s'ouvrir pour laisser passer le rayonnement vers la paroi. Avec un analyseur disposant d'une source de $\text{Co } 57$, la zone contrôlée est alors à environ 10 cm du détecteur et la zone surveillée à environ 20 cm. L'utilisation du maté-

riel pouvant se faire en habitation, le personnel doit tenir compte de l'environnement (exposition pour le public).

L'opérateur doit dans certains cas être classé en catégorie B et porter un dosimètre à la main (bague).

Les observations de fond concernant la radioprotection

Du point de vue des matériels

Par conception, les appareils assurent une protection collective et individuelle des personnes dans tous les cas de figure pour les jauges à poste fixe, et lors des opérations de stockage pour les sources mobiles.

Rappelons à ce sujet :

- que les jauges à radioéléments destinés à être installés à poste fixe doivent satisfaire à la norme NF ISO 7205 (M60552) de juin 1987 ;
- que les gammagraphes doivent satisfaire à la norme NF M 60551 de juin 1983 (en cours de révision) définissant les règles de construction ;
- qu'il n'existe à l'heure actuelle aucune norme relative aux jauges de densité mobiles ni aux analyseurs de plomb.

Du point de vue des procédés et de l'organisation du travail

- Pour les jauges installées à poste fixe, les procédés ne nécessitent pas la présence de personnel à proximité immédiate en fonctionnement normal. Les opérations de maintenance sur les jauges sont en principe du ressort du constructeur ou fournisseur, qui dispose de consignes d'intervention précises.
- Pour les opérations d'entretien ou de maintenance sur un matériel avoisinant les jauges, la source doit être mise en position stockage par un personnel formé et ayant reçu les instructions et consignes nécessaires.

Dans tous les cas, un meilleur balisage ou signalisation de risque est souvent nécessaire.

- Pour les gammagraphes, la formation des utilisateurs est largement encadrée et réglementée (COFRIEND et CAMARI). Toutefois,

étant donné les conditions d'intervention, certains principes élémentaires de radioprotection peuvent être oubliés : balisage, plan d'intervention...

- Pour les gammadensimètres - humidimètres mobiles, les formations des utilisateurs au maniement de l'appareil semblent correctes. Toutefois le déplacement très fréquent de la source en utilisation rend difficile la mise en place des balisages réglementaires.

- Pour les analyseurs de plomb, la formation des utilisateurs au maniement de l'appareil doit être obligatoirement réalisée et être périodiquement renouvelée afin d'éviter une banalisation de l'utilisation de l'analyseur qui sera source de problème (exposition, perte, vol...).

Les commentaires

Les détenteurs de jauges à poste fixe disposent d'installations sûres et très peu exposantes ; ils n'ont que très peu d'actions à mener pour optimiser la radioprotection :

- améliorer le balisage ;
- informer régulièrement les personnels sur l'existence de sources radioactives dans l'établissement ;
- mettre en place une culture de radioprotection pour les interventions sur source ou à proximité.

Les utilisateurs de sources mobiles sont soumis à des contraintes spécifiques liées au procédé. Les sources peuvent être très exposantes. De quelles façons, dans ces conditions, peut-on optimiser la radioprotection ?

- en intégrant les contraintes ;
- en mettant en place une dosimétrie opérationnelle ;
- en maintenant à niveau l'information sur la radioprotection.

Un cas particulier est toutefois celui de l'analyseur de plomb, qui présente peu de risque d'exposition mais dont l'utilisation sera sans aucun doute banalisée si l'information des utilisateurs n'est pas maintenue à niveau.

Le contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants dans les activités minières

par **Jean-Luc Narcy** - Directeur technique au sein de la business unit mines - **COGEMA**

La radioactivité naturelle des minerais d'uranium est une caractéristique qui facilite grandement leur exploration.

Elle est utilisée pour délimiter au moindre coût les gisements (diagraphie des sondages), assurer la sélectivité de l'extraction (plans compteurs, contrôle radiométrique des minéralisations), en faire la comptabilité (comptage des minerais transportés), et diminuer les quantités traitées en usine (tri radiométrique).

Maistoute médaille a son revers : l'exploitant et son environnement sont exposés en permanence à la radioactivité et doivent en être protégés.

Réglementation applicable

La réglementation en matière de rayonnements ionisants suit les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). La CIPR 60 du 13 mai 1991 est la plus récente en ce qui concerne la protection de l'environnement et des travailleurs. Elle propose d'abaisser les valeurs limites d'exposition pour le public à 1 mSv par an et pour les travailleurs à 20 mSv par an en moyenne sur 5 ans, sans dépasser 50 mSv pour une année donnée.

En Europe, ces recommandations sont transposées dans les directives adoptées par la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom), avant d'être intégrées dans le droit des Etats membres. C'est ainsi que la directive 96-29 du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants a repris les limites d'exposition préconisées dans la CIPR 60.

Les premiers textes de transposition de cette directive en droit français sont parus récemment : une ordonnance du 28 mars 2001 a modifié le code de la santé publique et un décret du 8 mars 2001 a introduit la nouvelle limite de dose de 1mSv/an pour le public. La réglementation applicable aux expositions professionnelles n'a, par contre, pas encore été modifiée.

En ce qui concerne plus particulièrement le domaine minier, le règlement général des industries extractives (RGIE) institué par le décret 80-331 du 7 mai 1980 fixe les normes et procédures applicables aux installations minières en cours d'exploitation et/ou en phase de fermeture. Il présente dans son titre « Rayonnements ionisants » les prescriptions spécifiques applicables dans les mines d'uranium. Ces prescriptions ont été définies dans deux décrets pris en application des directives européennes sur la radioprotection : le décret 89-502 du 13 juillet 1989 et le décret 90-222 du 9 mars 1990

Ces décrets introduisent le principe d'optimisation qui, au-delà du strict respect des limites réglementaires, fait obligation à l'exploitant de réduire l'impact radiologique autant qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites prescrites, pendant et après l'exploitation. Ils n'ont pas encore été modifiés pour prendre en compte les dispositions de la directive 96-29 du 13 mai 1996.

Le décret 89-502 prescrit les dispositions relatives à la surveillance radiologique des travailleurs, notamment en termes de limites de dose. La limite d'exposition des travailleurs est ainsi fixée à 50 mSv/an.

Le décret 90-222 relatif à la protection de l'environnement définit les règles de gestion des produits radioactifs et de surveillance des rejets et du milieu.

Risques présentés et surveillance dosimétrique individuelle

Dans les mines et les usines de traitement, le personnel est exposé à trois types de risques radiologiques :

- exposition externe, par exposition aux rayonnements gamma ambiants ;
- exposition interne, liée à l'incorporation par inhalation d'émetteurs alpha à vie courte issus des isotopes 222 et 220 du radon (gaz radioactif issu du radium) ;
- exposition en interne par inhalation d'émetteurs alpha à vie longue (uranium 238 et thorium 232) en suspension dans l'atmosphère de travail : poussières de minerai dans les mines, poussières de minerai et d'uranate dans les usines.

Le cumul des expositions à ces trois risques constitue le taux annuel d'exposition total « TAET ».

Pour l'ensemble des exploitations minières de COGEMA, la surveillance dosimétrique des travailleurs a été basée sur l'utilisation du système intégré de dosimétrie du Centre de radioprotection dans les mines (CRPM), laboratoire agréé par les ministères chargés de l'industrie et de la santé, chargé en France de la surveillance radiologique des travailleurs et de l'environnement des sites miniers uranifères. Ce système permet de mesurer mensuellement les expositions externes dues aux rayonnements gamma, les expositions internes dues aux descendants à vie courte du radon 220 et du radon 222 et celles dues aux poussières de minerai et d'uranate.

Dispositions techniques et organisationnelles mises en place pour réduire les doses reçues - résultats

Dans une exploitation minière, le risque radiologique accidentel tel que l'on peut le concevoir dans une installation nucléaire de base n'existe pas.

Bien que la radioactivité en mine soit généralement assez peu concentrée, les différentes enquêtes épidémiologiques réalisées ont montré que les mineurs d'uranium exposés aux faibles doses sont susceptibles de présenter un excès de risque de cancer en fonction de la radiosensibilité propre à chaque

individu. Il est donc nécessaire de diminuer les doses reçues.

Afin de limiter les risques radiologiques encourus par les mineurs d'uranium, les exploitants se sont dotés d'un service spécifique composé de radioprotectionnistes chargés du suivi dosimétrique du personnel et de la prévention des risques dans les mines du groupe COGEMA (France, Gabon, Niger, Canada).

Les mesures radiologiques réalisées par ce service ont permis à l'exploitant de mettre en œuvre des procédés de limitation du temps de présence dans les chantiers d'extraction des minerais, de capotage des équipements, de ventilation des lieux de travail et d'arrosage ou d'aspiration des poussières. L'emploi de matériels adaptés et les méthodes d'exploitation sont conçus de telle sorte que les expositions individuelles et collectives soient maintenues en dessous des limites prescrites par la réglementation, à un niveau aussi faible qu'il est raisonnablement possible d'obtenir, selon le principe d'optimisation recommandé par la Commission internationale de protection radiologique.

A titre d'exemple, les doses efficaces moyennes calculées pour l'ensemble des mineurs du groupe COGEMA en France sont passées de 30 mSv par an en 1960 à 5 mSv par an en 1996.

En 2000, dans la dernière mine française en exploitation, qui de fait vient de fermer au mois de mai 2001, la dose efficace moyenne calculée est de 11 mSv, soit 22 % de la limite annuelle. La teneur des minerais exploités, double de celle historiquement rencontrée, mais aussi une population de travailleurs affectés exclusivement en chantiers souterrains, expliquent l'augmentation constatée de 1996 à 2000.

Un cas particulier exceptionnel de choix de méthode d'exploitation permettant de maîtriser les contraintes liées à la radioactivité du minerai est celui de la mine de Cigar Lake au Canada.

Le gisement souterrain de Cigar Lake – dans lequel COGEMA détient une participation de 37,1 % – est exceptionnel par ses réserves et sa teneur, en moyenne 20% d'U.

Le débit de dose généré par la seule radioactivité gamma du minerai est tel qu'une per-

sonne qui serait en contact direct avec le minerai recevrait en quelques jours la dose maximale admissible en un an.

Une méthode minière indirecte s'imposait compte tenu également d'autres difficultés inhérentes au gisement : risques de venue d'eau considérables, très mauvaise tenue de terrain des zones minéralisées. La méthode dite Jet Boring a été conçue par COGEMA et testée avec succès en prototype puis à l'échelle industrielle avec son appui.

Le minerai est abattu à distance à l'aide d'un jet d'eau à haute pression, à partir d'un niveau situé sous le gisement, dans le socle imperméable. La radioactivité est parfaitement contenue : le minerai est transporté en pulpe diluée dans des tuyauteries. Les cavités formées dans le minerai sont immédiatement remblayées. Avant l'exploitation du minerai, le gisement et la partie supérieure du socle sont congelés afin d'améliorer la stabilité du massif et de se garantir de venues d'eaux intempestives.

La méthode Jet Boring est la réponse technologique originale et brevetée développée pour prévenir les risques inhérents au gisement, et en particulier maîtriser l'exposition à la radioactivité.

Traitement et élimination des déchets et effluents

Les déchets miniers sont essentiellement constitués par les résidus de traitement des usines de concentration; les effluents sont liquides (les eaux issues des sites miniers) ou gazeux (le radon émanant des sites de stockage).

Les résidus de traitement du minerai

Ils contiennent des descendants de l'uranium, eux-mêmes radioactifs, et encore quelques traces d'uranium. Il y reste près de 75 % de la radioactivité initiale du minerai. Ils sont faiblement et naturellement radioactifs, mais de longue durée de vie. Ils représentent quelques centaines de milliers à quelques millions de tonnes stockées en un même lieu. Ils sont regroupés dans des stockages autorisés qui sont des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

De nombreuses études permettent de connaître les caractéristiques des sites de stockage : géologie, hydrogéologie, tectonique, minéralogie, stabilité, état radiologique.

Après exploitation, on procède au réaménagement des stockages de résidus, le plus souvent par couverture solide. Il s'agit d'assurer une bonne protection mécanique, résistant à l'érosion et aux intrusions diverses, en même temps que de limiter l'exposition à la radioactivité et au dégagement de radon. On utilise de préférence les matériaux disponibles sur le site.

Pour le recouvrement, ce sont de très importants volumes de matériaux qui sont déplacés. Un état radiologique effectué en fin de travaux permet de vérifier l'efficacité du réaménagement.



Réaménagement du stockage des résidus de traitement de la mine de l'Ecarpière en Vendée

Les eaux issues des sites miniers

Les études hydrologiques et hydrogéologiques permettent de connaître la nature, la composition et les circuits des eaux de surface et souterraines dont le contact avec la roche peut engendrer la mise en solution de certains des constituants. Elles permettent de classer les eaux en fonction de leur composition (uranium, radium, calcium, sodium, sulfates, carbonates...) et de leurs caractéristiques (température, acidité, gaz dissous, matières en suspension...), aussi bien pour les sites en exploitation que pour les sites arrêtés.

Séparer les eaux en fonction de leur origine permet de les gérer plus rigoureusement et de réduire les coûts de traitement en limitant les quantités à traiter. Des recherches sont en cours pour optimiser des modes de traitement passifs pour le long terme sur les sites réaménagés.

L'efficacité du traitement est contrôlée avant rejet dans le milieu naturel : quantités de radionucléides, de sels et de métaux contenues. Les boues générées demeurent confinées sur le site avec les résidus de même nature.

Aux abords d'un site, les eaux de surface et souterraines sont également contrôlées pour juger de l'impact éventuel sur l'environnement.

Contrôle

Le rôle de l'exploitant minier est de maintenir l'impact sur la population et l'environnement aussi faible que raisonnablement possible, en deçà de la limite réglementaire, et de s'en assurer par une surveillance systématique et régulière. La surveillance de l'environnement consiste à contrôler, aux alentours des sites miniers et industriels, toutes les voies de transfert que pourraient emprunter l'uranium et ses descendants (en

particulier le radium et le radon) mais aussi diverses substances liées aux activités minières (notamment fer, aluminium, sels et métaux lourds). Elle porte essentiellement sur le contrôle des eaux (rivières, eaux souterraines, puits...), de l'atmosphère (exposition externe et exposition interne, par inhalation de radon ou de poussières), et de la chaîne alimentaire. Des contrôles sont effectués en permanence pendant toute la durée de l'exploitation et se poursuivent pendant les travaux de réaménagement et après la cessation d'activité.

Dans chaque région minière est défini un réseau de surveillance de l'environnement avec des points de prélèvement. Tous les échantillons prélevés sont analysés par le CRPM. L'ensemble des résultats des mesures et analyses est transmis à la DRIRE où ils peuvent être consultés par le public. On calcule ainsi le taux annuel d'exposition totale ajoutée d'une population de référence à proximité immédiate du site qui sert à l'évaluation réglementaire de l'impact radiologique.

Ainsi, l'exploitant vérifie la qualité de ses installations et la conformité aux normes réglementaires : l'administration surveille l'exploitant et se réserve le droit d'effectuer ses propres contrôles par des laboratoires et experts agréés.

Les utilisations des rayonnements ionisants dans la recherche biomédicale

par **Françoise Roussille** - Chargée de mission au risque radioactif - Adjointe du responsable du Bureau des conditions de travail - INSERM

La recherche biomédicale étend son champ d'activité essentiellement aux domaines de la biochimie, la biologie cellulaire et la biologie moléculaire, et à ce titre utilise des radioéléments en sources non scellées.

Il est sans doute audacieux de vouloir dresser un tableau exhaustif des activités radioactives à l'INSERM. En effet, la diversité des thèmes de recherche, l'évolution des techniques et la complexité de l'organisation de la recherche en termes de sites, de personnels et de collaborations ne permettent pas d'obtenir une image précise des manipulations effectuées. Toutefois, l'utilisation des rayonnements ionisants β ou γ comme marqueurs ou comme traceurs demeure une technique classique qui permet de suivre au sein d'un organisme une molécule marquée par scintigraphie ou par autoradiographie s'il s'agit d'un organe cible ou d'une cellule.

Un très grand nombre des techniques actuelles mettent en œuvre des radioisotopes comme ^{32}P - ^{35}S - ^3H - ^{14}C - ^{125}I - ^{45}Ca , pour des expérimentations *in vivo* (animal) ou le plus souvent *in vitro* permettant de suivre les mécanismes aboutissant à la synthèse d'une protéine ou d'ADN, à l'identification et à la localisation d'un gène, ou au parcours d'un élément.

Devant l'importance de la biologie moléculaire dans différentes disciplines (localisation de gènes, recombinaison, clonage, polymérase chain reaction (PCR), criblage de banques, hybridation, utilisation de vecteurs et d'organismes génétiquement modifiés), des techniques alternatives aux techniques radioactives se sont développées qui reposent sur les procédés de chimio-luminescence : de luminescence absorbance, de fluorescence, ou de fluorescence polarisée.

Le choix entre ces deux protocoles, l'un radioactif, l'autre de chimio-luminescence, réside principalement dans l'adéquation entre des contraintes purement scientifiques et des exigences de prévention.

Par ailleurs, des techniques de radioimmunoanalyse (RIA) se sont développées avec la mise sur le marché de nombreux anticorps monoclonaux, permettant de doser facilement des substances biologiques comme des hormones, des enzymes ou des marqueurs tumoraux.

Les ^{51}Cr - ^{86}Rb - ^{36}Cl - ^{111}In - ^{59}Fe sont également employés, mais de façon plus limitée.

A de très rares exceptions près, les activités manipulées dans les laboratoires de recherche biomédicale sont de faible activité, inférieures à 74 MBq, et à de faibles débits. On peut citer les exemples suivants :

Dans les techniques d'hybridation de Southern, Northern Blot, l'activité mise en jeu en ^{32}P est de l'ordre de 3,7 MBq en ($\alpha^{32}\text{P}$) dCTP ou ($\alpha^{32}\text{P}$) ATP. L'activité est plus importante (entre 370 et 1110 MBq) pour les rares phosphorylations effectuées.

Le ^{51}Cr est utilisé avec des activités d'environ 307 MBq pour évaluer la cytotoxicité des cellules cibles.

La mesure de la prolifération d'une population cellulaire en réponse à un stimulus donné est effectuée grâce à la thymidine tritiée (37 MBq), ou encore la méthionine marquée au ^{35}S .

La technique chloramphénicol acétyl transférase assay met en jeu 3,7 kBq de ^{14}C , permettant ainsi d'analyser les différentes formes acétylées de chloramphénicol.

Les iodations des protéines solubles sont de moins en moins répandues mais mettent en jeu, sous forme d' ^{125}I Na, de 18,5 à 180 MBq. Le recours aux autres iodes, ^{123}I ou ^{131}I , demeure beaucoup plus rare.

La présence de sources scellées à l'INSERM se réduit aux sources contenues dans les compteurs à scintillations et les compteurs gamma ou aux sources de césium 137 totalement sécurisées des irradiateurs, type IBL 637, utilisés pour irradier des cellules ou des petits animaux comme les souris.

Les sources non scellées dans les laboratoires de biologie sont utilisées à de très faibles activités et à des fréquences irrégulières subordonnées aux résultats obtenus.

On constate que, en raison des faibles activités mises en jeu et de la nature des radioéléments, peu de manipulations, à l'exception des techniques de marquage, phosphorylation ou iodation, sont susceptibles d'entraîner une exposition externe. L'augmentation du nombre de molécules marquées proposées dans le commerce limite ainsi ce type de manipulation.

Le risque d'exposition externe, à distance et au contact, existe lors des manipulations de ^{32}P . Pour pallier le risque dû à sa forte énergie (1,7 MeV) à laquelle s'ajoute le rayonnement X de freinage, le ^{33}P de 250 keV est employé chaque fois que les impératifs techniques le permettent.

Toutefois, le principal danger lors de l'utilisation de sources non scellées demeure l'exposition interne. Le risque de dispersion, sous forme liquide ou gazeuse, dont l'importance des effets est fonction de la nature du radionucléide, des activités mises en jeu et de sa forme physico-chimique, existe. Il peut être à l'origine de contamination cutanée - transcutanée et d'inhalation de poussières ou d'aérosols radioactifs lors de centrifugation, de changements de température, congélation dans l'azote liquide à -180°C , incubation à $+4^\circ\text{C}$ ou à 37°C . Il faut donc toujours tenir compte de la nature et des effets cibles de la molécule marquée pour apprécier le risque. La période biologique peut être difficile à apprécier, le calcul de la période effective en cas de contamination n'est pas toujours possible.

Par ailleurs, l'appréciation de la dose individuelle engagée se trouve limitée par plu-

sieurs facteurs, d'une part une population hétérogène, d'origine et de formation différentes, difficile à suivre sur plusieurs décennies, d'autre part la variété et l'évolution rapide des techniques.

Enfin, il est difficile d'isoler les effets des rayonnements ionisants des autres effets concomitants dus à la manipulation de substances variées telles que des produits chimiques, toxiques, mutagènes, cancérigènes, des produits biologiques pouvant contenir des microorganismes infectieux ou des organismes génétiquement modifiés ou des produits actifs tels que toxines, antibiotiques, inhibiteurs de fonction.

Il existe à cet égard très peu d'études épidémiologiques sur les effets synergiques.

On dénombre peu d'accidents et d'incidents radiologiques. Certaines manipulations dans lesquelles intervenaient des produits radioactifs sont semble-t-il à l'origine de maladies professionnelles dont le caractère radio-induit n'est pas totalement prouvé. Pour d'autres, il est possible d'évoquer l'aspect stochastique des effets des radioéléments utilisés à une activité plus importante.

Il convient d'ajouter que le contexte dans lequel ces manipulations sont réalisées est susceptible d'être source d'incidents : une population de chercheurs, de techniciens et d'étudiants plus ou moins bien informée ou sensible à la prévention, des conditions matérielles parfois mal adaptées en raison de l'évolution rapide des techniques et des matériels.

Afin d'attirer l'attention de l'expérimentateur sur l'ensemble des sources de danger présentes au poste de travail et de n'en privilégier aucune, l'INSERM propose des stages de formation spécifique comme l'exige le code du travail sur la connaissance des risques et sur les bonnes pratiques.

L'ensemble du personnel de l'INSERM exposé à un risque bénéficie d'une surveillance médicale au moins annuelle. Les études de poste et les visites effectuées conjointement par le médecin de prévention, par l'ingénieur hygiène et sécurité et par la personne compétente en radioprotection constituent un moyen direct de faire passer les messages de prévention.

Enfin, parmi les différentes mesures prises, la démarche qualité, qui exige la rédaction de protocoles expérimentaux, participe à l'intégration de la prévention dans toutes les étapes où existe un danger pour le manipulateur et pour l'environnement.

En raison des très faibles activités manipulées, il ne paraît pas raisonnable de vouloir estimer la dose collective sur une population mouvante, hétérogène, dont le suivi dosimétrique n'est pas assuré par la même entité administrative ; il s'agit la plupart du temps de personnel de catégorie B, dans l'état actuel de la réglementation. A cet égard, il n'est pratiquement jamais concerné par la dosimétrie opérationnelle.

Le milieu de la recherche, et plus particulièrement de la recherche publique, doit satisfaire à un ensemble de textes législatifs et réglementaires inscrits entre autres, au code du travail (livre III- titre II), et à ce titre respecter les textes qui portent sur la protection des travailleurs et sur l'obtention de radioéléments artificiels.

Le décret du 20 juin 1966 modifié et celui du 2 octobre 1986 concernant la protection des travailleurs en dehors des installations nucléaires de base sont ainsi applicables aux laboratoires, dans l'attente de la transposition de la directive Euratom 96/29.

La détention et l'utilisation de radioéléments artificiels en sources non scellées ou scellées à des fins de recherche sont soumises à l'autorisation du ministère de la santé, conformément aux articles R 5234 et suivants du code de la santé publique.

Chaque formation de recherche de l'INSERM, soit en moyenne une quarantaine de personnes, fait conformément à la réglementation une demande d'autorisation auprès des autorités officielles.

Cette autorisation leur est délivrée sur la base d'un dossier technique, type recherche (1ère section), adressé à l'OPRI qui vérifie les renseignements relatifs aux conditions d'utilisation et aux moyens de protection prévus pour les travailleurs et l'environnement, en particulier : les locaux et les installations affectés aux manipulations - les quantités maximales détenues et mises en œuvre - les utilisations admises - les protocoles expérimentaux - les moyens de contrôle du maté-

riel, des personnes - les modalités de traitement des effluents et déchets.

Ce dossier, visé par l'OPRI, est transmis à la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA), puis au ministère de la santé qui notifie la décision en précisant les activités maximales manipulées et les activités maximales détenues.

Cette autorisation nominale, délivrée au demandeur pour 5 ans, est subordonnée à la présence d'une personne compétente en radioprotection dûment formée.

Il appartient à celle-ci de contrôler qu'à aucun moment le cumul des produits achetés et en cours d'utilisation n'entraîne un dépassement des activités autorisées.

Ce contrôle est renforcé par les dispositions de la circulaire de la DGS du 3 août 1972 qui prévoit la présence d'un coordinateur des activités isotopiques dans les établissements universitaires, médicaux ou pharmaceutiques, rôle tenu le plus souvent par le responsable du service de médecine nucléaire du site.

D'autres textes viennent compléter ces obligations, en particulier l'arrêté du 31 juillet 1991, concernant les modalités et le contenu du suivi médical, complété par l'arrêté du 28 août de la même année sur la surveillance médicale des personnes exposées aux rayonnements.

L'utilisation simultanée de produits radioactifs et de substances biologiques, chimiques toxiques doit en outre répondre à différentes obligations réglementaires, techniques et organisationnelles intégrant la prévention de l'ensemble des risques présents dans le laboratoire, afin d'apporter aux personnels la meilleure sécurité et d'assurer la qualité des résultats dans un contexte administratif varié associant d'autres établissements publics scientifiques et techniques (EPST), l'université, le CEA et des organismes publics et privés.

En termes de prévention, les laboratoires de recherche publique doivent respecter le code du travail et la législation propre à la fonction publique et, à ce titre, ont l'obligation de disposer de locaux et d'équipements conformes permettant d'assurer la protection du personnel et de l'environnement.

L'utilisation de tissus ou de cellules issus du corps humain, et donc comme tels suspectés de contamination biologique, impose d'associer les impératifs de sécurité vis-à-vis de ce risque à la prise en compte du risque radioactif ; les zones surveillées ne sont donc pas toujours dévolues uniquement à la manipulation de sources non scellées.

Dans tous les cas, il s'agit de respecter les obligations relatives aux locaux à pollution spécifique puisqu'il y a manipulation de produits dangereux : qu'il s'agisse d'une zone surveillée au sens de la réglementation, d'une pièce de cultures, d'un laboratoire de confinement biologique, type L1 - L2 ou A1 - A2 pour les animaleries, les locaux sont balisés et généralement équipés de surfaces lisses, décontaminables et d'une ventilation distincte de la ventilation générale.

Au regard de la législation actuelle, peu de manipulations imposent des zones contrôlées. Ces dernières sont globalement bien aménagées, disposent d'un sas et d'une ventilation en dépression et sont équipées de boîtes à gants dont l'extraction s'effectue en terrasse.

Ces zones contrôlées sont parfois communes à plusieurs laboratoires pour des raisons de rentabilité et d'infrastructure, dans la mesure où les laboratoires sont souvent hébergés dans des bâtiments universitaires ou hospitaliers qui n'ont pas été prévus pour des activités de recherche.

Beaucoup de laboratoires disposent d'une sorbonne conforme à la norme XP X 15-203 pour la manipulation de produits chimiques, mais aussi pour certaines manipulations radioactives telles que l'ouverture des flacons de soufre 35 ou l'utilisation de molécules marquées à l'iode 125.

Des écrans équipent les différents postes de travail, en plexiglas pour arrêter les β de 1,710 MeV du phosphore 32 ; des écrans γ sont prévus pour les manipulations d'iode ou de chrome 51.

Conformément à la réglementation, la personne compétente joue un rôle important dans le respect des mesures de protection. Sa fonction n'est pas toujours aisée à remplir dans la mesure où elle participe aussi aux activités de recherche, au titre de chercheur ou d'ingénieur, et où elle intervient sur une population qui prend souvent toute mesure

de protection comme une entrave à la recherche. Elle s'attache tout particulièrement à mettre en place les mesures de protection pour un nouveau protocole et à former et informer toute nouvelle personne qui souhaite manipuler un produit radioactif. Dans la même perspective, elle rédige les conduites à tenir en cas d'incident et s'applique à les faire connaître de tous.

Elle veille à ce que le personnel ait à sa disposition des détecteurs adaptés aux rayonnements et en nombre suffisant. Il est de la responsabilité de chaque manipulateur de contrôler les éventuelles contaminations pour lui, le poste de travail et son environnement. De manière régulière, ces contrôles sont réglementairement effectués par la personne radiocompétente.

Pour faciliter les échanges entre personnes compétentes, plusieurs structures se mettent en place, en particulier, avec RELIR (retour d'expérience lors d'incident radiologique). Le Bureau des conditions de travail de l'INSERM organise également des contacts directs et des séminaires pour appuyer leur mission.

L'organisme est très attentif à ce que le personnel exposé aux rayonnements ionisants dispose d'une surveillance médicale radiologique, dosimétrie mensuelle ou bimensuelle et examens radiotoxicologiques urinaires opérationnels en fonction des manipulations, des activités et de la période du radioélément utilisé. En outre, le personnel a l'obligation de répondre aux visites médicales annuelles obligatoires dans le cadre d'une exposition aux produits dangereux. Dans certains cas, le médecin peut proposer une éviction momentanée du poste de travail, en particulier aux femmes enceintes ou allaitantes manipulant des produits radioactifs et toutes substances présentant un risque.

L'organisme est assez favorable à ce que les contrôles urinaires soient réalisés au-delà de l'obligation faite au personnel de catégorie A. Les résultats positifs, le plus souvent à l'état de traces, sont peu nombreux et révélateurs, soit d'anomalies répétées, soit d'incidents. Ils sont l'occasion de sensibiliser et d'inciter les manipulateurs à mieux respecter les mesures de radioprotection et à renforcer les contrôles de contamination surfacique. Si les dysfonctionnements se reproduisent, ces laboratoires font l'objet de visites d'inspec-

tion de l'inspecteur hygiène et sécurité de l'INSERM et, dans des cas relativement exceptionnels, de l'OPRI, sollicité pour intervenir de façon coercitive.

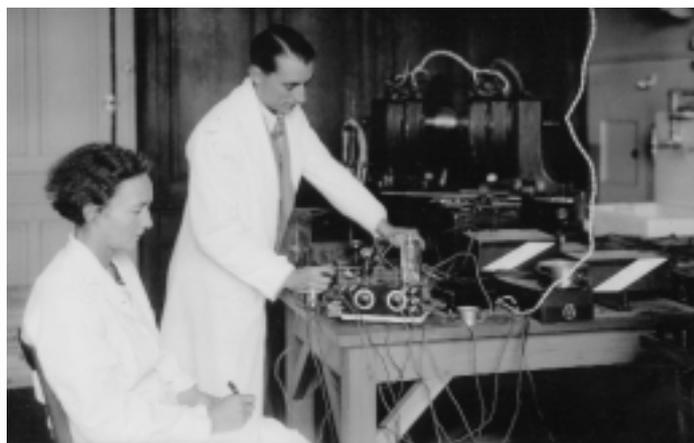
Par ailleurs, certains sites sont classés en installations classées pour l'environnement (ICPE) en raison du cumul des activités radioactives détenues par plusieurs laboratoires, et à ce titre doivent répondre aux exigences de déclaration ou d'autorisation. Dans l'état actuel de la nomenclature, les activités n'entraînent que des obligations de déclaration, à l'exception des irradiateurs.

Les opérations de décontamination et de contrôles de non-contamination des locaux, lors de travaux ou de changement de destination, sont effectuées par des entreprises agréées, et le certificat de non-contamination est adressé aux autorités officielles.

Pour les laboratoires de recherche, la gestion des déchets radioactifs s'inscrit dans une politique générale environnementale. Le coût global de l'élimination des déchets représente près de 10 % du budget de fonctionnement d'une formation de recherche et une grande partie en est consacrée aux déchets contaminés par des radioéléments. L'enlèvement des déchets contaminés par des radionucléides de période longue est assuré par l'ANDRA qui impose, avec un coût élevé, des obligations de tri, de conditionnement et d'étiquetage très strictes auxquelles se soumettent relativement bien les laboratoires de recherche.

Les déchets contaminés par des radioéléments de période courte largement employés aujourd'hui sont traités sur place par décroissance. Très souvent, les laboratoires se regroupent et organisent sur le site un local de décroissance pour les déchets solides et liquides contaminés par ^{32}P , ^{33}P , ^{125}I , ^{51}Cr ... Leur gestion est parfois confiée à un organisme agréé qui effectue des contrôles réguliers et s'assure qu'au terme de 10 périodes il n'y a plus trace de radioactivité détectable et que ces déchets peuvent suivre la filière d'élimination appropriée.

Demeure le problème essentiel, quelle que soit la période de l'isotope utilisé, des déchets mixtes, à savoir les déchets contaminés par un produit radioactif et un ou plusieurs autres produits, toxiques, cancérigènes, infectieux ou OGM, qui pris



Irène et Frédéric Joliot-Curie procédant à la numérotation d'un radioélément nouvellement créé dans leur laboratoire de l'Institut du radium, en 1934

séparément exigent un traitement spécifique. C'est le cas aussi des cadavres et pièces anatomiques animales ayant reçu un produit radioactif. C'est d'autant plus une préoccupation que les procédés utilisés sont presque toujours factuels en raison de la diversité des situations. Le principe de base retenu est de procéder à une décontamination biologique avant tout autre traitement. Cela demeure une opération délicate dans la mesure où la décontamination biologique, par eau de Javel, chaleur, ou autre procédé physique, peut générer des risques de formation d'aérosols radioactifs, voire de nouvelles molécules dont les effets sont, sinon inconnus, au mieux difficilement maîtrisables. Cela conduit souvent à une étude interdisciplinaire.

Au vu de l'évaluation des risques que l'INSERM effectue dans chaque laboratoire, il apparaît que le risque radioactif est le mieux appréhendé. En fonction de la thématique et des autres produits manipulés, il peut s'avérer être surestimé ou sous-estimé. La raison en est sans doute dans la formation initiale de base de cette population de chercheurs : insuffisamment sensibilisée aux risques qu'elle encourt, elle porte essentiellement son attention sur ses travaux de recherche. L'implication du personnel dans l'élaboration systématique de protocoles expérimentaux, encore plus que l'information sur les aspects réglementaires, techniques, organisationnels et budgétaires de la radioprotection, lui permettront de mieux apprécier le risque radioactif et d'extrapoler la démarche de précaution aux autres risques. Une des voies possibles vers laquelle l'INSERM s'oriente est d'intégrer la prévention dans toutes les formations scientifiques.

Conservation du patrimoine par irradiation gamma

par Régis Ramière – Chef d'installation – ARC-Nucléart – CEA/Grenoble

Introduction

Au cours des années 60 du siècle dernier, les recherches effectuées sur le rayonnement gamma eurent de nombreux développements industriels, par application de ses propriétés radiobiologiques (désinsectisation, stérilisation...) et radiochimiques (le renforcement des propriétés mécaniques de matériaux poreux peut être obtenu en deux phases : leur imprégnation avec des résines liquides ou des monomères contenant une double liaison carbone/carbone ; puis leur irradiation gamma qui provoque la polymérisation radicalaire in situ des produits imprégnants).

Par extension, ces recherches furent appliquées dans le domaine de la conservation du patrimoine culturel à partir de 1970 au CEA/Grenoble (ARC-Nucléart) pour désinfecter des biens contaminés par des insectes ou des microorganismes (meubles, statuaire, objets ethnographiques, momies) et pour consolider des objets altérés en bois secs avec des développements pour la densification de parquets anciens et pour la conservation d'objets archéologiques en bois gorgés d'eau.

Ce texte est basé sur l'expérience acquise par ARC-Nucléart au cours des 30 dernières années. Il faut signaler que d'autres pays utilisent aussi ces techniques : par exemple la République Tchèque, la Pologne, le Brésil, etc.

Une telle activité doit se développer dans le respect des règles propres aux secteurs concernés : le nucléaire avec ses impératifs de sûreté, et la conservation du patrimoine avec ses règles déontologiques concernant toute intervention sur un objet culturel.

L'irradiation gamma est-elle une panacée ?

Il n'existe pas, en conservation du patrimoine, une méthode miracle permettant de faire face à la majorité des problèmes que

pose un matériau tel que le bois. Les professionnels doivent donc disposer d'une panoplie de méthodes parmi laquelle ils choisissent le traitement le plus adapté : l'irradiation gamma est une de ces méthodes. Quelles sont ses caractéristiques essentielles ?

1) La désinfection : c'est une méthode rapide (quelques heures), n'imposant pas une période de quarantaine ou de dégazage de produits toxiques ; elle s'effectue à température et pression ambiantes ; elle permet des traitements de masse, tout comme des traitements par gaz. Un traitement ne peut être mis en œuvre que si on est assuré que la dose d'irradiation requise est sans effet sur les matériaux constitutifs de l'objet contaminé par des microorganismes ou des insectes. Bien évidemment, de tels traitements ne peuvent être effectués in situ.

La consolidation : l'utilisation d'une résine sans catalyseur permet une imprégnation de longue durée du matériau altéré et donc facilite une imprégnation en profondeur ; le stockage de la résine est aussi plus facile parce qu'elle ne contient pas de catalyseur ; de plus, le contrôle du déroulement d'une radiopolymérisation, en agissant sur le débit de dose délivrée à l'objet imprégné, est plus aisé que lors d'une polymérisation par thermocatalyse. Si une imprégnation en profondeur est nécessaire pour consolider un objet très altéré (« traitement de sauvetage »), elle est cependant irréversible.

Réglementation applicable

L'installation de traitement est soumise à la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Elle est constituée de plusieurs sous-ensembles :

1) L'irradiateur, de type « piscine », où sont utilisées des sources scellées conformes aux normes NF M 61002 et NF M 61003 conte-

nant un radionucléide du groupe II (cobalt 60) dont l'activité est comprise entre 3 700 GBq et 3 700 TBq, est soumis à autorisation (rubrique 1720).

2) Les ateliers d'imprégnation des bois avec des liquides inflammables (masse comprise entre 1 et 10 T) sont soumis à déclaration (rubrique 1433).

3) Le local de stockage de résines et d'acétone (ce dernier produit est utilisé au cours du traitement des bois gorgés d'eau) est un dépôt aérien de liquides inflammables de première catégorie (volume compris entre 10 et 100 m³). Il est soumis à déclaration (rubrique 253).

De plus, l'installation doit respecter les prescriptions techniques précisées par arrêté préfectoral : prescriptions techniques générales et prescriptions techniques spécifiques pour l'installation.

Les risques de l'installation

Ils sont de deux sortes : risques à caractère radioactif et risques à caractère chimique.

1) Risques à caractère radioactif

- Irradiation

La prévention est prise en compte dès la construction de l'installation ; son dimensionnement est lié à une activité maximale des sources : épaisseur des murs de la cellule, hauteur d'eau en piscine, équipement de radioprotection permettant une surveillance en continu (le tableau de contrôle des rayonnements...).

En cas d'incident, un système de détection avec alarmes sonores et lumineuses et report au PC sécurité du Centre CEA informe le personnel qui agit selon les consignes. Les agents sont équipés de dosimètres portatifs à alarme (système « Dosicard »).

Les opérations peu fréquentes de manipulations de sources en piscine sont effectuées avec l'appui de l'équipe de radioprotection.

- Contamination

Le risque est ici très limité car il n'y a pas de contact entre le radioélément, sous forme métallique, et l'extérieur (air, eau) : le radioélément est en effet confiné sous double gainage en acier inoxydable (sources scellées sous forme spéciale) ; de plus, les sources sont livrées avec un certificat d'étanchéité et de non-contamination. Il faut noter que la piscine a un revêtement étanche et que l'eau qui est régulièrement filtrée est recyclée, sans rejet à l'égout.

Il résulte de ce qui précède que les équivalents de dose reçus par le personnel sont très faibles.

2) Risques chimiques (incendie, explosion, pollution)

Ces risques n'ont pas à être détaillés dans le cadre de cet article. Il importe de noter cependant un principe de base : il n'y a aucune communication directe (porte) entre l'installation d'irradiation et celle d'imprégnation/stockage. Tout incident ou accident sur l'une des installations n'a donc que peu ou pas d'incidence sur l'autre.

Contrôles

Des contrôles effectués à plusieurs niveaux doivent permettre de vérifier que les principes de sécurité et la réglementation sont respectés.

- Contrôles périodiques de l'installation, effectués sous l'autorité du chef d'installation par l'exploitant ou par du personnel spécialisé (service technique, agent de radioprotection, service d'analyse...). La traçabilité de ces contrôles est assurée.
- Des inspections et des contrôles effectués en interne au CEA, par la direction du CEA et par la direction du Centre de Grenoble, assurant la fonction de contrôle de 2^{ème} niveau.
- Des inspections relevant de l'autorité de la préfecture, réalisées par les services de la DRIRE.

Transport de sources radioactives

par **Guy Y. Turquet de Beauregard** – Directeur général
et **François Dufour** – Ingénieur sécurité – CIS Bio International

Le contexte et les enjeux : préparation et expédition de colis radioactifs pour la médecine dans le monde entier

Société pharmaceutique utilisant les applications biomédicales de la radioactivité, CIS Bio International intervient dans le monde entier. Ses installations comportent deux INB (installations nucléaires de base) en France.

Chaque année, plus de 180 000 colis radioactifs sont expédiés par CIS Bio International, en France dans plus de 200 centres de soins, ou dans le monde entier dans plus de 1 000 centres.

L'immense majorité de ces colis contient des produits à vie courte (quelques heures à quelques jours) qui, fabriqués entre une demi-journée et deux jours avant leur livraison, doivent arriver avant 8 heures le matin dans les hôpitaux ou les cliniques.

Comme pour la dizaine de sociétés équivalentes dans le monde, la logistique est donc un facteur clé pour une entreprise intervenant sur le marché médical des sources radioactives.

Les produits les plus nombreux sont, tout d'abord, ceux de médecine nucléaire, qui associent un vecteur biologique à un traceur radioactif. Injectés aux patients, ils sont utilisés, soit pour faire un diagnostic au travers d'une image fonctionnelle réalisée en temps réel à l'aide d'une caméra γ , soit pour appliquer une thérapie avec des doses plus importantes pour la destruction de cellules pathogènes. L'activité de ces produits varie de quelques MBq à quelques centaines de GBq et concernent l'iode, le technétium, le thallium, le gallium, l'indium ou le fluor, pour citer les plus courants.

Il existe ensuite une gamme de produits d'immunoanalyse utilisés dans les laboratoires d'analyse médicale, dont le but est de détecter in vitro les antigènes ou les anticorps en utilisant un traceur radioactif (quelques centaines de kBq d'iode 125 par colis).

Ce sont, enfin, les produits pour la radiothérapie ou la radiobiologie, qui représentent des activités de plusieurs dizaines de TBq pour des périodes beaucoup plus longues (cobalt 60, césium 137 ou iridium 192 essentiellement).

Les pathologies concernées par tous ces produits sont en premier lieu le cancer, puis les dysfonctionnements de la glande thyroïde, les affections cardio-vasculaires, et enfin les infections.

La production et la distribution de telles sources imposent d'assurer une qualité et une sécurité dans l'ensemble des étapes allant de l'approvisionnement des matières premières jusqu'à la mise aux déchets.

Pour CIS Bio International, sur les 180 000 colis radioactifs expédiés chaque année :

- 40 000 colis, essentiellement pour le diagnostic in vitro, sont des colis « exceptés » car très faiblement radioactifs ;
- 140 000 colis, essentiellement pour la médecine nucléaire, sont des colis de type A ;
- moins de 200 colis, essentiellement pour la radiothérapie, sont des colis de type B.

Ces colis radioactifs sont acheminés sur différents modes de transport :

70%	par route ;
30%	par air ;
moins de 1%	par mer.

La médecine nucléaire utilise deux grands types d'emballages « à usage unique » en colis de type A :

- un seau métallique de 28 litres avec calages polystyrène bas et haut, contenant le générateur de Tc 99 m ;
- un carton de 9 litres contenant un calage mousse ou cellulose et une boîte métallique de taille standard. La boîte métallique peut contenir divers radioéléments (I 131, Fe 59, P 32, Sm 153, I 123, Ir 192, Xe 133, Ga 67, I 125, Re 186, In 111, Er 169, Y 90...).

L'analyse médicale utilise des colis « exceptés » expédiés par CIS Bio International (CBI) ne contenant que de l'iode 125 avec des activités faibles allant de 18,5 kBq (0,5 μ Ci) à 1,18 MBq (32 μ Ci).

Validation et qualification des colis

La conformité est la première condition en matière de sécurité de transport. Les emballages à usage unique (seau de 28 litres ou carton de 9 litres) ont tous été testés par le LNE (Laboratoire national d'essais) et satisfont aux critères de l'AIEA repris dans la réglementation : épreuves d'aspersion d'eau, de chute libre, de gerbage (écrasement par compression), de perforation. Le LNE a soumis, à la demande de CBI, les emballages à usage unique à des feux de 800 °C pendant 30 minutes. Ces essais ont démontré un confinement de la matière dans le colis.

Les conteneurs de type B pour la radiothérapie sont, eux, soumis à des essais de performance très approfondis conduisant à des dossiers de sûreté très complets.

En 1998 et en 1999, quinze à vingt colis de type A ont connu chaque année des dommages plus ou moins sévères.

Le taux d'incidents global est d'environ d'1 colis pour 10 000 expédiés.

Tous les incidents ou presque ont lieu sur aéroports, au cours de la manutention en entrepôt ou sur piste au moment du trajet ou du chargement.

Cela va du colis abîmé (éraflure sur carton, léger coup sur seau métallique) à l'écrasement total du carton par un véhicule. Dans ce dernier cas de figure, la boîte métallique sortie a permis de garder le confinement, comme dans tous les autres incidents.

Les très rares cas de contamination observés ont lieu avec des colis exceptés (quelques μ Ci d'iode 125), donc sont restés sans conséquence pour l'environnement, le public et les travailleurs.

La logistique : organisation du transport, contrôles d'irradiation et de contamination, traçabilité du transport

La qualité logistique dans les métiers de CIS Bio International est un facteur critique à la

fois par la nature radioactive des produits livrés et par l'absolue nécessité d'une bonne coordination en temps et en besoins avec la demande du corps médical.

En pratique le cycle de production et d'expédition recouvre une semaine. Ceci permet d'anticiper l'ensemble de la logistique transport : planning, vols d'avion, transporteurs.

Pour les colis de type B, les dispositions réglementaires d'un part et les contraintes de temps de vie des radioéléments (plusieurs mois ou années) d'autre part conduisent à un délai d'organisation pour le transport plus long.

L'irradiation des colis

Avant expédition, tous les colis sont contrôlés unitairement, soit manuellement pour les conteneurs, soit par des détecteurs (chambre d'ionisation) sur les chaînes automatiques d'expédition.

La standardisation des radioéléments et de leur activité (contrainte pharmaceutique) a permis de mettre en place un système de calcul informatique des indices de transport qui a été validé par une série de mesures.

La contamination

Tous les conteneurs de type B sont frottés manuellement et contrôlés par le service de radioprotection.

Pour les autres colis expédiés chaque jour, le contrôle consiste en des frottis quotidiens des chaînes d'expédition avant le départ des colis en camion.

La conception de la chaîne de production intègre une séparation physique entre la zone de production et la zone d'emballage.

La traçabilité

Tous les colis livrés par véhicule léger en région parisienne sont scannés à l'aide d'un système de code barres et de crayon optique. L'expéditeur vérifie ainsi la liste des colis expédiés et il a confirmation que les colis sont bien livrés avec l'heure de livraison grâce au même système.

Pour les aéroports internationaux ainsi que pour les expéditions par route aux filiales

européennes, CIS Bio vérifie par code barres que tous les colis sont bien partis de l'installation de production.

Pour les transports nationaux par route, les systèmes informatisés du sous-traitant et de CIS Bio ont été rendus compatibles, afin de partager les données des 2 systèmes de traçabilité.

Le retour des produits

Les retours des colis après utilisation, que ce soit pour des périodes courtes (emballages à usage unique) ou des périodes longues (sources en conteneurs) obéissent à des procédures validées.

Les emballages à usage unique (générateurs de Tc 99 m en majorité) subissent plusieurs semaines de décroissance chez l'utilisateur avant retour.

Les retours de sources donnent lieu à l'émission d'un document appelé « ordre de reprise » faisant l'objet d'une procédure impliquant l'émetteur (CIS Bio), l'expéditeur (dient), le transporteur, et le destinataire (réception CIS Bio).

Sécurité et qualité : système d'assurance qualité, coopération européenne

CIS Bio International a demandé et obtenu depuis 1998 la certification ISO 9001. Sur 3000 procédures dans l'entreprise, une trentaine concerne les transports de matières radioactives.

CIS Bio International est membre de l'ARPES (Association of Radiopharmaceutical Producers and Equipment Suppliers), groupe européen comprenant les plus grands producteurs de produits pour la médecine nucléaire.

Le souci des membres de l'ARPES est d'harmoniser leurs règles de sûreté et de sécurité, afin que tous les dients utilisateurs trouvent la même logique chez les différents fournisseurs, et que la sûreté et la sécurité ne soient pas des critères de choix économique.

Conclusion

L'exploitation médicale des sources radioactives n'a de sens que dans le souci permanent de la sûreté et de la sécurité. La rigueur d'un système d'assurance qualité permet à la fois une meilleure organisation et la mobilisation de chacun. De plus, dans un secteur concurrentiel, il est essentiel d'imposer les mêmes réglementations à l'ensemble des acteurs, à la fois pour la sécurité et pour une saine compétition.

Réglementation de la sûreté des transports

par Emeline Seyer - Chargée d'affaires transport, DSIN

La DSIN est chargée depuis le 12 juin 1997 de la **réglementation** de la sûreté du transport des matières radioactives et fissiles à usage civil et du contrôle de son application. La sûreté consiste à maîtriser les risques d'exposition et de criticité présentés par le transport des matières radioactives et fissiles.

La réglementation des transports de matières radioactives est établie sur des bases à caractère **international** qui sont élaborées par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). La DSIN s'attache à intervenir en amont de l'élaboration de cette réglementation, notamment au niveau du comité TRANSSC (Transport Safety Standards Committee) de l'AIEA.

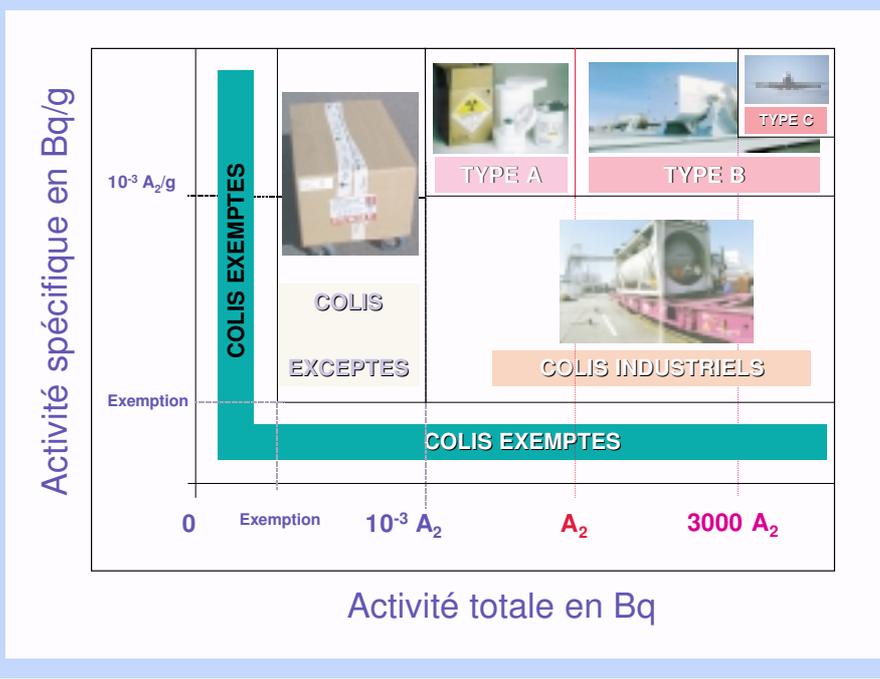
Les bases de l'AIEA sont reprises pour l'élaboration des réglementations **modales** : les accords ADR et RID pour les transports routiers et ferroviaires, le code IMDG pour les transports maritimes, et les instructions techniques de l'OACI pour les transports aériens.

Les réglementations modales sont ensuite intégrées au droit **français** par des arrêtés ministériels. A cet effet, la DSIN est en relation avec les administrations chargées des différents modes de transport (Direction des transports terrestres, Direction des affaires maritimes et des gens de mer, Direction générale de l'aviation civile) et a un représentant à la Commission interministérielle du transport des matières dangereuses.

La réglementation spécifie notamment les critères de performance du **colis** en fonction des caractéristiques de la matière transportée. Compte tenu de la diversité des sources, celles-ci sont présentes sous toutes les formes de contenus et tous les types de colis.

On distingue les **contenus** radioactifs suivants : les matières sous forme spéciale, caractérisées par l'absence de risque de dispersion, les matières faiblement dispersables, et les autres matières radioactives. Une matière est considérée comme radioactive au sens de la réglementation des transports, si les seuils d'activité massique et d'activité totale sont dépassés, ces seuils étant fonction du radionucléide considéré.

Différents types de **colis** sont définis par la réglementation. Le mot colis désigne l'emballage avec son contenu radioactif. Le degré de sûreté du colis est adapté au danger potentiel de la matière transportée. Les fonctions de sûreté que le colis doit assurer sont le confinement, la radioprotection, la prévention des risques thermiques. Les sources sont rarement concernées par le risque de criticité.



Le tableau fait apparaître les types de colis suivants :

- colis exceptés : l'activité du contenu est très faible. Ces colis ne sont soumis à aucune épreuve de qualification. Exemples : analyseurs de plomb, détecteurs de fumée ;
- colis industriels : le contenu est de faible activité massique. Ces colis concernent très peu le transport de sources ;
- colis de type A : l'activité du contenu est limitée. Ces colis sont qualifiés pour résister aux conditions normales de transport. Exemples : gammadensimètres, sources pour la médecine nucléaire ;
- colis de type B : l'activité du contenu est importante. Ces colis sont qualifiés pour résister aux conditions accidentelles. Exemple : gammagraphes, irradiateurs ;
- colis de type C : colis de type B transportés par avion et dont l'activité du contenu est très importante. Ces colis sont qualifiés pour résister aux conditions accidentelles du transport aérien.

Chaque modèle de colis de type B et de type C, ainsi que chaque modèle de source sous forme spéciale et de matières faiblement dispersables, fait l'objet d'un agrément délivré par la DSIN, après analyse du dossier de sûreté.

Si les colis de type B et C sont les plus importants en termes d'activité transportée par an, les colis de type A et exceptés sont largement majoritaires dans le nombre de colis expédiés chaque année. En effet, sur trois cent mille colis de matières radioactives circulant en France annuellement, les deux tiers concernent des isotopes destinés à l'usage médical, pharmaceutique ou industriel.

Les petits producteurs : la gestion des déchets radioactifs, de la collecte au stockage

par **Vincent Carlier** – Responsable du service clients à l'ANDRA –
Département petits producteurs

En dehors des sources radioactives scellées qui font l'objet d'une réglementation et d'une gestion particulières, les établissements hospitaliers, les centres de recherche et l'industrie utilisent des radioéléments sous forme de sources non scellées liquides.

Les radioéléments font l'objet d'une surveillance particulière, tant pour ce qui concerne leur utilisation que pour les déchets qu'ils génèrent.

Ainsi, à chaque étape de leur utilisation, un suivi de ces produits et des déchets induits va être effectué de manière rigoureuse, et leur nocivité potentielle prise en compte. Quel que soit le produit, l'objectif reste le même : il s'agit de préserver l'homme et son environnement des effets nocifs de ces produits.

Une réglementation très stricte

Dans ces établissements, l'utilisation de radioéléments fait l'objet d'une stricte réglementation. Elle se traduit tout d'abord par l'obligation d'obtenir une autorisation de détention et d'utilisation de sources radioactives délivrée par l'Administration, à partir d'un dossier contenant des informations précises et complètes dûment spécifiées par le code de la santé publique.

Par ailleurs, l'utilisation des sources est placée sous le contrôle d'un agent spécialement formé à la radioprotection, appelé « personne compétente ».

L'élimination des déchets est de la responsabilité du producteur. En application de la réglementation (circulaire DGS/DHOS n° 2001/323 du 9 juillet 2001), les déchets radioactifs font l'objet d'une demande d'enlèvement à l'OPRI. Les différentes opérations liées à l'élimination sont confiées à l'ANDRA (Agence nationale pour la gestion des

déchets radioactifs). Ainsi, pour permettre leur prise en charge par l'ANDRA, les demandes des producteurs sont accompagnées d'une description détaillée des caractéristiques du déchet lui-même et de son conditionnement.

Des producteurs responsables

Une première mise en forme des déchets est effectuée à l'intérieur même de l'établissement. Elle consiste, tout d'abord, à éliminer les risques infectieux et pathogènes. Il s'agit de protéger les différents intervenants lors des manipulations de ces produits.

Les déchets à vie courte (période de décroissance radioactive inférieure à 100 jours) et de faible activité spécifique sont gérés par décroissance : ils doivent être entreposés pendant un temps suffisant (en général, 10 fois la période la plus longue) pour que l'activité devienne équivalente à celle du milieu naturel. Passé ce délai, et après contrôle, ils peuvent suivre la filière classique de traitement des déchets.



Colis de déchets radioactifs collectés dans un établissement hospitalier

Les déchets à période plus longue sont classés selon leur nature physico-chimique et font l'objet de traitements spécifiques.

A ce stade, l'ANDRA a mis en place une organisation et propose une offre de service qui va au-delà de la collecte et du traitement des déchets. Elle comporte des séminaires de formation, des réunions d'information et une assistance permanente pour aider les producteurs à produire de « bons déchets ».

Les déchets pris en charge

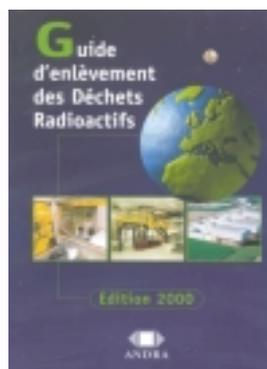
Les déchets sont classés dans les catégories suivantes :

- Déchets solides compactables (SP) composés de verrerie et de matériel de laboratoire, seringues, scalpels, chiffons, papiers, gants, etc.
- Solvants organiques (LS), composés en majorité de cumène, pseudocumène, alcools, xylène, toluène...
- Solutions aqueuses (LA).
- Déchets de scintillations (SLV ou SL) composés de flacons en verre ou en polyéthylène contenant 3 à 10 cm³ de liquide scintillant chimiquement équivalent à celui des solvants organiques.
- Déchets putrescibles (SO), composés en majorité de cadavres d'animaux, de pièces anatomiques et de litières d'animaleries.
- Filtres absorbants pour comptage en couche mince (SC) dans leur conditionnement hermétique sans rupture de confinement.

Ainsi, l'ANDRA édite et diffuse annuellement un guide d'enlèvement reprenant ce classement de principe et les numéros de téléphone permettant de contacter le Service clients (ce guide est également disponible sur le site Internet de l'ANDRA « www.andra.fr », rubrique « prise en charge des déchets »).

Une gestion rigoureuse

L'ANDRA propose pour les déchets radioactifs issus des hôpitaux, des centres de recherche et de l'industrie une prestation complète (certifiée ISO 9001 et 14 001) allant de la prise en charge sur le lieu de production jusqu'au stockage des résidus de traitement



Guide d'enlèvement des déchets radioactifs

en passant par le transport et les opérations de mise en forme.

Avant leur conditionnement, les déchets font l'objet d'un contrôle et d'un tri. Cette opération est rendue nécessaire par la nature physique et chimique des déchets qui requiert, notamment, des filières de traitement spécifiques.



Atelier de tri et de broyage au centre de traitement Sud

Les traitements consistent soit en une incinération pour les solvants, soit en un compactage pour les déchets solides, soit en une évaporation pour les liquides aqueux. L'ANDRA, ne disposant pas de tous les moyens pour réaliser ces opérations, fait appel aux installations spécialisées exploitées par des industriels.

Les déchets radioactifs et les résidus issus du traitement sont ensuite stockés sur le site de l'ANDRA : le Centre de l'Aube.

Les exigences en matière de qualité de colis stockés se traduisent non seulement par les opérations de traitement mais aussi par un suivi rigoureux des colis. Un système informatique permet le suivi de chaque colis à chaque étape de sa prise en charge. Ainsi,

pour être collecté chez un producteur, le colis devra préalablement être saisi informatiquement et la saisie validée par l'ANDRA.

Ce suivi est essentiel pour gérer de l'ordre de 1 000 centres de production qui génèrent annuellement environ 4 500 colis, représentant environ 100 tonnes de déchets radioactifs.

Par ailleurs, l'ANDRA fait éliminer au rythme de 170 tonnes par an le stock d'environ 960 tonnes de déchets collectés et entreposés au cours des années 80 et 90. Il faudra attendre 2004 pour voir la résorption complète de ce stock.

Les sources scellées

Les sources scellées sont des matières radioactives enfermées dans une ou plusieurs

enveloppes métalliques spécialement conçues pour éviter toute dispersion de la radioactivité.

Préparées pour des utilisations variées, ces sources restent encore potentiellement dangereuses lorsqu'elles arrivent en fin de vie industrielle, celle-ci étant fixée à 10 ans maximum d'utilisation avant leur reprise par le fournisseur (sauf prolongation exceptionnelle).

Seules les sources scellées de fabrication française devront être à terme prises en charge par l'ANDRA.

Dans l'attente d'une solution définitive pour l'élimination de ces sources scellées, l'ANDRA envisage de les entreposer dans une installation actuellement à l'état de projet.

Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France – Répartition des doses par secteur d'activité

par **Alain Biau** – Adjoint au directeur médical de l'OPRI

La dosimétrie passive assurée en France conformément à l'arrêté du 19 avril 1968 a permis et permet encore, malgré quelques imperfections, d'évaluer l'exposition des travailleurs dans les différents domaines d'activité utilisant les rayonnements ionisants.

Les décrets n° 98-1185 et n° 98-1186 du 24 décembre 1998 et les arrêtés du 23 mars 1999 ont abrogé l'arrêté du 19 avril 1968 et complètent le suivi dosimétrique par dosimétrie passive (film actuellement) en imposant la dosimétrie opérationnelle (ou active) pour les agents intervenant en zone contrôlée. Cette dosimétrie opérationnelle est complètement assurée dans les centres nucléaires de production d'électricité (EDF) et en partie dans les établissements du CEA et de COGEMA.

En dehors de ces installations, la dosimétrie opérationnelle s'installe lentement pour des raisons liées à la diversité des types de rayonnements, des lieux d'implantation et des cultures de radioprotection.

En attendant que ce double suivi soit plus largement assuré, c'est la dosimétrie passive qui permet de définir le mieux le profil de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants.

L'OPRI dispose d'un laboratoire de dosimétrie photographique au sein de la sous-direction de la radioprotection qui assure le suivi de 65% des personnes travaillant en milieu non nucléaire et de 32% des agents travaillant en milieu nucléaire, en grande majorité les agents extérieurs intervenant pour la plupart dans les CNPE.

Les résultats des autres laboratoires assurant la dosimétrie passive en France (LCIE, Philips, COGEMA, IPSN, CERN, IPN d'Orsay) sont transmis chaque mois à l'OPRI qui les conser-

ve et en effectue les cumuls pour chaque personne surveillée.

Répartition des travailleurs par type d'activité

Les résultats de la dosimétrie passive ne permettent pas d'évaluer l'exposition par type de travail ou de métier avec une grande précision mais il est possible de les répartir dans différents secteurs d'activité par type d'établissement et d'installation. A ce sujet, un groupe de travail initié en 1996 par la DGS a permis de faire le bilan des domaines d'activité dans lesquels existent un risque d'exposition et d'en proposer une nomenclature.

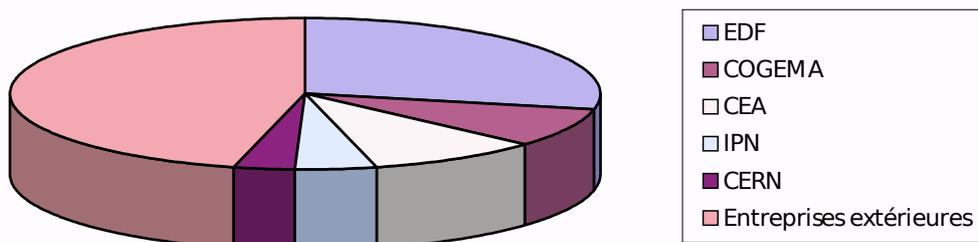
A l'heure actuelle, cette nomenclature n'a pas été imposée aux laboratoires de dosimétrie et il a fallu tenir compte des différentes classifications utilisées par les différents laboratoires pour déterminer une classification commune.

Les figures 1 et 2 présentent la répartition des travailleurs suivis en dosimétrie en 2000 par secteur d'activité dans les domaines nucléaire et non nucléaire.

La distinction de ces deux domaines existe dans la réglementation actuelle. Elle se manifeste par l'existence de deux décrets différents (du 28 avril 1975 modifié et du 2 octobre 1986 modifié) pour définir les prescriptions réglementaires relatives au suivi de l'exposition aux rayonnements ionisants. Cette distinction ne devrait plus perdurer dans le futur décret concernant la protection des travailleurs qui sera pris dans le cadre de la transposition de la directive européenne 96-29 Euratom.

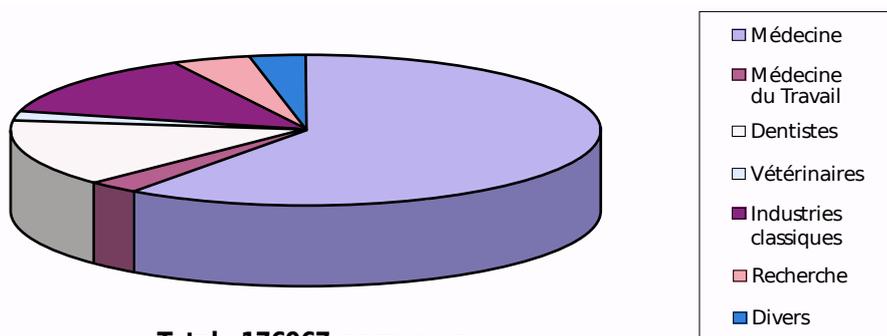
Par domaine nucléaire, on entend tout le cycle de la production d'électricité, depuis la

Figure 1. Nombre de personnes surveillées en 2000 (INB)



Total : 81 950 personnes

Figure 2 Nombre de personnes surveillées en 2000 (hors INB)



Total : 176967 personnes

fabrication du combustible jusqu'au retraitement, et la recherche fondamentale (IPN, CERN, CEA) ; ce domaine recouvre toutes les installations nucléaires de base (INB).

Le domaine non nucléaire comprend toutes les activités autres que celles énoncées ci-dessus et susceptibles d'exposer les travailleurs à des rayonnements ionisants. La plus grande partie se situe dans la médecine proprement dite, radiodiagnostic, radiothérapie, curiethérapie, médecine nucléaire, mais aussi dans l'art dentaire, la médecine du travail et la médecine préventive et les activités vétérinaires. En médecine, différentes sources de rayonnements sont utilisées, la plus répandue étant constituée par les rayons X utilisés en radiodiagnostic (20 à 30 kV en mammographie, 50 kV en dentaire, 50 à 120 kV pour le diagnostic classique). Il faut également citer les scanners qui ont recours à des rayons X de même énergie que le diagnostic classique mais sous une forme différente (coupes de 1 à 10 millimètres d'épaisseur).

En radiothérapie, ce sont des accélérateurs d'électrons de 5 à 20 MV ou des sources de cobalt 60 (cobalthérapie). En médecine nucléaire, les sources radioactives non scel-

lées utilisées sont pour l'essentiel l'iode 131 (traitement ou diagnostic), le thallium 201, le technétium 99m, l'iode 123, le fluor 18. En curiethérapie, on utilise le césium 137 sous forme de grains (curietron) et l'iridium 192 sous forme de fils.

L'autre partie importante est l'industrie non nucléaire, essentiellement la radiographie en poste fixe et la gammagraphie industrielle.

Les laboratoires de recherche dans les universités ou les Centres du CNRS, de l'INSERM et de l'INRA, et les laboratoires de recherche pharmaceutiques utilisent en général des sources non scellées de faible activité ; la dosimétrie y est assurée plus pour des raisons psychologiques que par réelle nécessité, les doses enregistrées sont d'ailleurs en général négligeables. Des chromatographes avec des sources scellées de nickel 63 et des cristallographes par diffraction X sont également souvent utilisés. Ces derniers présentent un risque potentiel d'exposition relativement élevé mais il ne concerne que les extrémités, et sur des surfaces très limitées (quelques millimètres carrés).

Enfin, dans la rubrique divers, on trouve différentes utilisations des rayonnements dans

différents milieux. Il faut citer les appareils de contrôle de bagages, de colis piégés, le déminage, toutes les utilisations des sources radioactives comme jauges d'épaisseur (papiers, pâtes, circuits imprimés), de niveau (embouteillage dans les brasseries notamment), de densité (charcuterie industrielle), les détecteurs de fumées (américium 241) et les gammadensimètres équipés de 2 sources scellées (Cs 137 et AmBe) permettant de mesurer les épaisseurs de bitume et la teneur en eau des sols.

Répartition par classes de dose

Le tableau ci-dessous dresse le bilan des doses efficaces enregistrées en 2000 dans les différents domaines d'activité.

Les valeurs enregistrées concernent les dosimètres portés au niveau de la poitrine qui, par convention et par nécessité, mesurent une dose de rayonnements X, γ et neutrons représentative de la dose efficace reçue par le porteur.

Les doses aux extrémités ne sont pas prises en compte dans ce tableau.

Il apparaît que certaines activités comme l'utilisation de sources non scellées in vitro en médecine et dans la recherche conduisent à des doses minimales. C'est pourquoi les utilisateurs sont mieux suivis s'ils sont classés en catégorie B et bénéficient d'une dosimétrie trimestrielle permettant de mesurer avec une bonne précision des doses plus faibles (0,20 millisievert sur 3 mois).

Secteur d'activité	Nombre de personnes suivies	Répartition par intervalle de dose efficace (en millisieverts)					Doses collectives hommes. Sv
		<1	1 - 6	6 - 20	20 - 50	>50	
Radiologie	90621	89129	1156	263	56	17	11,50
Radiothérapie	7944	7701	193	42	5	3	1,53
Médecine nucléaire	4046	3606	396	44	0	0	1,56
Sources non scellées in vitro	3357	3305	52	0	0	0	0,13
Dentaire	24752	24570	140	33	7	2	1,20
Médecine du travail	5312	5288	19	2	1	2	0,33
Vétérinaires	3782	3755	18	7	2	0	0,22
Industrie non nucléaire	23725	19067	3145	1461	50	2	21,24
Recherche	7794	7759	31	4	0	0	0,15
Divers hors INB	5634	5551	58	24	0	1	0,64
Centrales nucléaires (agents EDF)	23172	19180	3596	395	1	0	13,91
Cycle du combustible (agents COGEMA)	6805	6547	241	17	0	0	0,92
Recherche et expertise (CEA, IPN, CERN)	14204	13854	331	19	0	0	1,58
Entreprises extérieures	37769	30898	4790	2067	14	0	32,56
TOTAL	258917	240210	14166	4378	136	27	87,48

Les activités dans lesquelles on observe les plus fortes doses sont la médecine, en particulier le radiodiagnostic même si certaines expositions sont sous-estimées voire même non contrôlées dans les blocs opératoires, en cardiologie, neurochirurgie, et plus généralement dans ce qu'on appelle la radiologie interventionnelle où le port du dosimètre présente quelques difficultés pratiques.

En contrepartie, certaines expositions sont surestimées lorsque le dosimètre est porté sur le tablier plombé et même, dans certains cas, exposé volontairement.

C'est le cas en art dentaire où les doses réellement reçues ne peuvent être que faibles en dehors de tout incident particulièrement rare.

Les autres domaines dans lesquels on observe le plus de doses significatives sont l'industrie classique et l'industrie nucléaire.

La figure 3 montre l'évolution sur les cinq dernières années du nombre de doses annuelles supérieures ou égales à 20 millisieverts, ce qui correspond à la future limite réglementaire pour les travailleurs.

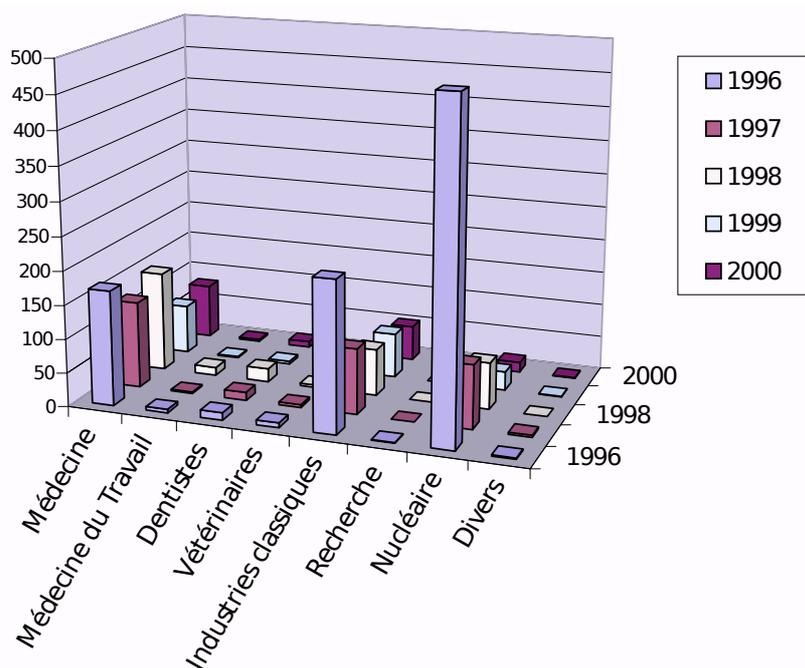
Cette évolution va dans le bon sens car dans les différents domaines le nombre de doses supérieures à 20 millisieverts diminue.

Conclusion

En attendant la généralisation de la dosimétrie opérationnelle dans tous les domaines où elle est applicable, la dosimétrie passive, telle qu'elle est pratiquée actuellement, permet d'apprécier de façon réaliste les niveaux d'exposition des travailleurs dans les différents secteurs d'activité en France.

L'application des décrets du 24 décembre 1998 et des arrêtés du 23 mars 1999, la mise en œuvre du décret qui transposera la directive 96-29 et la mise au point finale de la base de données SISERI (système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants) permettront d'obtenir une vision plus précise. En effet, cette base de données comprendra, pour chaque travailleur, toutes les données dosimétriques le concernant (dosimétrie passive, dosimétrie opérationnelle, et dans certains cas radiotoxicologie ou anthropogammamétrie). En outre, des indications concernant les conditions dans lesquelles ces personnes sont exposées (lieu, type de travail, nature des sources de rayonnements, etc.) donneront la possibilité de réaliser toutes sortes d'études.

Figure 3. Nombre de doses annuelles supérieures à 20 millisieverts



Les règles d'utilisation des rayonnements ionisants : Evolution du cadre réglementaire et du contrôle

par **Jean-Luc Godet** - Chef du bureau des rayonnements -
Direction générale de la santé/sous-direction de la gestion des risques
des milieux - Ministère délégué à la santé

Dans cet article, sont présentées successivement les évolutions prévisibles des règles d'utilisation des rayonnements ionisants, plus particulièrement celles qui visent à protéger les personnes du public contre les dangers des rayonnements ionisants, ainsi que les perspectives d'amélioration de leur contrôle, compte tenu de la réforme institutionnelle en cours dans le domaine de la radioprotection.

Evolution des règles d'utilisation et de gestion des sources radioactives - En France, la publication de la directive Euratom 96/29 a entraîné une réécriture de la législation et de la réglementation concernant la radioprotection. Ce travail de mise à jour et d'actualisation des règles d'utilisation des rayonnements ionisants, inscrites dans le code de la santé publique et dans le code du travail, s'est traduit par la préparation de compléments législatifs nécessaires pour parvenir à une transposition intégrale de cette directive.

Les travaux législatifs ont donné lieu à la publication de l'ordonnance du 28 mars 2001. Le code de la santé publique (cf. art. L.1333-11 à L.1333-20) et le code du travail (cf. art. L.231-7-1) ont été modifiés. La directive Euratom 96/29 sera définitivement transposée lorsque seront publiés les décrets d'application au nombre de 3¹ et leurs arrêtés d'application. Ces textes sont entrés dans leur phase finale d'approbation.

1. Décret relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants, décret concernant les interventions en situation d'urgence et en cas d'exposition durable, décret relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

Après la publication de la nouvelle limite réglementaire d'exposition des personnes du public (1 millisievert par an) en mars dernier², qui prend en compte l'impact cumulé des « activités nucléaires » faisant appel aux rayonnements ionisants, la future réglementation en préparation introduira des nouvelles dispositions concernant le régime général des interdictions, les procédures d'autorisation et de déclaration concernant l'utilisation des rayonnements ionisants, la gestion des sources radioactives, scellées ou non scellées, ainsi que les déchets associés à leur utilisation.

Les interdictions - Il est proposé d'étendre le régime existant des interdictions en vigueur concernant l'addition intentionnelle de substances radioactives dans les biens de consommation³. Ainsi, devrait être interdite toute addition intentionnelle de radionucléides artificiels et naturels, y compris lorsqu'ils sont obtenus par activation, dans les biens de consommation et les produits de construction. Ne seraient pas concernés par cette interdiction les radionucléides (naturels) présents naturellement dans les constituants de départ et dans les additifs utilisés pour préparer les denrées alimentaires (exemple : le potassium 40 présent naturellement dans le lait) ou pour fabriquer les matériaux constitutifs des biens de consommation et des produits de construction.

2. Décret du 8 mars 2001 modifiant le décret du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants.

3. L'article L.1333-20 du code de la santé publique interdit l'addition intentionnelle de radioéléments artificiels dans les denrées alimentaires, les produits cosmétiques et les jouets. Le décret du 20 juin 1966 définissant les principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants étend ce régime aux substances radioactives naturelles et artificielles, en y ajoutant les produits à usage domestique.

Toutefois, à titre exceptionnel, des dérogations à ces interdictions pourraient être accordées, au cas par cas, étant entendu que les denrées alimentaires, les matériaux placés en contact avec des denrées alimentaires et des eaux destinées à la consommation humaine, les jouets, les parures ou les produits cosmétiques seront exclus du régime dérogatoire. Le système de dérogation sera très encadré (autorisations interministérielles) ; la démonstration du bénéfice attendu d'une telle addition, en le comparant notamment aux inconvénients attendus au plan sanitaire, devra être suffisamment convaincante. L'application du principe de justification (analyse de la balance bénéfice/risque), introduit dans le nouveau code de la santé publique (L.1333-1), servira de base pour accepter ou refuser de telles demandes.

Les procédures d'autorisation et de déclaration – La transposition de la directive Euratom 96/29 en droit national offre l'occasion de mettre à jour les règles de procédure figurant aux articles R5234 à R5237 du code de la santé publique, pour tout ce qui concerne les autorisations et déclarations de détention de sources radioactives, quel que soit leur usage final (applications industrielles, médicales et de recherche).

- Dans les domaines de la médecine, de la biologie humaine et de la recherche biomédicale, une autorisation continuera à être requise pour toute fabrication de radionucléides, de produits ou dispositifs en contenant, ainsi que pour leur distribution, leur importation ou leur exportation. L'utilisation des sources radioactives, scellées ou non scellées, dans les établissements de soins et dans les laboratoires de recherche médicale ou de biologie médicale, restera également soumise à autorisation. En définitive, dans ces différents secteurs, le régime unique d'autorisation « dès le premier becquerel » qui prévaut actuellement sera maintenu, même si la directive Euratom 96/29 autorisait un certain assouplissement.

- Pour tous les autres domaines se situant dans le milieu industriel et de la recherche, un régime d'autorisation est introduit lorsque les activités utilisées dépassent des seuils (seuils dits « d'exemption »). Ces seuils dépendent de la nature du radionucléide ; ils sont fixés par la directive Euratom. En dessous de ces seuils, aucune procédure préa-

lable n'est requise pour la détention des sources.

Les règles de gestion des sources – Le projet de décret est complété par une section spéciale réservée à la gestion des sources radioactives, quel que soit le régime juridique auquel l'établissement est rattaché (INB, ICPE...). Les règles de gestion ainsi introduites définiront les conditions suivant lesquelles il est procédé à l'acquisition, l'importation, l'exportation, la cession, la reprise et l'élimination de radionucléides sous forme de sources scellées ou non scellées, de produits ou dispositifs en contenant⁴. Ces règles de gestion reprendront celles émises par la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA), telles qu'elles figurent par exemple dans les conditions particulières d'autorisation (CPA).

Règles d'élimination des déchets résultant de l'utilisation de sources non scellées – Cas des déchets et effluents produits par les établissements de soins –

Dans le cas particulier des établissements de soins (hôpitaux), la publication de la directive Euratom 96/29 sera accompagnée d'une mise à jour des règles de gestion des effluents et déchets produits et susceptibles de présenter une faible radioactivité. La présence de ces substances dans les déchets et effluents résulte principalement de l'utilisation des sources radioactives, sous forme de sources non scellées, dans les services de médecine nucléaire mais aussi dans les laboratoires de recherche biomédicale. En attendant, l'avis du ministère de la santé publique et de la sécurité sociale du 6 juin 1970 a été abrogé (cf. circulaire DGS/DHOS/E4/323 du 9 juillet 2001 relative à la gestion des effluents et déchets contaminés par des radionucléides).

Cette mise à jour a offert l'occasion de rappeler que chaque établissement est responsable de l'élimination des effluents et déchets qu'il génère, conformément à la loi n°75-633 du 15 juillet 1975 modifiée relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. L'exercice de cette res-

4. Seront notamment exclus de ce dispositif les déchets radioactifs tels que définis dans le décret n° 94-856 du 22 septembre 1994, les matières et produits involontairement contaminés par des substances radioactives, les matières nucléaires définies en application de la loi n° 80-572 du 25 juillet 1980 et de ses textes d'application, sauf si elles sont destinées à la fabrication de sources radioactives, les radioéléments artificiels fusibles, fissiles ou fertiles mis en œuvre dans les installations nucléaires de base, et les radioéléments artificiels provenant de ces installations et ne donnant pas lieu à distribution.

ponsabilité doit conduire à rechercher une gestion visant à réduire l'exposition des personnes, avec le souci de parvenir à une optimisation des expositions de façon que les doses reçues soient largement inférieures aux limites réglementaires. Pour cela, les modalités de gestion des déchets et des effluents devront être définies en considérant les quatre principes suivants :

- les déchets doivent être triés et conditionnés le plus en amont possible, dans chaque unité qui les produit, en prenant en compte notamment la période radioactive des radioéléments présents : les déchets et effluents provenant de l'utilisation de radioéléments de période radioactive inférieure à 100 jours seront distingués des autres déchets (contenant des radioéléments à plus longue période) ;
- les effluents et déchets sont ensuite stockés de façon distincte afin de permettre :
 - un traitement local par décroissance radioactive pour les effluents et déchets provenant de l'utilisation de radioéléments de période inférieure à 100 jours,
 - une prise en charge des autres déchets par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) ;
- la radioactivité des effluents et déchets est contrôlée avant leur évacuation ;
- les effluents et déchets sont évacués vers une filière identifiée :
 - filière des déchets ménagers en l'absence de risques infectieux et chimique, ou filière des déchets d'activités de soins à risque infectieux, ou filière adaptée des déchets d'activités de soins à risque chimique,
 - réseau public de collecte des eaux usées urbaines,
 - l'ANDRA pour les déchets de période supérieure à 100 jours.

Contrôle réglementaire de l'utilisation des rayonnements ionisants

Organismes et corps d'inspection chargés du contrôle de la radioprotection. En milieu de travail, les actions de contrôle des règles de radioprotection, définies en application du code du travail, sont confiées aux

inspecteurs du travail, y compris lorsque l'établissement relève du régime des INB ou des ICPE. Ces missions à caractère généraliste doivent permettre de préserver une vision globale des risques professionnels, en prenant en compte à la fois les conditions de travail, l'organisation du travail, les horaires de travail, le statut des travailleurs et l'ensemble des risques physiques, chimiques et biologiques. Elle doit aussi permettre de prendre en compte la coordination générale des mesures de prévention prises par le chef d'établissement et celles prises par l'employeur de l'entreprise extérieure en cas de co-activité (sous-traitance). Les missions de l'inspection du travail englobent tous les risques professionnels, y compris ceux liés aux dangers de rayonnements ionisants.

Dans les INB, une redynamisation d'action a pu être constatée grâce, sans doute, à la mise en œuvre d'un programme d'actions coordonnées de l'inspection du travail pour la prévention des risques professionnels depuis 1998. Cette action coordonnée dans les INB est organisée conjointement avec les inspecteurs du travail des Directions départementales et régionales du travail, de l'emploi, de la formation professionnelle (INB non productrices d'électricité) et les agents des Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement chargés de l'inspection du travail (INB productrices d'électricité).

En revanche, le secteur diffus (industriel ou médical) est un vaste champ de la radioprotection qui aujourd'hui, compte tenu de son étendue, ne peut être couvert que ponctuellement par l'inspection du travail alors qu'il représente 40% des doses reçues par les travailleurs et qu'il regroupe des activités utilisant des sources de rayonnements ionisants importantes du point de vue de la radioprotection comme les irradiateurs (irradiation de matériaux) ou les appareils de radiographie industrielle (imagerie industrielle permettant par exemple le contrôle de soudure).

A côté de l'inspection du travail, l'« **inspection sanitaire** »⁵ a en charge, pour le sec-

5. Les pharmaciens inspecteurs de santé publique, les médecins inspecteurs de santé publique, les inspecteurs des affaires sanitaires et sociales, les ingénieurs du génie sanitaire, les ingénieurs d'études sanitaires et les techniciens sanitaires sont chargés du contrôle de l'application des règles générales d'hygiène et des lois et règlements relatifs à la prévention sanitaire des milieux (art L.1421.1 du CDSP).

teur diffus ne relevant pas du régime des ICPE, le contrôle des règles de radioprotection destinées à protéger les personnes du public. Ces agents exercent leur mission au sein des directions départementales et régionales des affaires sanitaires et sociales. Cependant, ces dernières années, les missions de ces services dans le domaine de la radioprotection ont été dirigées principalement vers la gestion des risques liés au radon (circulaire santé-logement du 27 janvier 1999), et aux sites contaminés par des substances radioactives (Gif-sur-Yvette, Pargny-sur-Saulx...), et non pas vers le contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants pour lequel leurs interventions restent très occasionnelles. Dans les ICPE utilisant les rayonnements ionisants, le contrôle des spécifications concernant la protection du public est confié aux inspecteurs des installations classées.

Depuis juillet 1998, **l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé** (art L.5313.1) est chargée de désigner, parmi ses agents, les inspecteurs qui contrôlent l'application des lois et règlements concernant les dispositifs médicaux et l'utilisation qui en est faite. A ce titre, le contrôle des dispositifs médicaux utilisant les rayonnements ionisants fait partie de ses missions. En pratique, le programme d'inspection de l'AFSSAPS sur ces dispositifs devrait débuter en 2002 par une inspection des installations de radiothérapie et de mammographie.

En appui de ces différentes inspections, ou à sa propre initiative, compte tenu des compétences accordées à ses agents en application de la loi n° 61-842 du 2 août 1961 modifiée relative à la lutte contre la pollution atmosphérique et les odeurs, **l'Office de protection contre les rayonnements ionisants** réalise régulièrement des contrôles techniques des installations faisant appel aux rayonnements ionisants.

Perspectives d'évolution du contrôle de la radioprotection

L'un des objectifs de la réforme de la radioprotection engagée par le gouvernement est de parvenir à un renforcement de l'inspection de la radioprotection, notamment dans le secteur médical et diffus. La création de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (loi du 10 mai 2001 portant créa-

Quelques chiffres sur les activités de contrôle de l'OPRI

(Source : rapport d'activité 2000 de l'OPRI)

1. INB

En plus de la surveillance radiologique de l'environnement exercée sur l'ensemble du territoire (réseaux Télecay et Hydro-télecay) et autour des INB, l'OPRI contrôle les effluents radioactifs liquides et gazeux produits par ces installations (contrôle des registres de l'exploitant et contrôle analytique des échantillons) : autour des CNPE, 23 points de contrôle des rejets d'effluents liquides, 45 points pour les rejets d'effluents gazeux, et, pour les centres COGEMA, CEA et de recherche, 11 points de contrôle des rejets liquides et 4 points pour les rejets gazeux.

En 2000, l'OPRI a réalisé 9 inspections (7 en CNPE, 2 hors CNPE) sur les aspects relatifs à la radioprotection des travailleurs (une inspection est réalisée par 2 ingénieurs pendant une semaine).

2. Secteur médical

- Radiologie classique médicale et dentaire : 5 900 agréments ont été délivrés par les DDASS après avis technique de l'OPRI (le parc comprend 51 683 installations), plus de 6 000 contrôles ont été réalisés par les organismes mandatés par l'OPRI (dont les appareils de scannographie).

- Radiothérapie : 60 contrôles (35 accélérateurs de particules, 2 appareils de télé-gammathérapie, 23 unités de curithérapie) pour un parc de 482 installations.

- Médecine nucléaire : 17 services ont été contrôlés pour un total de 282 unités in vivo et in vitro.

tion de l'Agence de sécurité sanitaire de l'environnement) doit permettre de rassembler à partir de 2002 l'expertise scientifique technique en radioprotection fournie actuellement par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et par l'OPRI ; cette expertise sera séparée du contrôle. Les compétences

de contrôle de l'OPRI seront dans le même temps transférées vers une nouvelle administration centrale (Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection) en cours de création. A terme, cette nouvelle direction devrait disposer d'une « inspection spécialisée en radioprotection » ; un projet de loi a été déposé en ce sens par le Gouvernement au Parlement (juillet 2001).

Cette nouvelle inspection devra poursuivre et intensifier les actions de contrôle réalisées chaque année par l'OPRI. Dans plusieurs

domaines, une augmentation des contrôles apparaîtra nécessaire. A titre d'exemple, citons le contrôle de l'exposition au radon en milieu professionnel et dans les établissements recevant du public, le contrôle de la gestion des sources scellées à usage industriel et médical et le contrôle des expositions professionnelles dans le secteur diffus (radiographie industrielle, irradiateurs, radiodiagnostic...). L'évaluation des niveaux d'exposition des personnes pour des finalités médicales méritera également une attention soutenue.

L'inspection des installations classées

par le Service de l'environnement industriel - Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Dans le cadre du code de l'environnement, l'inspection des installations classées contrôle certaines installations qui utilisent, préparent ou stockent des substances radioactives. Il s'agit notamment des laboratoires de recherche, de l'utilisation de sources radioactives pour la radiographie médicale ou industrielle, par exemple pour le contrôle de soudures ou de pièces métalliques. Il s'agit aussi de quelque 50 millions de tonnes de résidus des anciennes usines de traitement de minerais d'uranium.

Selon les dangers ou inconvénients pour l'environnement et les populations, ces installations sont soumises à des règles plus ou moins lourdes : autorisation préalable ou simple déclaration.

Par exemple, les installations qui préparent, fabriquent, transforment ou utilisent des substances radioactives seront soumises à déclaration si elles détiennent au moins 3,7 MBq du même groupe 1 de radiotoxicité, et à autorisation si elles détiennent au moins 370 MBq. A partir de 3 700 GBq du groupe de radiotoxicité, elles appartiennent à une autre catégorie réglementaire : les installations nucléaires de base.

Par ailleurs, et y compris en dessous de ces valeurs, les utilisateurs ou détenteurs de substances radioactives devront respecter les principes de base de la radioprotection, y compris les limites de dose applicables aux travailleurs et à la population.

Le schéma ci-après (publié par l'ANDRA dans l'annuaire de l'observatoire des déchets) donne une vue complète de l'imbrication des différents régimes réglementaires. On peut constater que le domaine des installations classées et celui des installations nucléaires de base se succèdent en continuité, une installation étant soit dans un domaine, soit dans l'autre. En revanche, le code de la santé publique et le code du travail s'appliquent en parallèle, à partir d'un niveau plus bas que

celui des installations classées mais se superposant à tout le domaine des installations classées et des installations nucléaires de base.

Comme dans beaucoup d'autres activités industrielles et agricoles, l'inspection des installations classées et l'inspection du travail vont donc s'exercer en complémentarité, les prescriptions destinées à la prévention des dangers ou inconvénients pour l'environnement et les populations permettant également d'agir pour la protection des travailleurs contre les risques d'accident.

Il ne surprendra personne qu'un des premiers contrôles à exercer sur les installations dénommées « installations classées » soit justement de vérifier leur classement, ce qui implique par exemple de s'assurer de la conformité des sources scellées aux normes AFNOR.

C'est loin d'être une simple formalité. En effet, les normes françaises ne sont pas dans tous les cas identiques aux normes internationales et peuvent imposer des essais supplémentaires, par exemple de résistance à l'incendie et à la corrosion acide et saline.

La directive européenne du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution s'est inspirée de la législation française des installations classées. Celle-ci applique depuis fort longtemps une approche intégrée qui couvre l'ensemble des risques et inconvénients pour l'environnement. Dans le cas des installations qui mettent en œuvre des substances radioactives, l'approche intégrée permet de prendre en compte aussi bien les risques causés par les rayonnements ionisants que les risques et les nuisances de toute autre nature, par exemple le bruit ou, dans le cas des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium, la stabilité géotechnique des digues de retenue et l'aspect paysager du réaménagement des sites.

Seuils de radioactivité pour classement en « INB » ou « ICPE »

- Pour les ICPE, loi du 19/07/1976 + décret n° 96-197 du 11/03/1996 (dont rubriques 1711, 1710, 1720)
- Pour les INB, décret du 11/12/1963 + arrêtés des 06/12/1966 et 25/01/1967
- Pour les groupes de radiotoxicité, décrets n° 66-450, 86-1103, 88-521.

Dépôt ou stockage de substances radioactives :

sous forme de sources non scellées ou sous forme de sources scellées non conformes aux normes N.F. M 61-002 et N.F. M 61-003.

Groupes de radiotoxicité	37.10 ⁵	MBq 37.10 ⁶ (1 mCi)	37.10 ⁷	37.10 ⁸	GBq 37.10 ⁹ (1 Ci)	37.10 ¹⁰	37.10 ¹¹	TBq 37.10 ¹² (1 000 Ci)	37.10 ¹³	37.10 ¹⁴	PBq 37.10 ¹⁵
1	Domaine réglementé		ICPE « D »		ICPE « A »						
2	par la CIREA,			ICPE « D »				ICPE « A »			« INB »
3	ou soumis à			ICPE « D »				ICPE « A »			
4	l'appréciation de l'Administration				ICPE « D »						ICPE « A »

Rubrique 1711

Préparation, fabrication, transformation, conditionnement et utilisation de substances radioactives :

sous forme de sources non scellées ou sous forme de sources scellées non conformes aux normes N.F. M 61-002 et N.F. M 61-003.

Groupes de radiotoxicité	37.10 ⁵	MBq 37.10 ⁶ (1 mCi)	37.10 ⁷	37.10 ⁸	GBq 37.10 ⁹ (1 Ci)	37.10 ¹⁰	37.10 ¹¹	TBq 37.10 ¹² (1 000 Ci)	37.10 ¹³	37.10 ¹⁴	PBq 37.10 ¹⁵
1	Domaine	ICPE « D »			ICPE « A »						
2	réglementé par la CIREA,		ICPE « D »		ICPE « A »						« INB »
3	ou soumis à		ICPE « D »		ICPE « A »						
4	l'appréciation de l'Administration				ICPE « D »			ICPE « A »			

Rubrique 1710

Utilisation, dépôt ou stockage de substances radioactives :

sous forme de sources scellées conformes aux normes N.F. M 61-002 et N.F. M 61-003.

Groupes de radiotoxicité	37.10 ⁵	MBq 37.10 ⁶ (1 mCi)	37.10 ⁷	37.10 ⁸	GBq 37.10 ⁹ (1 Ci)	37.10 ¹⁰	37.10 ¹¹	TBq 37.10 ¹² (1 000 Ci)	37.10 ¹³	37.10 ¹⁴	PBq 37.10 ¹⁵
1	Domaine réglementé			ICPE « D »				ICPE « A »			
2	par la CIREA,				ICPE « D »			ICPE « A »			« INB »
3	ou soumis à				ICPE « D »			ICPE « A »			
4	l'appréciation de l'Administration					ICPE « D »			ICPE « A »		

Rubrique 1720

* ICPE = Installation Classée Pour l'Environnement (« D » = soumise à Déclaration ; « A » = soumise à Autorisation)
INB = Installation Nucléaire de Base.

Le rôle de la CIREA

par **Lucien Procope** – Secrétaire permanent de la CIREA

La découverte de la radioactivité artificielle dans les années 1930 allait multiplier les applications des radioéléments, tandis que les pouvoirs publics se préoccupaient de l'utilisation de la radioactivité dont on connaît les débordements à ses débuts. Une réglementation est élaborée, conduisant à une loi en 1952 et à la naissance de la Commission interministérielle des radioéléments artificiels, la CIREA.

L'existence, l'organisation et les missions de la CIREA sont fixées par le code de la santé publique. Elle doit « formuler un avis ou ses propositions sur toutes les questions que soulèvent l'élaboration et l'application de la réglementation relative aux radioéléments artificiels ».

La CIREA reste un lieu de discussions, qui réunit sous l'égide d'un président nommé par le Premier ministre les représentants des administrations concernées par les radioéléments : santé, environnement, industrie bien sûr, mais aussi défense, intérieur, travail, agriculture. Participent également à ses travaux les représentants d'agences gouvernementales comme l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI), l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de la santé (AFSSAPS), l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) et les grands établissements de recherche utilisateurs de radioéléments artificiels : CEA, CNRS, INSERM, Université.

La Commission se réunit au moins deux fois par an et donne un avis réglementaire ou formule des avis techniques à la demande des autorités ministérielles, mais elle débat aussi de questions qui sont le plus souvent suscitées par la pratique quotidienne.

En effet, la CIREA s'appuie sur un secrétariat permanent, mis à sa disposition par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire qui examine chaque demande d'autorisation. Le secrétaire permanent, nommé lui aussi par le Premier ministre, peut donc saisir la Commission et faire statuer sur toute modifi-

cation des pratiques, utilisation nouvelle ou conditions inhabituelles. Les décisions prises ont valeur réglementaire.

Les circuits décisionnels sont différents selon que le sujet à traiter relève de la 1^{ère} section (médecine et biologie humaine) ou de la 2^{ème} section (industrie, agriculture, recherche autre que médicale).

En 1^{ère} section, la CIREA émet un avis mais ne dispose pas de la décision finale qui appartient au ministre chargé de la santé ou au directeur de l'AFSSAPS (pour les produits radiopharmaceutiques). Ce dispositif, résultat d'une évolution propre au domaine de la santé, s'explique aisément par la prise en compte de considérations dépassant la seule utilisation de radioéléments telles que les impératifs de la carte sanitaire, le respect des règles de bioéthique...

En 2^{ème} section, en revanche, l'avis de la CIREA est donné à son président qui délivre les autorisations. Pour tout dossier sans particularité notable, le secrétaire permanent a délégation de signature.

« Toute personne physique ou morale, à l'exception du Commissariat à l'énergie atomique, souhaitant détenir, utiliser, préparer, importer, exporter ou commercialiser des radioéléments artificiels ou des appareils en contenant doit en faire la déclaration en vue d'obtenir une autorisation ».

Cette disposition générale du code de la santé publique déclenche l'intervention de la CIREA puisqu'elle soumet à autorisation préalable toutes les opérations impliquant des radioéléments artificiels. L'autorisation peut être accordée au vu d'un dossier, à tout intervenant basé dans un pays de l'Union européenne. Elle ne peut en aucun cas dépasser 5 ans.

Au quotidien, la CIREA gère un peu plus de 5000 autorisations, dont un quart concerne le secteur médecine-santé.

Il est intéressant de rappeler les grandes lignes d'examen d'un dossier d'autorisation.

Le secrétariat permanent chargé de l'instruction de ce dossier s'attachera tout d'abord à vérifier s'il existe une justification des avantages liés à l'utilisation de radioéléments artificiels par rapport à des techniques concurrentes non radioactives. Cela conduit la CIREA à prohiber certains emplois insuffisamment justifiables ou « rattrapés » par l'évolution technologique.

La demande sera toujours introduite par une personne physique nommément identifiée, qui devra fournir des indications précises relatives au recours à des radioéléments, décrire les dispositions prises pour la sécurité des personnes et des sources/appareils : consignes de sécurité, prévention du vol, de l'incendie, consignes de transport et de chantier le cas échéant.

Le demandeur de l'autorisation devra prouver qu'il se conforme aux diverses réglementations édictées pour contrôler l'usage des radioéléments et garantir la sécurité et la protection sanitaire. Citons en particulier le décret sur la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants. C'est à ce titre que le secrétariat permanent se fera communiquer copie du rapport de contrôle des installations et de chaque source scellée par un organisme agréé et vérifiera si le demandeur dispose d'une « personne compétente en radioprotection ».

En outre, le secrétariat permanent s'assure que le demandeur dispose des autorisations administratives nécessaires qui peuvent être requises du fait de l'importance des activités mises en jeu, l'autorisation CIREA n'intervenant qu'après leur obtention.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, la CIREA prend un certain nombre de décisions à valeur réglementaire. Réunies sous le nom de « conditions particulières d'emploi », ces décisions imposent des contraintes sur des utilisations précises de radioéléments (radiographie industrielle, appareils portatifs, détecteurs de fumée...) qui seront incorporées dans les autorisations. Elles peuvent d'ailleurs être complétées par des conditions spécifiques sur un dossier précis.

L'instruction qui a été décrite ci-dessus vise principalement les établissements utilisateurs de radioéléments. Mais l'utilisateur ne pour-

ra acquérir que des sources et des appareils connus, distribués par des fournisseurs autorisés à les commercialiser. Aussi, à côté de l'autorisation « utilisateurs », existe-t-il des autorisations « fournisseurs ».

Ces autorisations reposent sur trois éléments principaux :

- la connaissance des caractéristiques de la source et sa classification par rapport aux normes françaises ou internationales ;
- une connaissance détaillée de l'appareil basée sur des plans et la fourniture d'instructions de sécurité destinées aux utilisateurs ; une expertise de radioprotection sera presque toujours exigée ;
- la prise en considération de la cessation de l'utilisation des radioéléments, qui devra être prévue dès l'origine. Cela se traduira par une garantie financière souscrite par le fournisseur et un engagement du fournisseur fabricant à accepter cette reprise. On rappellera que tout utilisateur est tenu de restituer la source à son fournisseur en fin d'utilisation, ou en tout état de cause au bout de 10 ans.

Lorsque tous ces préalables sont exécutés, l'utilisateur peut acquérir une source en faisant viser une « demande de fourniture » à la CIREA. Le même formulaire est exigé pour toute cession, et en fin de vie une « attestation de reprise » du fournisseur est exigée. Ce dispositif contraignant permet la gestion individuelle de plus de 40 000 sources. Le « stock » de chaque utilisateur est vérifié à chaque modification d'autorisation pour éviter toute dérive. Des visas sont accordés également pour toute importation, exportation ou transfert intra-européen, la CIREA s'appuyant pour ce faire sur la Direction générale des douanes et des droits indirects.

En conclusion, le fonctionnement de la CIREA et le système mis en place sur les principes fixés par le code de la santé publique se caractérisent par leur pragmatisme et leur souplesse associés à un contrôle contraignant. La CIREA, à travers son secrétariat permanent, constitue une administration de proximité, qui reste attentive aux besoins des utilisateurs, tout en exerçant un contrôle rigoureux de la détention et de l'utilisation des radioéléments artificiels et en s'assurant que seuls les sources et appareils autorisés par ses soins peuvent être commercialisés.

La future directive européenne sur le contrôle des sources scellées

par Jean Piechowski - Conseiller auprès du Haut Commissaire à l'énergie atomique

Les sources scellées industrielles et médicales présentent un risque considérable hors des conditions d'utilisation très strictes fixées par la réglementation. En particulier, les sources égarées ou abandonnées constituent un danger d'irradiation avec des conséquences qui peuvent être irréversibles ou mortelles pour les victimes. La découverte de telles sources dans des ferrailles destinées au recyclage n'est pas exceptionnelle. Le maillon faible dans le suivi des sources se situe généralement au terme de leur utilisation lorsque leur mise définitive en lieu sûr ou leur récupération par un opérateur habilité font défaut. Les causes en sont la négligence de l'utilisateur ou une défaillance financière.

En juin 1999, le Conseil des ministres de l'Union européenne a souligné le besoin d'une action communautaire pour la gestion des sources usagées et en octobre les autorités françaises ont saisi la Commission européenne des spécificités de ce problème que ni la directive 96/29 ni le règlement 1493/93 ne permettaient de résoudre de manière efficace. La Commission décida d'élaborer une directive permettant de répondre aux préoccupations par ailleurs abordées par plusieurs organisations internationales et notamment l'AIEA.

Le projet, aujourd'hui définitivement arrêté et entré dans la procédure habituelle en vue de l'adoption par le Conseil, est avant tout fondé sur l'idée de prévenir la perte du suivi et de la localisation des sources les plus dangereuses. L'autorisation préalable de détenir et utiliser de telles sources comporte un ensemble de dispositions destinées à assurer leur maîtrise et leur traçabilité par les opérateurs. Les points importants sont la compétence du personnel, la qualité de la maintenance, le devenir de la source au terme de son utilisation et le financement de cette opération. Les détenteurs d'une source sont successivement le fabricant, le fournisseur et l'utilisateur. Ce dernier doit, sans délai abusif, transférer la source dont il n'a plus l'usage vers une destination sûre et autorisée. Il peut s'agir du fournisseur, d'un site d'entreposage ou de stockage habilité ou d'un autre utilisateur. Lorsque le repreneur est le fournisseur, il doit disposer d'une garantie financière le couvrant en cas de défaillance.

La traçabilité administrative repose sur des registres. L'Autorité compétente doit avoir un registre des détenteurs de sources et ceux-ci doivent lui communiquer une copie de leurs propres registres sur une base annuelle. Pour l'essentiel, les informations portent sur le type de source, son identification, sa maintenance, sa localisation, et ses éventuels transferts. Les fabricants doivent identifier chaque source par un numéro unique, apposer un signe de danger sur la source et le dispositif qui la contient, et fournir un document d'information avec des photographies de la source et de l'équipement dans lequel elle se trouve.

La directive souligne par ailleurs la nécessité de mettre en place des dispositifs de contrôle destinés à repérer d'éventuelles sources orphelines dans certains lieux spécifiques comme les sites de récupération de ferrailles et certains points de transit. Les personnels de ces sites devraient être informés sur le risque des sources scellées et sur les précautions à prendre ainsi que sur la procédure à suivre en cas de découverte d'un objet suspect.

Concernant le champ d'application, le groupe chargé de l'élaboration du projet a souhaité se raccrocher aux valeurs d'activité données dans la réglementation des transports de l'AIEA qui impose des conteneurs spéciaux pour le transport des sources délivrant un débit de dose supérieur à 100 mSv par heure à 1 mètre. Ainsi, le critère initialement proposé pour les sources couvertes par la directive fut-il un débit de dose de 100 mSv par heure à 1 mètre. Après une négociation poussée opposant l'argument du risque sanitaire à celui de la surcharge administrative due à la gestion des sources, nous sommes parvenus à 10 mSv par heure. J'espère qu'au terme de la procédure d'adoption, et conformément à l'opinion du Comité plénier de l'article 31 du traité Euratom, une valeur beaucoup plus réaliste en matière de radioprotection finira par être retenue, en l'occurrence 1 mSv par heure.

Enfin, la Commission a prévu de revoir le règlement 1493/93 pour mieux encadrer la question de l'import-export des sources avec les pays tiers. C'est pourquoi, bien qu'elle traite de ce sujet, la présente directive ne le développe pas de manière détaillée.

La personne compétente en radioprotection

par **Thierry Juhel** – Responsable du groupe des enseignants de radioprotection – CEA/INSTN

Le contexte réglementaire

Actuellement, en France, le cadre réglementaire de la radioprotection est défini en grande partie dans différents codes¹ ainsi que dans plusieurs décrets et leurs arrêtés d'application. Parmi ceux-ci, un décret est consacré aux principes généraux de radioprotection et aux dispositions concernant la population². Des dispositions complémentaires et propres aux travailleurs font l'objet de deux décrets : l'un consacré aux travailleurs évoluant en milieu nucléaire³, l'autre aux travailleurs évoluant « hors industrie nucléaire »⁴. Dans le premier cas la radioprotection est assurée par un service compétent mis en place par l'employeur, dans le second cas celui-ci doit désigner une personne compétente pour mettre en oeuvre la radioprotection dans son établissement.

Sachant que les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont plus nombreux « hors industrie nucléaire » que dans l'industrie nucléaire⁵ et que le suivi dosimétrique de certains salariés hors industrie nucléaire permet parfois d'identifier des doses supérieures aux limites réglementaires⁶, on appréhende mieux l'importance et la nature du travail à fournir par les personnes compétentes.

Quand faut-il nommer une personne compétente ?

Tout établissement soumis au code du travail qui dépasse un des seuils fixés à l'article 1 du

décret n°86-1103 du 2 octobre 1986 modifié⁴ entre dans le champ d'application de ce décret et de ses arrêtés d'application. L'employeur doit alors prendre certaines dispositions administratives dont la nomination d'une personne compétente. Cette obligation concerne tous les secteurs professionnels : médical, industrie, recherche... Ce même article précise que ces dispositions ne s'appliquent pas aux établissements où sont implantées une ou plusieurs installations nucléaires de base (INB)⁷.

Comment devenir personne compétente ? : formation et nomination

Pour devenir personne compétente, il faut suivre une formation conforme aux dispositions de l'arrêté du 25 novembre 1987, dispensée par un organisme agréé⁸. La réglementation recommande un niveau minimal de culture générale, scientifique et technique équivalent à celui requis pour se présenter aux épreuves du baccalauréat. La réussite au contrôle des connaissances organisé à l'issue de la formation permettra la remise d'une attestation d'aptitude nominative, actuellement valable sans limitation de durée. Celle-ci devra préciser le domaine (médical ou industriel) et l'option (sources scellées⁹ ou sources non scellées). Toutefois le chef d'établissement doit veiller à ce que la personne compétente de l'établissement soit en permanence apte à remplir sa mission¹⁰, ce qui nécessite une mise à jour régulière des connaissances.

1. Code du travail, code de la santé publique, code des douanes, code minier, code pénal.

2. Décret n°66-450 du 6 juin 1966 modifié par le décret n°88-521 du 18 avril 1988, le décret n°94-604 du 19 juillet 1994 et le décret n°2001-215 du 8 mars 2001.

3. Décret n°75-306 du 28 avril 1975 modifié par le décret n°88-662 du 6 mai 1988, le décret n°97-137 du 13 février 1997 et le décret n°98-1185 du 24 décembre 1998.

4. Décret n°86-1103 du 2 octobre 1986 modifié par le décret n°88-662 du 6 mai 1988, le décret n°91-963 du 19 septembre 1991, le décret n°95-608 du 6 mai 1995 et le décret n°98-1186 du 24 décembre 1998.

5. Points et Commentaires. N°6. Octobre-novembre 1999.

6. En 1998, 42 doses annuelles poitrine > 50 mSv (207 en 1997) et 211 > 20 mSv (39 en 1997), voir référence précédente.

7. Il s'agit des INB énumérées aux articles 2 et 17 du décret n°63-1228 du 11 décembre 1963 modifié par le décret n°73-405 du 27 mars 1973.

8. L'établissement doit être agréé par le ministère de l'emploi et de la solidarité. Cet agrément est valable trois ans. Il est publié au JORF.

9. Cette option traite également des appareils qui génèrent des rayonnements.

10. Arrêté du 25 novembre 1987, article 7.

La réussite à la formation est une condition nécessaire mais pas suffisante pour être personne compétente. En effet, le chef d'établissement doit désigner nominativement la personne qui exercera cette fonction. Ce point est essentiel, car la personne compétente agit sous la responsabilité de l'employeur, ce qui est spécifique de la gestion du risque radiologique et n'existe pour aucun des autres types de risques professionnels. Cette désignation doit être formalisée et connue de tous.

Quel est le rôle de la personne compétente ?

L'une de ses missions de base est de procéder à l'analyse des postes de travail. Il s'agit d'un travail préventif important car il conduira à prendre des décisions pour le personnel, les locaux, le matériel, l'optimisation... La personne compétente veille au respect des mesures de protection contre les rayonnements ionisants, ce qui se traduit, entre autres, par l'application et le suivi des prescriptions réglementaires, par la réalisation de mesures, par la gestion des déchets le cas échéant, par la rédaction de divers documents tenus à la disposition des autorités... Elle recense les situations ou les modes de travail susceptibles de conduire à des expositions exceptionnelles ou accidentelles, ce qui implique une bonne connaissance des locaux, des procédures de travail et du personnel. Elle doit élaborer préventivement un plan d'intervention en cas d'accident, être apte à le mettre en œuvre et à prendre les premières mesures. La personne compétente

participe à la formation des travailleurs. Des dispositions réglementaires particulières l'impliquent également lorsque son entreprise effectue des travaux temporaires en dehors de ses locaux.

En fait, la personne compétente assure la prévention des risques radiologiques sous les aspects les plus divers au sein de l'entreprise : techniques, administratifs, pédagogiques, pratiques... Pour cela, elle doit travailler en accord avec de multiples partenaires aussi bien dans l'entreprise qu'à l'extérieur.

Les exemples cités ci-dessus illustrent l'amplitude et la diversité du rôle de la personne compétente, qui s'insère toutefois dans un contexte réglementaire très précis.

Bilan et perspectives

La notion de personne compétente existe en France depuis plus de trente ans¹¹. Elle a évolué avec la parution du décret de 1986. Sa formation a été clairement définie en 1987 par l'arrêté du 25 novembre. Sa charge de travail s'est trouvée augmentée par la parution du décret n°98-1186 du 24 décembre 1998, car l'estimation préalable de la dose individuelle et collective ainsi que la gestion de la dosimétrie opérationnelle désormais exigées dans certains cas sont le plus souvent assurées par la personne compétente.

La présence des personnes compétentes dans les milieux les plus divers permet de diffuser une culture de radioprotection qui favorise la

11. Décret n°67-228 du 15 mars 1967.

Quels sont les seuils ?

Pour répondre à toutes les situations, les limites fixées par décret sont multiples. Tout résumé partiel de ces limites serait forcément réducteur, c'est pourquoi il est indispensable de se référer directement au texte.

Citons toutefois, à titre d'exemple, les seuils relatifs à la quantité de matière (5kBq, 50kBq, 500 kBq et 5 MBq respectivement pour les éléments du groupe 1, 2, 3 et 4), à l'activité massique (100Bq /g et 500 Bq/g respectivement pour les substances radioactives naturelles et artificielles), aux générateurs de rayonnements ionisants et aux appareils à décharges électriques « ...1µSv/h en tout point extérieur distant de 0,1 m de toute surface accessible... ».

Ces limites sont susceptibles d'évoluer prochainement à l'occasion de la parution des nouveaux textes réglementaires.

prévention du risque, l'optimisation des pratiques, la diffusion de l'information... La personne compétente apparaît donc aujourd'hui comme un maillon important de la radioprotection en France.

Bien sûr, parfois, vu l'ampleur et la diversité des tâches confiées, des difficultés ont pu être identifiées. Elles sont souvent liées à des problèmes de moyens, de temps, d'information, d'actualisation des connaissances (demande d'un recyclage régulier, réflexion sur l'adéquation entre la formation et le risque...), et parfois aussi de statut¹². Espérons que la transposition des directives européennes qui induira inévitablement des changements sera l'occasion, en se basant sur l'expérience acquise, d'apporter des évolutions favorables.

La notion de personne compétente ainsi définie dans ce texte est uniquement fran-

12. Propositions d'évolution pour la formation « personne compétente ». T. Juhel. G. Abadia. Radioprotection. V33.281-292. Actes des rencontres personnes compétentes. Congrès organisés par la Société française de radioprotection (SFRP) en 1997 et 2000.

çaise. Au niveau européen, la question des équivalences se pose pour un ressortissant français travaillant dans un pays européen ou pour un européen travaillant en France. Une réflexion européenne¹³ sur une éventuelle harmonisation est amorcée, mais il reste encore du chemin à parcourir. Ainsi, une concertation sur le positionnement de la personne compétente au regard des exigences européennes¹⁴ actuelles paraît désormais indispensable.

Il serait également bénéfique de situer la personne compétente par rapport au standard défini par l'AIEA (« Radiation Protection Officer »)¹⁵. Ces travaux permettraient d'éclaircir le rôle des différents acteurs impliqués dans la radioprotection lors des échanges internationaux.

13. Radiation protection : what are the future training needs ?. Radioprotection. V 35, C 1.

14. Directive 96/29 Euratom du Conseil du 13 mai 1996, articles 1, 12, 19, 20, 23, 38 et 47. Communication de la Commission 98/C 133 du 30 avril 1998.

15. Normes fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements. Collection sécurité n°115. AIEA. Vienne. 1997. ISBN 92-0-204497-X.

Les accidents radiologiques en dehors de l'industrie nucléaire

par **V. Chambrette, L. Lebaron-Jacobs, D. Champion, P. Gourmelon** – Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN)
 - Département de protection de la santé de l'homme et de dosimétrie (DPHD) – Cellule médico-sanitaire

En dehors de l'industrie nucléaire proprement dite, de nombreuses activités humaines mettent en œuvre des rayonnements ionisants : usages industriels (contrôles de matériaux par gammagraphie, irradiation d'aliments...), médicaux (radiothérapie, radiodiagnostic...) et dans la recherche (étude des rayonnements et de leurs effets, traçage radioactif...). Ces activités se sont développées et diversifiées au cours du XX^{ème} siècle, entraînant leur lot d'accidents de surexposition de personnes, parfois aux conséquences très graves.

Les accidents radiologiques en quelques chiffres

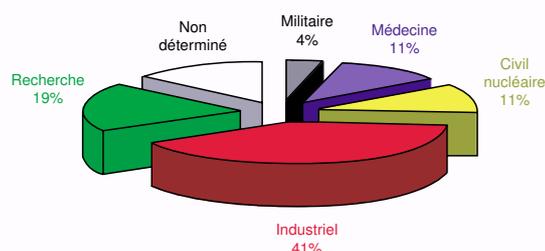
Dans l'ensemble, ces accidents sont plutôt rares et leur étude ne peut se concevoir qu'à l'échelle mondiale. Ainsi, l'IPSN a recensé dans le monde entier environ 350 accidents dus à des sources de rayonnements, survenus depuis 1945, et ayant provoqués des signes cliniques de surexposition parmi les personnes impliquées. Cinquante de ces accidents ont entraîné la mort de victimes et, au total, un peu plus de 100 personnes sont décédées des suites de l'accident.

Ces chiffres restent vraisemblablement inférieurs à la réalité, car les bilans nationaux pour certains pays sont difficiles à établir et aucun registre international officiel n'est tenu en ce qui concerne les incidents ou accidents d'exposition aux rayonnements ionisants. D'autre part, ne sont évoqués ici que les événements ayant eu des effets constatés sur la santé, sans tenir compte des incidents de sources (perte, dysfonctionnement, etc.) sans conséquences apparentes sur l'homme ou l'environnement.

En France, plusieurs accidents de surexposition se sont produits en dehors de l'industrie

nucéaire. Celui survenu en 1991 dans un accélérateur industriel de Forbach a eu un retentissement particulièrement important : trois travailleurs présents autour de l'accélérateur toujours en fonctionnement ont subi des brûlures radiologiques graves et très étendues. Autre exemple, cette fois dans le secteur médical : en 1981, dans un service hospitalier de radiothérapie à Saintes, la chute accidentelle d'une source de cobalt 60 au cours du chargement d'un appareil de radiothérapie provoque une grave irradiation des mains des trois techniciens qui procédaient à l'opération, ainsi qu'une irradiation plus faible (inférieure à un gray) du corps entier de 8 personnes qui assistaient au chargement de la source.

Au total, le recensement réalisé par l'IPSN permet de dresser un état comparatif chiffré des accidents radiologiques survenus dans le monde dans les différents secteurs d'activité (photo ci-dessous ; bilan induant l'industrie nucléaire civile et les applications militaires). Tous secteurs confondus, on observe que près de la moitié des accidents radiologiques recensés à ce jour sont consécutifs à une mauvaise utilisation de sources de rayonnements dans le secteur de l'industrie (principalement le mauvais usage d'appareils de gammagraphie).



Accidents radiologiques dans les différents secteurs d'activités, survenus dans le monde depuis 1945

Les principales caractéristiques des accidents survenant en dehors de l'industrie nucléaire

Les accidents de surexposition les plus couramment observés en dehors de l'industrie nucléaire mettent en cause des sources radioactives, notamment d'iridium 192, de cobalt 60 et de césium 137. Des accidents liés à l'usage d'appareillages électriques émetteurs de rayons X (cristallographie, fluorescence X, applications médicales) sont également assez fréquents, avec des conséquences plus limitées (exposition localisée à une partie du corps).

Les accidents entraînant des conséquences graves pour la santé sont, le plus souvent, des accidents d'irradiation externe. Par contre, les accidents de contamination interne, plus rares, ont des conséquences médicales moins sévères, à l'exception notable de l'accident de Goiânia (Brésil) en 1987, aux conséquences sanitaires et environnementales catastrophiques. Cet accident a été provoqué par la dispersion du chlorure de césium contenu dans une source de césium 137 abandonnée dans une clinique désaffectée, puis récupérée et démontée par deux personnes qui espéraient récupérer des métaux monnayables ; après la découverte de cet accident, parmi les milliers de personnes examinées, 249 personnes se sont révélées contaminées et 129 personnes à la fois contaminées et irradiées.

Les circonstances des accidents radiologiques sont très variées. Elles peuvent être illustrées au travers de quelques exemples :

- dysfonctionnement d'un appareillage : en Afrique du Sud (1998), la source d'iridium 192 d'un appareil de gammagraphie, confinée normalement dans le château de stockage, reste malencontreusement bloquée dans le tuyau flexible prévu pour l'extraction au moment de la prise du cliché. Afin de déplacer l'appareil plus commodément, l'opérateur désolidarise le flexible du château et le porte en écharpe autour du cou environ 45 minutes. Dès le lendemain, une lésion apparaît au niveau de la poitrine et la relation de cause à effet est rapidement faite ;

- perte d'une source : au Pérou (1999), un ouvrier soudeur de 37 ans ramasse dans l'enceinte de la centrale hydroélectrique de Yanango un petit objet brillant (en fait une

source égarée d'iridium 192 d'un appareil de gammagraphie) et le met dans la poche arrière de son pantalon. Il développe progressivement une nécrose extensive de la cuisse et du pelvis conduisant à une amputation ;

- vol d'une source : en janvier 2000, une ancienne source de radiothérapie (cobalt 60) dérobée dans un entrepôt près de Bangkok, est revendue à des ferrailleurs qui la démantèlent. Il en résulte une surexposition de plusieurs personnes à des doses comprises entre 1 et 10 grays, et 3 décès dans le mois suivant ;

- erreur dans le protocole de traitement de patients : outre le cas récent du Panama (voir encadré), on peut citer l'accident survenu en 1996, dans un service de radiothérapie au Costa Rica, où une erreur de calibration au cours du remplacement de la source de cobalt 60 provoque l'augmentation du temps d'exposition des malades. Durant plus de quatre semaines, 114 patients sont traités et reçoivent des doses de 1,6 fois plus élevées que celles prescrites par les médecins traitants : au moins 13 personnes sont décédées de cette surexposition.

Ces quelques exemples mettent en lumière des caractéristiques propres aux accidents pouvant survenir en dehors de l'industrie nucléaire :

- leur origine est rarement un aléa technique, mais davantage une défaillance humaine : non-respect des règles de sécurité, erreur d'utilisation, défaut de vigilance, mauvaise connaissance voire ignorance du risque ;

- ils n'affectent pas seulement les travailleurs utilisant les sources de rayonnements, mais peuvent toucher une population très diversifiée : travailleurs non concernés par l'utilisation des sources, personnes du public, patients ;

- la découverte de l'accident est souvent tardive après la surexposition, notamment en raison de la méconnaissance des symptômes cliniques d'une irradiation par les premiers médecins en charge des patients. Les erreurs de diagnostic initial sont alors fréquentes et peuvent avoir des conséquences très préjudiciables. Par ailleurs, les circonstances exactes et l'importance de ces irradiations accidentelles ne sont pas toujours connues (données lacunaires sur les conditions d'exposition,

absence de dosimètre sur les personnes exposées). Pour illustrer cette difficulté, on peut citer l'exemple suivant : dans un centre d'entraînement de gardes-frontières situé à 20 km à l'Est de Tbilissi (Géorgie), onze jeunes gens sont exposés à plusieurs reprises à des sources de césium. Entre 1996 et 1997, plusieurs cas similaires de lésions cutanées sont révélés. Une origine infectieuse des lésions est diagnostiquée dans un premier temps. Cependant, en août 1997, devant la persistance et l'aspect des lésions cutanées, un médecin russe évoque la possibilité de lésions radioinduites. Après une fouille systématique, 15 sources de césium sont retrouvées sur cette ancienne base militaire russe.

Ces caractéristiques rendent particulièrement difficile l'expertise de tels accidents radiologiques, notamment du point de vue des conséquences sanitaires. Face à ces difficultés, l'IPSN a développé des outils et des méthodes pour assister les formations médicales chargées de la prise en charge des personnes irradiées, grâce à des travaux de recherche en radiobiologie appliquée à la médecine et en dosimétrie accidentelle menés depuis le début des années 90.

La gestion des conséquences sanitaires des accidents radiologiques

Un accident radiologique peut conduire à des atteintes physiopathologiques plus ou moins graves de l'organisme.

La symptomatologie consécutive à un accident d'irradiation ou de contamination se caractérise par diverses formes cliniques qui nécessitent, de ce fait, l'intervention de différents spécialistes :

- le syndrome aigu d'irradiation associe, selon l'importance et l'étendue de l'exposition, trois syndromes majeurs (hématopoïétique¹, gastro-intestinal et neuro-vasculaire) et implique une prise en charge médicale lourde. Dans les cas les plus graves, une défaillance multiple des organes apparaît et la stratégie thérapeutique devient très difficile ;
- une irradiation localisée rend indispensable un acte de chirurgie spécialisée, tel qu'une greffe de peau, du fait de la nécrose de la

1. Hématopoïèse : formation des cellules du sang dans la moelle rouge des os et dans le tissu lymphoïde.



Impact d'une irradiation sur l'épiderme

lésion cutanée après une période de rémission ;

- une contamination interne implique l'intervention de spécialistes en radiotoxicologie, notamment pour mettre en œuvre des protocoles de soin permettant l'excrétion accélérée des radionucléides contaminants.

La gravité des symptômes dépend du niveau de la dose moyenne au corps, de la répartition anatomique de la dose et de la chronologie de l'exposition. Il est important de recueillir dans un délai le plus bref possible ces différentes informations. Parallèlement, doivent être effectués un examen clinique des victimes, ainsi que des analyses biologiques, afin d'évaluer les dommages radioinduits et la dose reçue. L'irradiation accidentelle étant pratiquement toujours hétérogène, la connaissance de la répartition de la dose dans l'organisme nécessite une reconstitution physique, c'est-à-dire une estimation de la dose par simulation numérique ou expérimentale des conditions d'exposition, pour compléter l'estimation de la dose globale obtenue par dosimétrie biologique.

La gestion médicale d'un irradié accidentel grave est un art difficile impliquant un très grand nombre d'équipes pluridisciplinaires (physiciens, biologistes, médecins), qui appartiennent à des organismes différents devant fonctionner en réseau organisé. Par ailleurs, la prise en charge thérapeutique de ces patients est extrêmement lourde et très onéreuse car elle nécessite l'utilisation de plateaux techniques de haut niveau.

Conclusion

Malgré une appellation anodine de « petit nucléaire » ou « nucléaire diffus », les activi-

tés mettant en œuvre des rayonnements ionisants en dehors de l'industrie nucléaire peuvent être à l'origine d'accidents radiologiques aux conséquences graves. De tels accidents sont heureusement rares.

Alors que dans les grandes installations nucléaires le risque radiologique est connu et bien identifié et que la survenue d'un accident est détectée rapidement, dans le « petit nucléaire » le risque radiologique est souvent méconnu. La découverte d'un accident est le plus souvent tardive, associée à des erreurs de diagnostic. Les conséquences médicales et sanitaires n'en sont que plus redoutables.

Dans une majorité de cas, ces accidents sont dus à un non-respect des consignes, à la négligence ou à une mauvaise connaissance du risque et de la radioprotection. Aussi le recensement des accidents survenant dans le monde est-il important pour développer au fil du temps une politique de prévention de plus en plus efficace, favoriser la compétence des travailleurs concernés par l'utilisation des sources de rayonnements ionisants par une sensibilisation aux règles de radioprotection, informer le corps médical des symptômes d'une surexposition et prévenir si besoin est le public des circonstances accidentelles éventuelles.

Accident de radiothérapie au Panama (2001)

Un grave accident de radiothérapie s'est déroulé à l'Institut national oncologique du Panama, à la suite de la mauvaise utilisation d'un logiciel de dosimétrie associé à un équipement de radiothérapie utilisant une source de cobalt 60. Il en est résulté la surexposition de 28 patients traités essentiellement pour des cancers de l'utérus et de la prostate.

Cette surexposition a débuté en août 2000, quand les physiciens en charge de la dosimétrie ont décidé, après discussion avec les radiothérapeutes, d'accroître la protection des patients en augmentant le nombre de blocs de plomb qui collimatent le faisceau. Le logiciel a ainsi été utilisé dans une application qui n'avait pas été prévue par ses concepteurs et les temps d'expositions ainsi calculés ont été augmentés d'un facteur allant jusqu'à deux.

En décembre 2000, certains signes cliniques sont apparus chez plusieurs patients mais n'ont pu être interprétés. En février 2001, l'anomalie de traitement du logiciel a été suspectée et les traitements ont été interrompus.

A ce jour 8 patients sont décédés. Un de ces décès n'est pas en relation avec l'accident, deux sont suspectés d'être d'origine radiologique, trois sont manifestement consécutifs à la surexposition accidentelle. Pour les deux derniers décès, aucune interprétation n'a pu être donnée.

Parmi les 20 patients survivants, certains présentent des complications radiologiques sérieuses. Les conséquences médicales de cet accident sont aujourd'hui très difficiles à appréhender car le risque potentiel pour ces personnes est essentiellement à long terme, avec l'apparition, plusieurs années après la surexposition, de troubles urinaires, occlusions intestinales et radionécroses du rectum ou du côlon.

Dans le cadre de la convention sur l'assistance internationale en cas d'accident radiologique, le Panama a saisi officiellement l'Agence internationale à l'énergie atomique (AIEA). Une mission internationale, formée de quatre spécialistes en radiothérapie et en radiopathologie (dont deux Français : le professeur Jean-Marc Cosset, chef du Département de radiothérapie de l'Institut Curie et le docteur Patrick Gourmelon, chef du Département de protection de la santé de l'homme et de dosimétrie de l'IPSN), s'est rendue au Panama du samedi 26 mai au mercredi 30 mai.

Les premiers enseignements de cet accident, mettant en évidence un défaut de qualité dans l'utilisation de l'appareil de radiothérapie piloté par ordinateur, ont conduit l'AIEA à recommander aux Etats que soit vérifiée, auprès des utilisateurs de tels appareils, l'existence d'un programme d'assurance de la qualité approprié.

Contrôle de la radioprotection en Finlande

par **Eero Kettunen** – Directeur de l'unité de contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants à l'Autorité finlandaise de sûreté nucléaire et de radioprotection (STUK)

Généralités sur la Finlande

La Finlande compte un peu plus de 5 millions d'habitants. C'est un pays de forme allongée de 1200 sur 400 km. La population est concentrée dans le sud du pays, notamment près de la capitale, Helsinki, où vit 25% de la population finlandaise. Il y a aussi d'autres centres urbains où la population est dense comme à Turku, Tampere, Jyväskylä, Kuopio et Oulu.

Les installations qui utilisent des rayonnements ionisants pour la médecine ou l'industrie sont disséminées dans tout le pays, mais le plus souvent dans la partie sud. Le système médical finlandais est organisé autour de centres médicaux. Ce sont 250 petites unités dont la plupart ont des services utilisateurs de rayons X. Les autorités locales gèrent ces centres. L'unité de ce type la plus éloignée se trouve à Utsjoki, au nord de la Finlande.

Bases réglementaires du contrôle

La dernière révision de la loi finlandaise sur la radioprotection remonte à 1991. Un décret d'application est entré en vigueur la même année. La loi et le décret ont été amendés pour tenir compte des directives européennes lorsque la Finlande est devenue membre de l'Union européenne en 1995, puis à nouveau en 1998 lors de l'entrée en vigueur des directives sur les normes de base et le domaine médical.

En outre, le département finlandais d'action sanitaire et sociale a émis une règle d'utilisation médicale des rayonnements en 2000. Cette règle transpose les exigences de la directive européenne dans le domaine médical.

STUK - l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

En Finlande, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, STUK, contrôle l'utilisa-

tion des rayonnements. La loi qui en établit le principe est entrée en vigueur en 1983, et a été complétée par un décret en 1997. La forme géographique de la Finlande complique le contrôle. La seule implantation de STUK étant à Helsinki, les inspecteurs doivent voyager sur de longues distances et planifier soigneusement leurs inspections pour en optimiser le coût. STUK est à la fois Autorité de sûreté et organisme d'expertise et de recherche. STUK s'appuie sur 300 employés ayant un niveau de formation assez élevé, la majorité du personnel ayant un diplôme universitaire.

Domaines de compétence

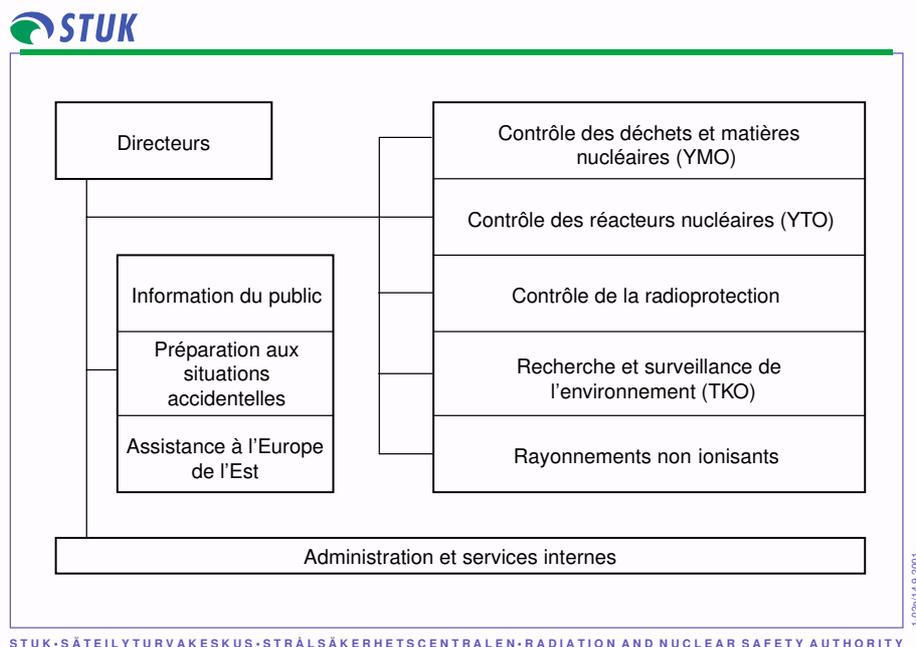
Il y a 4 unités opérationnelles à STUK : le contrôle des réacteurs nucléaires (YTO), le contrôle des déchets nucléaires et des matières (YMO), le contrôle de la radioprotection (STO), et la recherche et la surveillance de l'environnement (TKO). Les trois premières unités agissent en tant qu'Autorité de contrôle (figure 1).

YTO et YMO contrôlent les activités des centrales nucléaires, les matières nucléaires, leur transport et leur stockage définitif. Le champ d'action de ces unités est fondé sur la loi sur l'énergie nucléaire de 1987 et son décret d'application de 1988, et se situe hors du sujet traité dans le présent article.

L'unité de contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants,

STO contrôle l'utilisation des rayonnements en médecine et dans l'industrie, l'import-export des substances radioactives et le suivi de la radioactivité naturelle sur les lieux de travail qui le justifient. De plus, STO mesure et collecte les données d'exposition des employés. Parallèlement à sa fonction réga-

Figure 1. Organigramme de STUK



lienne, STO poursuit des recherches sur l'utilisation des rayonnements. Cette unité possède de un laboratoire de référence de métrologie (de second niveau) et un hall d'irradiation. Le personnel est au nombre de 39 personnes dont 19 inspecteurs et 4 chefs de division. Le reste du personnel comprend 5 chercheurs, 3 techniciens et 8 personnes chargées de l'administration et du secrétariat. La suite de l'exposé traite du contrôle de la radioprotection qui incombe à STO (Figure 2).

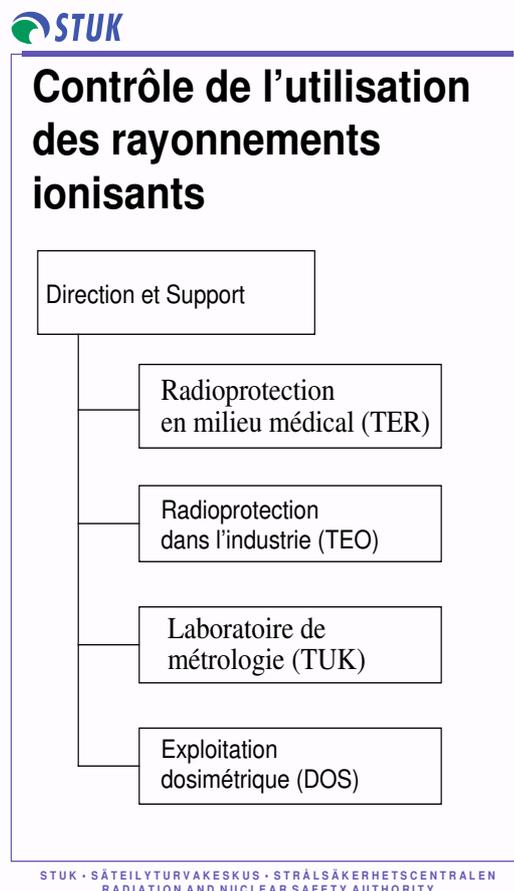
Moyens et méthodes de contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants

L'objectif de STO est de prévenir et limiter les effets nocifs de l'utilisation des rayonnements en Finlande.

Autorisations pour l'utilisation des rayonnements

Une autorisation est obligatoire pour l'utilisation des rayonnements. La loi et le décret sur la radioprotection déterminent les pratiques qui nécessitent une autorisation délivrée par STUK à l'installation utilisatrice. Chaque installation utilisatrice doit soumettre une demande dans les délais requis avant le début de toute utilisation. La

Figure 2 . Unité de contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants (STO)



demande doit comporter des informations sur la source, l'organisation prévue pour l'utiliser, le système d'assurance de la qualité, les équipements de protection et de contrôle des doses au personnel ainsi que son suivi médical. L'installation doit désigner une personne responsable pour la radioprotection. Cette personne doit posséder un diplôme approuvé par STUK. Le dossier complété, STUK délivre l'autorisation, accompagnée si nécessaire de conditions particulières.

Les autorisations délivrées pour l'utilisation de rayonnements ionisants sont au nombre de 1800. Les conditions associées à ces autorisations et les inspections assurent que les lieux d'utilisation et les doses au personnel sont surveillés et que le suivi médical approprié est effectué.

Registre des appareils générateurs de rayonnements

Les équipements qui délivrent des expositions mineures sont exemptés d'autorisation. Ce sont principalement les appareils de radiographie dentaire. Cependant, une déclaration à STUK est nécessaire. Un contrôle dosimétrique à l'aide de films dosimètres est effectué. En fonction des résultats de ce suivi dosimétrique, STUK donne des instructions pour réduire les doses ou effectue des inspections. Le registre comporte 2050 équipements de ce type.

Inspections initiales

Avant la mise en service d'une source, une inspection initiale doit être réalisée par STUK, au cours de laquelle l'inspecteur vérifie que l'équipement et son utilisation répondent aux exigences réglementaires et que la radioprotection, la qualité et les règles de sécurité sont adéquates. De plus, il est vérifié que les valeurs d'exposition maximale sont respectées et que les doses au personnel et son suivi médical sont conformes à la réglementation. Enfin, l'inspecteur vérifie que les substances radioactives et les déchets sont correctement gérés, que les utilisateurs ont la formation requise en radioprotection et que des instructions leur ont été données pour faire face aux situations d'urgence.

Si l'activité peut être considérée comme courante en Finlande et l'exposition mineure, cette activité peut être démarrée avant l'ins-

pection initiale. Dans ce cas, l'autorisation le mentionne.

Inspections courantes

Conformément aux autorisations, les sources de rayonnement sont inspectées selon une périodicité de 1 à 5 ans. Un rapport d'inspection recense les écarts et fixe le délais de mise en conformité. La fréquence des inspections dépend de la nature de l'activité. Les fréquences d'inspection sont données au tableau 1.

Lors des inspections courantes, l'inspecteur s'assure qu'aucun changement n'est intervenu qui justifierait une nouvelle évaluation des conditions de l'autorisation et de la protection. De tels changements portent notamment sur le déplacement de la source, l'introduction d'une nouvelle source ou des modifications importantes de la façon d'utili-



Mesures effectuées par le STUK sur un appareil de radiodiagnostique lors d'une inspection.

ser la source. Un rapport d'inspection est remis à l'utilisateur.

Guides réglementaires et positions concernant la radioprotection (guides ST)

Outre la législation sur la radioprotection, des guides et des positions réglementaires aident au contrôle de la radioprotection. STUK publie des guides généraux (guides ST) en accord avec la loi sur la radioprotection. Les guides ST détaillent les dispositions permettant d'atteindre les objectifs de radioprotection fixés par la loi. L'utilisateur de rayonnements peut proposer d'autres solutions à

Tableau 1. Fréquence des inspections courantes en fonction des types d'utilisation des rayonnements

Type d'utilisation des rayonnements	Fréquence d'inspection (années)
Radiothérapie	2 à 5
Utilisation médicale des rayons X	3 à 5
Utilisation de rayons X sur les animaux	3 à 5
Radiographie industrielle X et γ	
• Equipement mobile	1 à 3
• Equipement fixe	3 à 5
Irradiateurs	1 à 3
Accélérateurs de particules	3 à 5
Utilisation de rayons X dans l'industrie et la recherche	3 à 5
Source scellées et équipements les contenant	3 à 5
Sources non scellées	
• Type A en laboratoire	1 à 3
• Type B et C en laboratoire	3 à 5
Réparation et maintenance de sources	3 à 5
Commerce de substances radioactives	3 à 5

condition de démontrer qu'elles permettent d'atteindre les mêmes objectifs que celles indiquées dans les guides ST.

Il y a des guides ST sur les sujets suivants : localisation et protection, assurance de la qualité, mesure de l'exposition aux rayonnements ionisants et surveillance médicale, organisation pour l'utilisation de rayonnements, etc. Les guides ST sont classés selon les domaines suivants :

- Guides généraux
- Radiothérapie
- Radiodiagnostic
- Industrie, recherche et éducation
- Sources non scellées et déchets radioactifs

Les guides ST sont disponibles sur la page Internet de STUK à l'adresse suivante : <http://www.stuk.fi/english/regulations/st-guides.html>.

Les brochures et les dépliants publiés par STUK donnent des instructions générales sur l'utilisation des rayonnements. Ils informent sur la radioprotection sur le lieu de travail et donnent de bons conseils pratiques. STUK a publié de telles brochures sur l'utilisation des rayons X sur les animaux, les examens aux rayons X et les examens dentaires aux rayons X.

Organisation du contrôle de l'utilisation des rayonnements (STO)

Le contrôle de l'utilisation des rayonnements (STO) est divisé en 4 unités : utilisation des rayonnements en milieu médical (TER), utilisation des rayonnements dans l'industrie (TEO), exploitation dosimétrique (TUK), et laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants (DOS). La délivrance des autorisations et l'inspection relèvent au premier chef de la compétence des unités TER et TEO.

TER

Le contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants en milieu médical concerne la radiothérapie, le radiodiagnostic, la radiobiologie et le radiodiagnostic vétérinaire. Il y a 1600 générateurs de rayons X utilisés en médecine en Finlande, environ 5000 générateurs X dentaires, environ 70 appareils de radiothérapie, environ 30 équipements renfermant une source scellée et environ 100 laboratoires utilisant des sources non scellées. Le nombre de générateurs X en radiodiagnostic vétérinaire est d'environ 200.

TEO

Le nombre d'équipements contenant des substances radioactives utilisés dans l'indus-

trie est de 6200. Ces équipements sont utilisés principalement dans le contrôle des procédés industriels. Le nombre d'équipements générateurs de rayons X dans différents procédés industriels et d'analyse est de quelque 760. Il y a quelque 175 laboratoires industriels utilisant des sources non scellées. L'unité qui contrôle l'utilisation des rayonnements ionisants dans l'industrie (TEO) s'occupe aussi du contrôle de l'importation, de la production et de l'exportation de substance radioactives. Les responsabilités de cette unité induent la surveillance du radon sur les lieux de travail, ainsi que l'utilisation de sources dans la recherche et l'éducation.

TUK

Les données d'exposition des travailleurs sont stockées dans un registre tenu par l'unité d'exploitation dosimétrique (TUK). Il y a environ 10 600 travailleurs qui utilisent une source de rayonnement et ont un dosimètre individuel en Finlande. L'exposition des travailleurs de catégorie A doit être contrôlée mensuellement et leur suivi médical organisé en conséquence. Les doses sont reportées sur le registre tenu par STUK. Il est par ailleurs courant que le même suivi dosimétrique soit aussi volontairement pratiqué pour le personnel de catégorie B. Les médecins du travail doivent avoir une qualification approuvée par STUK. STO tient un registre de ces médecins.

DOS

Le laboratoire de métrologie des rayonnements ionisants, outre ses activités en métrologie des rayonnements ionisants, s'occupe aussi de maintenance et de calibration des étalons de métrologie et de différents services comme l'étalonnage d'appareils de métrologie ainsi que de recherche dans le contrôle de l'utilisation des rayonnements ionisants. Cette unité comporte deux laboratoires d'irradiation équipés, par exemple, de sources de cobalt 60 et césium 137 et de générateurs X pour la maintenance et la calibration des étalons de métrologie. Il y a aussi un laboratoire de rayons X, chargé principalement de recherche et d'essais dans l'utilisation médicale des rayonnements ionisants.

Enjeux de la nouvelle réglementation sur les applications médicales des rayonnements ionisants

Pour le moment, la directive médicale est en cours de mise en place en Finlande. Le nouveau décret du département d'action sanitaire et sociale est entré en vigueur en mai 2000. Au même moment a débuté la refonte des guides ST. Dans les années à venir, l'enjeu principal dans les activités de STO sera la mise en œuvre des exigences de la directive médicale. Les enjeux le plus significatifs seront l'extension du principe d'optimisation aux prescriptions médicales, la réalisation d'audits cliniques dans les unités qui utilisent les rayonnements et la formation du personnel soignant à la radioprotection. Les examens de dépistage sont aussi un point particulier de la directive. En Finlande, cela concerne en particulier les mammographies. Les autorités locales en Finlande doivent organiser le dépistage systématique du cancer du sein par mammographie pour les femmes de 50 à 59 ans. Le dépistage pour les femmes de 60 à 69 ans est en projet. Actuellement, il est très probable qu'aucune mammographie ne sera autorisée pour les femmes en dessous de 50 ans et au-delà de 70 ans.

Préparation aux réponses rapides que nécessite l'utilisation des rayonnements ionisants dans l'industrie

Dans l'industrie, il y a un grand nombre de sources radioactives dont beaucoup sont d'activité très élevée. Il est prévu d'augmenter le nombre d'inspections courantes. Le contrôle des déchets radioactifs et des sources en fin d'utilisation est une part importante de l'activité. Comme point particulier, il convient de mentionner les ferrailles de provenance nationale et même, de plus en plus, internationale, qui peuvent contenir des sources radioactives. STUK a fait prendre conscience du problème potentiel aux firmes de récupération des ferrailles. Elles sont à présent équipées de balises. Il est important de développer ce type de contrôle au niveau de l'Union européenne.

Rayonnement naturel

Le rayonnement naturel est une caractéristique de certaines régions finlandaises. Les

niveaux d'activité dus au radon sont élevés dans certaines régions. TEO contrôle les niveaux d'activité dus au radon sur les lieux de travail tels que les mines ou les autres lieux souterrains, ainsi que les lieux de travail situés dans les régions où des activités élevées dues au radon sont enregistrées. STUK travaille en coopération avec l'inspection du travail pour accroître sa capacité de surveillance. Le niveau d'intervention pour le radon sur les lieux de travail est de 400 becquerels par mètre cube d'air.

Conclusion

La radioprotection dans un pays comme la Finlande qui est étendu géographiquement et peu peuplé a ses propres caractéristiques. Une activité appropriée nécessite la création de réseaux avec les utilisateurs de rayonnements ionisants et les autres institutions appartenant à la branche. L'expertise en radioprotection est hautement centralisée à STUK. Dans ce domaine, il importe d'assurer le maintien à long terme de cette expertise.



Etalonnage d'un appareil de métrologie des rayonnements ionisants

Pour un contrôle renforcé du « petit nucléaire »

par **Pierre Barbey** – Conseiller scientifique de l'Association pour le contrôle de la radioprotection dans l'Ouest (ACRO)

En juillet dernier, la publication d'un article dans Ouest-France¹, au sujet des rejets radioactifs des hôpitaux, a donné lieu à une mini polémique traditionnellement plus propre à l'industrie nucléaire. La dimension qu'a prise cette affaire (reprise par de nombreux médias y compris sur le plan national)² nous a, il faut bien le dire, surpris. De fait, les commentaires et questions qui nous sont parvenus nous ont permis de constater que pour nombre de nos concitoyens (et même d'observateurs) les rejets radioactifs étaient spécifiques de la seule industrie nucléaire.

Certes, il convient d'emblée de relativiser et d'indiquer clairement que les niveaux de rejets ne sont pas du même ordre de grandeur et surtout qu'ils sont très différents sur un plan qualitatif : ce qui est une longue période en milieu hospitalier (par exemple l'iode 131 : 8 jours) est une très courte période pour l'industrie nucléaire, plus habituée à des radioéléments ayant des périodes de quelques dizaines d'années (principaux produits de fission) à des dizaines de milliers d'années (transuraniens et certains produits d'activation et de fission).

Il n'en demeure pas moins que le contrôle du nucléaire diffus doit s'exercer avec une vigilance toute particulière. Si, prise à l'échelle individuelle, chaque installation présente en général un niveau de risque potentiel modeste (toujours par comparaison avec l'industrie), son caractère justement « diffus » en

rend le contrôle plus souvent occasionnel quand il n'est pas absent. Pour illustration, rappelons que la CIREA³ compte plusieurs milliers de titulaires d'une autorisation de détention de radioéléments sur le territoire national (tableau 1).

Une majeure partie de ces autorisations sont relatives aux sources scellées qui, dans des conditions normales d'emploi et de contrôle, ne sont pas vraiment problématiques pour l'environnement⁴. La partie restante concerne les sources non scellées qui, lors de leur utilisation, génèrent des déchets radioactifs ainsi que des rejets directs dans l'environnement sous la forme d'effluents (surtout liquides). On compte actuellement 1436 titulaires d'une autorisation en sources non scellées⁵ qui se répartissent pour moitié en secteur médical et en secteur industrie/recherche.

Bien que le secteur industriel ne manque pas d'intérêt eu égard à la nature des sources mises en œuvre, nous n'évoquerons ici que le secteur médical et le secteur de la recherche.

Le secteur médical

Au sein des hôpitaux, plus particulièrement des centres hospitalo-universitaires, plus d'une vingtaine de radioisotopes différents (en sources non scellées)⁶ sont susceptibles

3. Commission interministérielle des radioéléments artificiels.

4. Cependant, au terme de leur utilisation, elles posent un réel problème environnemental puisqu'elles deviennent alors des déchets radioactifs.

5. Données année 2000 – source CIREA.

6. Des sources scellées sont bien évidemment également détenues au sein des hôpitaux ; sur ce point, on se reportera à l'article de G. Kalifa dans ce même numéro de Contrôle.

1. Ouest-France du 21 juillet 2001.

2. AFP du 24 juillet, France 3 des 25 et 26 juillet, Libération du 8 août 2001...

Tableau 1

	1996	2000
Titulaires en secteur médical (1 ^{ère} section)	1900	1238
Titulaires en secteur recherche/industrie (2 ^{ème} section)	3900	3196
Total	5800	4434

d'être utilisés dans les domaines du diagnostic et de la thérapie métabolique ainsi que dans les laboratoires d'analyses cliniques et de recherche (tableau 2).

Si l'on excepte quelques isotopes (tritium, carbone 14, cobalt 57...) plus spécifiques des activités de laboratoire, la quasi-totalité de ces radioéléments sont de période courte voire très courte, en tout état de cause inférieure à 100 jours. Néanmoins, les activités moyennes annuelles réceptionnées peuvent être très élevées. A titre indicatif, nous rapportons ici (tableau 2) les consommations, pour les années 1990 et 1991, des 62 établissements médicaux présents dans le bassin Seine-Normandie. Ces données renseignent fort utilement sur la nature des radioéléments employés et sur leur importance respective au sein des pratiques médicales ; cependant, compte tenu des périodes (parfois très courtes), elles ne peuvent renseigner sur le total détenu à un instant t et donc sur les rejets de ce moment-là.



Appareil automatique de prélèvement en continu

Tableau 2. Consommations annuelles en sources non scellées pour 62 établissements du bassin Seine-Normandie

Isotope	Période	Emissions	Activité réceptionnée (kBq)	
			en 1990	en 1991
99mTc	6,0 heures	γ, e^-	50 731 856 500	61 544 236 000
131I	8,0 jours	β^-, γ	3 989 743 058	4 021 142 237
201Tl	3,0 jours	γ, e^-	1 878 139 100	1 887 168 532
133Xe	5,2 jours	X, γ, β^-, e^-	2 107 893 500	2 592 182 000
123I	13,2 heures	X, γ, e^-	181 734 750	180 815 779
67Ga	3,26 jours	γ, e^-	119 781 000	106 982 300
111In	2,8 jours	γ, e^-	103 658 000	116 164 360
32P	14,3 jours	β^-	88 390 975	85 625 525
186Re	3,78 jours	X, γ, β^-, e^-	70 559 000	58 763 400
51Cr	27,7 jours	γ	54 246 735	63 048 000
125I	60 jours	X, γ, e^-	54 577 407	48 142 804
3H	12,3 ans	β^-	43 436 787	30 849 155
90Y	2,7 jours	β^-	37 666 000	41 077 000
169Er	9,4 jours	β^-	16 687 000	18 833 000
35S	87,5 jours	β^-	12 950 832	22 122 450
85Sr	64,9 jours	γ	1 184 000	3 700 000
59Fe	44,5 jours	β^-, γ	934 250	701 650
14C	5730 ans	β^-	507 806	2 039 026
64Cu	12,7 heures	β^+, γ	370 000	111 000
45Ca	163 jours	β^-	296 000	148 000
57Co	272 jours	γ	88 113	282 014
75Se	120 jours	γ, e^-	24 050	11 100
Activité totale			59 494 724 863	70 824 145 332

N.B. : autres radionucléides, non mentionnés ci-dessus mais susceptibles d'être présents en milieu hospitalier : sodium 22, phosphore 33, cobalt 58, strontium 89, samarium 153.

Sans avoir exercé un suivi régulier, l'ACRO dispose néanmoins de quelques résultats de mesures effectuées à l'émissaire de structures hospitalières caennaises : le maximum enregistré en ^{99m}Tc est de 4400 Bq/L (le plus souvent autour de 1000 Bq/L). D'autres radioéléments, dont l' ^{131}I , sont également détectés à des niveaux n'excédant pas 100 Bq/L⁷. Des valeurs analogues ou plus importantes (jusqu'à 10 fois plus) ont été relevées dans d'autres villes par d'autres organismes (CRIIRAD, OPRI).

A l'origine de l'article de Ouest-France précédemment cité se trouve la publication dans l'ACRONique du nucléaire et sur notre site Internet⁸ d'une étude réalisée par notre association (à la demande de l'Agence de l'eau Seine-Normandie) sur l'impact environnemental des rejets hospitaliers. Cette étude centrée sur la station d'épuration de l'agglomération caennaise avait pour objet d'interpréter le devenir des radionucléides artificiels au sein d'une telle installation.

La contamination du réseau est essentiellement due au ^{99m}Tc et à l' ^{131}I , radioéléments présents chaque jour ouvré selon un profil caractéristique de l'activité quotidienne (figure 1).

La charge totale entrante estimée pour une journée est importante, de l'ordre de 4000 MBq pour ^{99m}Tc et de 15 à 300 MBq pour ^{131}I . La radioactivité se concentre de façon dominante dans les boues. En fin de



Station d'épuration du district du Grand Caen

traitement, celles-ci sont incinérées et l'on retrouve ces radioéléments (^{111}In , ^{67}Ga , ^{201}Tl ...) dans les cendres, à l'exception d' ^{131}I (présent dans les boues) qui serait transféré dans les eaux de lavage des fumées.

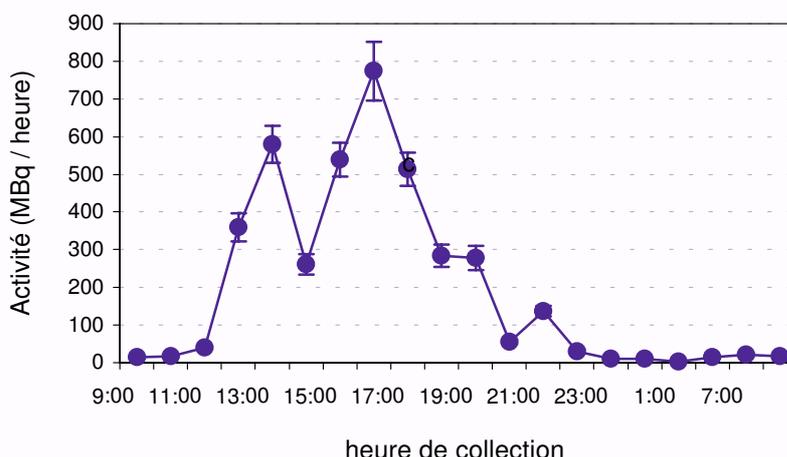
En sortie de station, les eaux traitées sont encore clairement marquées par le ^{99m}Tc (avec un facteur significatif de dépollution) et par l' ^{131}I (avec un facteur de dépollution plus modeste). Seul l' ^{131}I est détecté dans les sédiments de la rivière qui recueille ces eaux traitées.

En fait, ces données ne traduisent pas seulement les rejets directs effectués par les structures hospitalières mais aussi (pour une part difficile à déterminer en l'état actuel) les multiples sources diffuses constituées par les patients eux-mêmes traités en ambulatoire. Cela pose un réel problème sur lequel nous reviendrons.

7. Valeur-guide fixée par la récente circulaire DGS/2001-323 du 09 juillet 2001.

8. L'ACRONique du nucléaire n° 53 - 2ème trimestre 2001 ; www.acro.fr.st

Figure 1. Variation du flux de ^{99m}Tc (MBq/heure), mesuré dans les eaux usées à l'entrée de la station (16/06/99)



Le secteur de la recherche

Il conviendrait de parler de façon plus judicieuse du secteur enseignement/recherche (universités, grands organismes nationaux...), pour lequel l'emploi de sources scellées et non scellées est également important. En l'absence de données nationales accessibles, nous l'illustrerons en prenant l'exemple d'une université de taille moyenne de l'Ouest.

On compte dans cette université une centaine de sources scellées pour une activité totale de près de 150 GBq. Elles sont principalement utilisées dans les secteurs de l'enseignement de physique nucléaire (consacré à des travaux pratiques portant sur l'étude des propriétés physiques des radiations) mais aussi dans les laboratoires de recherche (étalonnage, calibration, détecteurs à capture d'électrons...). Les principaux radioéléments rencontrés sont : ^{241}Am , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{22}Na , ^{204}Tl , ^{63}Ni ...

Lors de leur détention, la crainte de la perte ou du vol d'une source n'est pas à exclure. En fin d'utilisation ou au bout de 10 ans⁹, elles sont renvoyées au fournisseur et sont généralement destinées à être considérées comme des déchets radioactifs.

Dans le domaine des sources non scellées, on retrouve les isotopes classiquement employés pour le marquage de molécules (organiques et inorganiques) ou de structures cellulaires et tissulaires (tableau 3).

Un bilan rétrospectif conduit sur 6 années dans cette université montre qu'elle a réceptionné durant cette période 629 colis de

9. Conditions particulières d'autorisation instaurées par la CIREA en mars 1990.

sources non scellées pour un total de 40 GBq (hors sels d'uranium), soit une centaine de sources et une activité moyenne de 6500 MBq par an.

L'envoi de déchets radioactifs (solides et liquides) n'apparaît que depuis le début des années 90. On a tout lieu de penser que, jusqu'à la fin des années 80, ici comme dans d'autres universités, les rejets banalisés dans l'environnement pourraient avoir été le principal mode de gestion des déchets radioactifs.

Les contrôles étaient certes peu présents mais en outre, et contrairement aux déchets hospitaliers, ils concernent de façon dominante des radioémetteurs bêta beaucoup plus difficiles à détecter dans des échantillons de l'environnement.

Faire évoluer les mentalités

Faire évoluer les mentalités pour que les exigences de la société actuelle en matière de protection de l'environnement soient prises en compte est sans doute un premier pas indispensable.

Dans le secteur de la recherche, il y a lieu, par la formation, d'inverser cette tendance à considérer les sources irradiantes (^{32}P , ^{125}I ...) comme « dangereuses » et par là même à banaliser l'emploi de sources non irradiantes (^3H , ^{14}C ...) mais qui sont aussi les plus dommageables pour l'environnement¹⁰. Les aspects économiques¹¹ ne militent pas vraiment en ce sens. Pour les isotopes de longue

10. Dans le cas de l'université prise en exemple, par une politique volontaire d'information des utilisateurs, il a été possible de réduire d'un facteur 3 les activités réceptionnées en ^{14}C en l'espace de quelques années.

11. L'acquisition d'une source de 37 MBq de ^3H peut être de l'ordre de 2000 F, alors que son élimination (sous forme de déchets liquides) sera de l'ordre de 5000 F si elle est opérée selon la voie réglementaire.

Tableau 3

Protocoles expérimentaux	Radio-isotopes
Radio-traceurs dans des études métaboliques	^3H , ^{14}C , ^{35}S
Etudes de prolifération cellulaire	^3H , ^{14}C
Techniques de liaison de ligands (réceptologie)	^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{125}I
Dosages radio-immunologiques	^3H , ^{14}C , ^{125}I
Constitution de sondes moléculaires	^{35}S , ^{32}P , ^{33}P
Techniques de phosphorylation de protéines	^{32}P , ^{33}P
Tests de cytotoxicité ^{51}Cr . Techniques d'iodination de protéines	^{125}I
Techniques de microscopie électronique	Sels d'uranium

période, le fait d'intégrer (au moins en partie) le coût de l'élimination des déchets lors de l'achat de la source pourrait constituer une mesure incitative. Cette préoccupation doit être soulignée pour plusieurs raisons. D'abord, le ^3H se présente ici le plus souvent sous des formes organiques (à fort tropisme pour des cibles cellulaires) et présente donc un caractère de radiotoxicité beaucoup plus élevé. Ensuite, le contrôle et la traçabilité de ces éléments sont plus difficiles (en particulier, contrairement aux déchets hospitaliers, ils ne risquent pas de déclencher les détecteurs placés à l'entrée des sites de déchets de classe I).

Dans un passé récent, on a demandé au médecin de ne pas se contenter de soigner mais aussi de prendre en compte la douleur du patient. Il n'est pas insensé de lui demander aujourd'hui de réfléchir aux implications de ses pratiques hors de l'hôpital.

Cela passe d'abord par une application sans faille du principe de justification (art. 3 de la directive n° 97/43/CE). Renoncer aux examens inutiles¹² peut être un premier moyen de limiter les rejets. Modifier ou remplacer des examens existants par de nouveaux protocoles ou de nouvelles techniques moins pénalisants (en termes de dose), d'abord pour le patient et le personnel mais sans doute aussi, par contre coup, pour l'environnement¹³, en est un autre.

Enfin, il faut réfléchir aussi à des procédés techniques et à des protocoles de rejets visant à augmenter le temps de rétention. Nous l'avons souligné, le secteur médical dispose d'un grand atout par rapport à l'industrie nucléaire : la courte période de ses radioéléments, qui autorise une gestion sur site avant rejet banalisé.

Pour autant cela ne règle pas toutes les questions, et en particulier le problème du patient traité en ambulatoire et qui continue, chez lui, à évacuer de la radioactivité. La réponse n'est pas simple car elle implique des choix qui nécessitent des évaluations préalables :

12. Pour exemple, est-il vraiment nécessaire de réclamer une scintigraphie thyroïdienne lorsque les examens cliniques et biologiques (présence d'anti-corps auto-immuns) ont clairement diagnostiqué une maladie de Basedow ?

13. Le remplacement de l'iode 131 par l'iode 123 est un bon exemple de substitution positive tant pour le patient que pour l'environnement.

- retenir plus longtemps le patient à l'hôpital : on évite des doses pour son entourage et on protège mieux l'environnement, mais ce sera un surcoût économique réel pour la société et le patient peut s'en trouver affecté ;

- collecter les urines à domicile (pendant un temps fonction de la période) : on évite à coup sûr des doses pour les personnels des réseaux et des stations, mais peut-être au prix d'un transfert de dose sur l'entourage du patient...

Comme on le voit, ce questionnaire relève aussi du débat public, et le réclamer ne signifie pas pour autant que nous « remettons en cause la médecine nucléaire ».

Si, comme l'ACRO l'a souhaité au cours de l'élaboration du projet de loi sur l'eau, les rejets radioactifs devaient soumis à la taxation au titre de la pollution des eaux (de la même façon que tous les autres rejets polluants), les structures hospitalières pourraient alors disposer d'un outil de compétence et d'un appui financier à travers le soutien des Agences de l'eau.

Au-delà de la réflexion nécessairement collective, il y a lieu de réglementer. En la matière, une explication de texte s'avère pour le moins nécessaire. On nous explique que les dispositions de l'arrêté du 30 octobre 1981 ne s'appliqueraient qu'à une partie restreinte des installations hospitalières¹⁴. Pourtant l'article 8 [qui institue les cuves de stockage et la limite de rejet à 7 Bq/L] est placé sous le titre II intitulé « conditions communes exigées pour toutes les installations » (dans lesquelles sont utilisées des radioéléments en sources non scellées). En tout état de cause, il est incohérent qu'un dispositif réglementaire régisse avec rigueur certains locaux et se montre en même temps tout à fait laxiste sur d'autres locaux de ces mêmes installations.

Des risques de déréglementation

Les **mesures d'exemption** s'inspirant de la **directive Euratom 96/29**, et qui sont en passe d'être reprises dans les décrets à venir, **risquent fort de contribuer à une déréglementation** si on les compare au système

14. Pour plus d'explications, lire à ce sujet le numéro spécial de « Points et commentaires » (bulletin de l'OPRI) n°15 de juillet-août 2001.

actuellement en vigueur. Ce système est bâti sur une gradation du contrôle en fonction de l'activité détenue que l'on peut résumer ainsi (tableau 4).

Dans le projet de décret « population », la procédure d'autorisation [CIREA/OPRI] se confond avec la procédure de déclaration qui devrait être engagée à partir de valeurs limites (Tableau A – annexe II). La 2^{ème} colonne du tableau ci-dessus disparaît donc de fait au profit de la 1^{ère} colonne (situations non contrôlées).

En clair, pour illustration, si l'on prend l'exemple de quelques radionucléides très présents dans les secteurs recherche et hôpitaux (laboratoires), les situations comparatives sont les suivantes :

Sur le premier exemple cité, celui du tritium, on constate un facteur 200 entre le dispositif actuel et la proposition de la directive européenne. Retenir la valeur de la directive serait donc un net retour en arrière. Concrètement, cela signifie que nombre de

laboratoires utilisant moins de 1 GBq de tritium pourraient donc échapper à tout dispositif réglementaire et par conséquent à tout contrôle (alors que cette frontière est actuellement fixée à 5 MBq). Ce fait est d'autant plus grave que ces établissements mettent en œuvre du tritium sous forme de molécules marquées et que les utilisateurs, en l'absence de données réglementaires, font comme s'il s'agissait de tritium libre qui est manipulé. Il serait donc en outre utile que la réglementation relative au dispositif de déclaration/ autorisation prenne en compte cette distinction tritium libre / molécules tritiées¹⁸.

A l'instar du tritium, on observe avec le ³³P ce même facteur 200 entre le dispositif actuel et la proposition de la directive européenne.

L'exemple du couple ³²P/³³P (tableau 5 – colonnes 2-3) est également présenté pour illustrer la nécessité de prendre les valeurs de la directive avec précaution. Pour ces deux

18. Les fiches radiotoxicologiques publiées par l'INRS et l'OPRI suggèrent un « facteur d'abaissement » de 50 (il ne s'agit que de recommandations...).

Tableau 4

Dispositif réglementaire actuel selon l'activité détenue				
Situation qui échappe à un contrôle réel	Procédure d'autorisation CIREA	Procédure ICPE régime de déclaration	Procédure ICPE régime d'autorisation	Procédure d'Autorisation INB

Tableau 5. Exemples de valeurs limites (activité totale détenue) pour quelques radionucléides (en sources non scellées) selon la nature du dispositif.

	Tritium	P32	P33	I125	I129
Limite pour l'application du décret n° 86-1103 impliquant la procédure d'autorisation CIREA	5 MBq	0,5 MBq	0,5 MBq	0,05 MBq	5 MBq
Limite pour la déclaration ICPE (rubrique 1710)	370 MBq	37 MBq	37 MBq	37 MBq	370 MBq
Limite ¹⁵ proposée par la directive n°96/29 et reprise par le projet de décret « population »	1000 MBq	0,1 MBq	100 MBq	1 MBq	0,1 MBq
Coefficient de dose efficace engagée ¹⁶ (en nSv/Bq)	18.10 ⁻³	2,4	0,24	15	110
LAI ¹⁷ (ingestion) en Bq	3.10 ⁹	2.10 ⁷	2.10 ⁸	1.10 ⁶	0,2.10 ⁶

15. Valeurs d'exemption – art. 3 alinéa 2 – tableau A de l'annexe I.

16. Directive n°96/29 – annexe III ; tableau C (valeurs pour les travailleurs – voie ingestion).

17. Décret n° 86-1103 – annexe IV (valeurs pour les travailleurs – voie ingestion).

isotopes bêta de courte période, il y a un facteur 1000 entre leur valeur d'exemption alors que les coefficients de dose engagée, proposés par cette même directive, ne s'écartent que d'un facteur 10. Comme les modes d'incorporation de deux isotopes d'un même élément ne sont pas différents, cette discordance n'est pas compréhensible.

Enfin, mais cette fois à l'opposé, la directive propose à juste titre une valeur nettement plus restrictive pour ce qui concerne l'¹²⁹I. Cette valeur est cohérente avec les coefficients de dose engagée des isotopes de l'iode, alors que le dispositif national en vigueur

souffre d'une réelle discordance entre les valeurs limite (application du décret et décadation) et les valeurs des LAI propres aux isotopes de l'iode (tableau 5 - colonnes 4-5).

De notre point de vue, les valeurs d'exemption de la directive Euratom 96/29 peuvent être retenues dès lors qu'elles sont plus restrictives que le dispositif actuellement en vigueur ; lorsqu'elles sont plus laxistes, il convient de conserver celles de notre système actuel. La France a tout le loisir de faire mieux que le contenu de la directive européenne.

Le paradoxe du « petit nucléaire »

par **Fabrice Nodé-Langlois** – journaliste au service sciences du Figaro

Le nucléaire diffus porte bien son nom. Diffus, il l'est d'abord pour le grand public. Le nucléaire évoque en effet d'abord au profane les centrales d'EDF assorties de leurs imposantes tours aéroréfrigérantes, et éventuellement l'usine COGEMA de La Hague. L'usage très répandu du nucléaire à l'hôpital est fréquemment oublié, tandis que son emploi dans les laboratoires de recherche et dans l'industrie est largement ignoré.

C'est finalement à l'occasion d'incidents que le public découvre, ou redécouvre, à quel point le « petit nucléaire » est répandu dans nos sociétés industrialisées. Exemple récent : en juillet dernier, l'ACRO (Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'Ouest) publie une étude, commandée par l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN) qui dénonce la pollution radioactive (à l'iode 131) des eaux usées de la station d'épuration de Mondeville près de Caen. Sans rentrer dans le débat sur l'éventuelle insuffisance des normes de rejets autorisés dans l'environnement¹, cette étude rappelait ces faits oubliés : oui, des malades ingèrent des substances radioactives pour se soigner ; oui, une partie de ces radioéléments sont éliminés par l'urine et se retrouvent dans l'environnement.

Et encore cet exemple porte sur l'utilisation médicale des sources radioactives, la plus connue du public. Le terme « diffus » est particulièrement approprié quand on constate la diversité extraordinaire des usages des radioéléments. « A chaque accident, je découvre une nouvelle utilisation des sources radioactives ». Ce commentaire ne provient pas d'un béotien mais du professeur Jean-Marc Cosset, chef du Département de radiothérapie à l'Institut Curie². La CIREA (Commission interministérielle des radioéléments artificiels) recense dans son dernier rapport annuel « plus de 200 pratiques d'uti-

lisation des radioéléments artificiels dans les domaines médical et industriel ». Qui connaît par exemple les appareils de détection du plomb à fluorescence X, au cadmium 109 ou au cobalt 57, employés pour le dépistage des peintures au plomb, sources potentielles de saturnisme ? La CIREA signale à ce propos que les utilisateurs de ces appareils, dont la demande a explosé depuis deux ans, ne correspondent pas au profil habituel de ses interlocuteurs. Architectes, notaires et agents immobiliers rejoignent ainsi le club des 4434 utilisateurs autorisés en 2000 à détenir et employer des sources radioactives.

Ce nucléaire diffus semble en définitive proche de la vie quotidienne. On pourrait même imaginer qu'en diffusant davantage d'informations sur ces usages si manifestement bénéfiques du nucléaire les partisans de l'énergie atomique contribueraient à donner une vision moins dramatique et caricaturale de la radioactivité.

Sauf qu'à ce « petit nucléaire » peuvent correspondre de grands risques. Dès 1992, le député Jean-Yves Le Déaut (PS, Meurthe-et-Moselle) s'inquiétait dans un rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques de « la dissémination des sources de rayonnements ionisants » qu'il qualifiait de « danger nouveau ». « La dissémination des sources radioactives pose des problèmes qui sont en réalité beaucoup plus préoccupants pour la santé humaine que ceux qui pourraient résulter des activités nucléaires lourdes », écrivait-il.

De fait, à lire les archives de l'Institut Curie sur les consultations de personnes irradiées, telles qu'elles avaient été dévoilées en 1999 après des décennies de confidentialité, sur 211 accidents survenus dans l'industrie entre 1951 et 1998, 46 seulement s'étaient produits dans des entreprises du nucléaire. Les 165 autres s'étaient déroulés dans des sociétés n'ayant rien à voir avec l'atome. Mais les accidents les plus graves sont généralement sur-

1. Voir le dossier de l'OPRI sur les rejets radioactifs hospitaliers, dans le bulletin Pointset Commentaires de juillet-août 2001, disponible sur www.opri.fr.

2. Le Figaro du 7 janvier 1999.

venus lorsque des sources radioactives se sont égarées et retrouvées entre les mains de personnes qui ne savaient pas ce dont il s'agissait. Ce fut le cas à Goiânia, l'une des affaires les plus connues du catalogue des accidents liés au « petit nucléaire ». Quatre personnes sont mortes et plusieurs ont été gravement irradiées à Goiânia au Brésil en 1987 après le ramassage par un ferrailleur d'une source de césium abandonnée.

Des incidents similaires, au bilan certes moins dramatique, se sont aussi produits en France. En 1979, un ouvrier de Montpellier a ramassé sur un chantier un petit objet. Il ne savait pas que c'était une source d'iridium 192 utilisée pour radiographier des soudures. Insouciant, il a mis la source en poche. En quelques heures, l'ouvrier a reçu une dose de 74000 millisieverts. 74000 fois la limite annuelle prescrite pour le public par la nouvelle norme européenne, ou encore environ 74000 radios des poumons délivrées en quelques heures. L'ouvrier a dû être amputé d'une jambe.

Lorsque l'on sait que plus de 300 000 sources radioactives sont détenues en France, on peut comprendre les inquiétudes du député Le Déaut, et son souci, depuis dix ans, de renforcer le contrôle de ces milliers d'objets potentiellement dangereux pour la santé. En rédigeant son rapport de 1998 sur la réorganisation de la sûreté nucléaire, Jean-Yves Le Déaut avait pu constater des failles du dispositif de surveillance, notamment au niveau préfectoral. Exemple : le 2 janvier 1998, une camionnette transportant des flacons d'iode

131 est accidentée sur l'autoroute A8 dans le Var. De la terre et du bitume sont contaminés. Cet incident n'avait pas été signalé par le préfet du département, en réponse à un questionnaire de Jean-Yves Le Déaut sur les faits marquants concernant des sources.

Les appels du député, et d'autres personnes avec lui, ne sont pas restés sans réponse. La disparition annoncée de la CIREA, le « notaire du petit nucléaire », organisme parfaitement inconnu du public, aux moyens limités, et son intégration programmée dans les nouveaux organismes chargés de la sûreté et de la radioprotection laissent espérer une meilleure visibilité du nucléaire diffus. Par ailleurs, l'application de l'échelle INES aux incidents de transports devrait permettre aux médias de mieux appréhender cet aspect du nucléaire. Enfin, cette réorganisation de la sûreté contribuera peut-être à faire avancer le dossier de l'élimination de ces milliers de sources pour lesquelles n'existe pas de site de stockage propre ou en tout cas de capacité de stockage suffisante, selon le constat même de la CIREA.

La diversité des utilisations du « nucléaire diffus » permettrait de montrer le nucléaire sous un jour familier : il soigne, il détecte les incendies ou le plomb dans la peinture. Mais, c'est le paradoxe de ces petites sources, qui reflètent finalement les avantages et les inconvénients de l'énergie nucléaire en général, elles ont aussi tué et gravement blessé des dizaines de personnes dans le monde.