



95001535

**DEMANDE D'AUTORISATION
EN VUE D'UNE PUBLICATION OU D'UNE COMMUNICATION
ET**

à faire parvenir pour accord, par la voie hiérarchique, au Directeur de l'IPSN

DEPARTEMENT DE PROTECTION DE LA SANTE DE L'HOMME ET DE DOSIMETRIE	Date : 27.4.1995 Réf. DPHD/PUB-95/ 57
------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------

Titre original du document : **BILAN DES ACCIDENTS RADIOLOGIQUES EN MEDECINE**

Titre traduit :

12300

Auteurs	Affiliation (1)	DEPT/SERV/SECT.	VISA (d'un des auteurs)	Date
J.C. NENOT	IPSN	DPHD 960997		27.4.1995

Nature du document (2)

MHL 6057N. FR 960 1232

Rapport	Thèse	Périodique*	Cours	Congrès/ Conférence	Poster	Chapitre de livre	Autre	Résumé	Texte
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Titre congrès/conférence (3) : **RADIOPROTECTION ET MEDECINE**
(SFRP - AIRP - SEPR)

Lieu congrès/conférence : **MONTPELLIER**

Dates : du 28 au 30 JUIN 1995

Date limite d'envoi du résumé :
Date limite d'envoi du texte :
Date limite d'envoi du poster :

Domaine scientifique :
EPAC :

Titre du périodique : **RECUEIL**

LANGUE : **FRANCAIS**

Comité de lecture de la revue : **OUI/NON**

IPSN
DPHD
EB/AS
FR

Les visas portés ci-dessous attestent que la qualité scientifique et technique de la publication proposée a été vérifiée et que la publication ne divulgue pas d'information brevetable, commercialement utilisable ou classée.

	SIGLE	NOM	DATE	VISA	OBSERVATIONS
Chef de Service					
Chef de Département	DPHD	P. GOURMELON	27-4-95		
Directeur de l'IPSN	IPSN	Ph. VESSERON	6-5-95	V.	

Si corrections demandées, retour des textes corrigés le plus rapidement possible au Département.
Les correspondants communication des départements se chargent de transmettre à l'INSTN copies des demandes d'autorisation de publication, du résumé et du texte définitif.

- (1) Entité d'appartenance de l'auteur. Exemple : IPSN, DRN, CNRS, INSERM, stagiaire...
- (2) Cocher la case correspondante
- (3) Titre du congrès dans la langue d'origine. Joindre une copie de l'annonce à la demande.
- * Avertir votre correspondant publication si votre texte est refusé ou transmis à un autre journal ; lui adresser 3 exemplaires des tirés à part.

ARRIVEE - CIRIST	
IPSN-93-05-95-03092	003438
CIRIST	NC

CEA-CONF 18 300
95001535
FR 960.1282



BILAN DES ACCIDENTS RADIOLOGIQUES EN MEDECINE

J.C. Nénot

Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire

IPSN - BP n°6 - 92265 Fontenay-aux-Roses Cedex, France

1. Introduction

Les accidents d'irradiation survenant en médecine sont plus rares que ceux qui ont pour origine des sources à usage industriel, comme l'iridium 192 utilisé pour la gammagraphie ou le cobalt 60 utilisé dans les irradiateurs industriels. Le recul sur 25 ans montre qu'environ 15 % des victimes ont été accidentées par des sources médicales, contre environ 85 % par des sources industrielles. Parmi les accidents en médecine, la radiothérapie constitue le principal responsable, en raison de l'activité des sources utilisées et des doses délivrées. Les sources utilisées en thérapie sont de natures très diverses, adaptées aux maladies à traiter, aux malades et aux capacités médicales ; ce peuvent être des sources de rayonnement gamma (principalement cobalt 60, césium 137 et iridium 192), ou des électrons produits par des accélérateurs linéaires. Ces sources peuvent être à l'origine d'accidents d'irradiation globale pouvant mettre en jeu le pronostic vital, d'accidents d'irradiation localisée pouvant nécessiter des actes chirurgicaux lourds ou encore d'accidents de contamination interne. L'ampleur de ces événements couvre une très large gamme : depuis l'accident qui ne comporte qu'une seule victime jusqu'aux accidents qui impliquent un nombre élevé d'individus exposés. En général, les accidents avec peu de victimes surviennent en milieu hospitalier, alors que ceux de grande ampleur, dus à la dissémination de sources radioactives, concernent plus particulièrement le public. Entre ces deux extrêmes se situent les accidents avec un nombre significatif de victimes ; c'est le cas

des malades victimes en série de surdosages ou de sousdosages lors d'applications thérapeutiques, avant que l'erreur causale ne soit reconnue. Ainsi, les sources responsables d'accidents en médecine ne diffèrent ni par leurs natures, ni par leurs conséquences, des sources utilisées dans l'industrie. En revanche, il existe une différence fondamentale entre les accidents dus à des sources médicales et ceux dus à des sources industrielles : une troisième catégorie de victimes s'ajoute à celle des professionnels et du public, constituée par les malades eux-mêmes.

Toute classification est arbitraire ; il semblerait logique de distinguer d'une part les accidents qui n'impliquent qu'un nombre limité de personnes et d'autre part ceux de grande ampleur qui peuvent devenir de véritables catastrophes régionales ou nationales. Cependant, afin de pouvoir tirer les leçons qui peuvent permettre de limiter de tels accidents ou d'empêcher leur reproduction, il semble plus utile de classer les accidents par type de sources, puisque les mêmes causes entraînent souvent les mêmes conséquences. Schématiquement, il est possible de distinguer les sources scellées de téléthérapie, les accélérateurs linéaires, les sources de brachythérapie et les contaminations internes. A l'intérieur de chaque catégorie, il convient de bien séparer les accidents touchant les professionnels de santé, ceux qui concernent les malades et ceux qui aboutissent à une dissémination de produits radioactifs dans l'environnement.

2. Accidents dus à des sources scellées de téléthérapie

Les accidents dus à des sources de téléthérapie peuvent concerner le personnel hospitalier ou le personnel de maintenance, mais aussi les patients eux-mêmes. Les accidents mettant en cause des malades sont très rares ; cela s'explique par la sûreté satisfaisante des appareils utilisés, par la relative simplicité de mise en oeuvre comparée à d'autres appareils plus compliqués,

comme les accélérateurs par exemple. Les surdosages sont dus en général à des erreurs de dosimétrie et de mauvaises focalisations. Les professionnels qui risquent le plus d'être confrontés à une situation dangereuse sont les opérateurs qui assurent le chargement ou le changement de sources ; la manipulation de la source constitue un passage obligatoire et toute

mise à nu accidentelle de cette source représente un danger grave pour les opérateurs. Deux accidents survenus au cours de la décennie 80-90 ont fait des victimes dans un milieu qui ne devrait jamais en décompter : la population générale. Des personnes du public en nom-

bre important ont été exposées, dont certaines gravement, suite à la dissémination dans l'environnement de sources de radiothérapie, laissées à l'abandon dans des services médicaux désaffectés : ce furent les accidents du Mexique (1983) et du Brésil (1987).

2.1. Accidents affectant les professionnels

Les accidents graves de surexposition du personnel sont heureusement fort rares ; il s'agit le plus souvent d'irradiations localisées aux mains, en raison des conditions de survenue de l'accident. Il n'a pas été rapporté d'exposition globale à des niveaux de dose suffisants pour induire des effets pathologiques à court terme.

Un exemple d'irradiation grave des mains est fourni par l'accident survenu en France en avril 1981. Lors du chargement d'une source neuve de cobalt 60, d'activité 137 TBq (3.700 Ci), trois techniciens ont été surexposés à des degrés variés par la source qui était tombée sur le sol, suite à de fausses manoeuvres. Le technicien qui effectuait le chargement de l'appareil a reçu des doses considérables aux deux mains en procédant à la remise en place de la source dans l'irradiateur. L'aide qui devait récupérer la source fictive a aussi eu les deux mains fortement exposées lors du contact avec la tête de chargement dans lequel la source est restée coincée. Le troisième opérateur reçut des doses beaucoup plus localisées à une seule main [Nénot, 1981]. Du fait de la proximité de la source, les doses à l'organisme entier ont été très hétérogènes : dose moyenne aux environs de 1 Gy pour le technicien, légèrement plus élevée pour le deuxième opérateur et moins élevée pour le troisième. Les lésions locales se développèrent très rapidement et devinrent extrêmement douloureuses, avec exacerbations lors des poussées ; ces douleurs posèrent des problèmes thérapeutiques graves, non solubles par les antalgiques classiques. L'évolution extrêmement rapide vers la nécrose a justifié l'amputation des deux mains chez deux intervenants ; un essai de greffe chez le troisième, soldé par un échec, a été suivi de l'amputation des 3 premiers doigts et d'une partie importante de la main droite.

Un accident similaire s'était produit en Tchécoslovaquie en décembre 1973 [Klener, 1986]. Après avoir conclu à une fausse alarme de l'appareil qui signalait que la source de cobalt 60 de 110 TBq (3.000 Ci) n'était pas convenablement positionnée, les opérateurs ont fait tomber la source et ont décidé de la remettre en place. Cet accident fut moins lourd de conséquences que celui décrit plus haut ; un opérateur dut cependant être amputé de quatre doigts, plus d'un an après l'accident, et a ensuite développé une cataracte de l'oeil gauche, un an et demi après l'accident, avec apparition d'opacités du cristallin droit sept ans après.

Ces deux exemples illustrent particulièrement :

- l'importance du facteur humain dans la genèse des accidents, source d'erreurs graves de jugement, qui entraînent des prises de décision lourdes de conséquences, étonnantes chez des techniciens chevronnés quand elles sont analysées a posteriori ;
- l'évolution très longue des irradiations des téguments, avec rechutes graves, spécialement dans le cas de rayonnements pénétrants ;
- les problèmes thérapeutiques graves posés par la douleur qui domine souvent le tableau clinique ;
- le besoin d'un suivi minutieux à long terme pour détecter à temps une atteinte oculaire (non évidente par la reconstitution) ;
- les aspects psychologiques de ces lésions longuement évolutives, qui peuvent prendre le pas sur les aspects cliniques pour les décisions thérapeutiques.

2.2. Accidents affectant les malades

La sûreté des appareils de radiothérapie alliée à des règles précises d'exploitation par un personnel soucieux de la santé des malades qu'il a en charge sont garants du respect des doses pres-

crites. En conséquence, les accidents de surdosage sont rares, bien qu'il arrive que des écarts excessifs par rapport à l'exposition programmée ne se produisent ; ces écarts peuvent alors être

suffisants pour entraîner des dommages irréversibles. Il ne faut pas oublier les erreurs qui conduisent à des sousdosages qui, bien que n'ayant pas la même publicité que les

surdosages, peuvent être extrêmement lourds de conséquences pour les malades. Ils sont souvent méconnus, puisque n'entraînant aucun effet immédiatement visible.

2.3. Accidents de grande ampleur faisant des victimes parmi la population

Certains accidents prennent des dimensions considérables parce qu'ils restent méconnus pendant un temps suffisant pour que la source puisse être dispersée et puisse exposer un grand nombre de personnes. L'accident n'est en général reconnu que lorsque le diagnostic étiologique des symptômes présentés par les irradiés est évoqué. Les deux accidents graves de Juarez au Mexique et de Goiânia au Brésil ont été causés par la dissémination des sources de radiothérapie.

A Juarez, l'événement initial se situe en 1977, lors de l'achat d'un appareil de cobalthérapie de 37 TBq (1.000 Ci), qui n'a ensuite jamais été utilisé. Après un stockage de 6 ans, la source a été démantelée par des ferrailleurs le 6 décembre 1983 [Secretaria de Energie, Minas e Industria Paraestatal, 1984]. C'est lors des premières manoeuvres qu'une rupture du confinement a eu lieu et a libéré plus de 2 TBq (60 Ci) de cobalt 60 qui se sont dispersés sur le plateau du véhicule. Ce véhicule, tombé en panne, est resté immobilisé sur un terrain vague dans la banlieue pendant 40 jours, puis a été déplacé et garé en face du domicile d'un des ferrailleurs pendant 10 jours supplémentaires. Entre-temps, la majeure partie de la tête avait été cédée à des fonderies qui ont commencé à produire des pièces métalliques contaminées à partir du 14 décembre. L'accident a été découvert fortuitement le 16 janvier 1984, lors du passage d'un camion chargé de ferrailles près du Centre militaire de Los Alamos. Les 17 et 18 janvier, les autorités américaines, alertées, ont découvert l'origine de l'alarme, identifié le cobalt et prévenu les autorités mexicaines. Le 21 janvier, la contamination a été détectée dans un terrain vague, puis dans une fonderie, et le lendemain dans certaines rues de la ville. Ce n'est que le 12 avril que la contamination résiduelle a été jugée sans danger pour le public.

Le bilan final de la dispersion, dressé vers la fin de février, s'établit comme suit :

- * 0,37 TBq (10 Ci), demeuré dans la tête,
- * 2,22 TBq (60 Ci), dans la camionnette,
- * 1,11 TBq (30 Ci), dans le terrain vague (premier stationnement du véhicule),
- * 11,1 TBq (300 Ci), fondus et dispersés.

Des barres à béton contaminées ont été retrouvées dans quatre états des USA et de nombreuses localités du Mexique. Cinq cents tonnes ont été ensuite retournées des USA vers le Mexique. Les ferrailles contaminées non utilisées ont été récupérées ; elles représentaient 2.360 tonnes. Le contrôle de 17.600 habitations où des ferrailles contaminées auraient pu être utilisées a conduit à la démolition de 814 d'entre elles. Pour l'entreposage définitif, une cimenterie a été transformée afin d'y entreposer 16.000 m³ de produits contaminés.

Le nombre total de personnes exposées a été estimé à environ 4.000. Dans un premier temps, il a été estimé qu'environ 3.200 personnes avaient reçu moins de 5 mGy, 700 entre 5 et 250 mGy, et 80 plus de 250 mGy. Parmi ce dernier groupe, 5 personnes auraient reçu entre 3 et 7 Gy, étalés sur une période de 2 mois. Aucun décès n'a été déploré malgré ces fortes doses, en raison de l'étalement des expositions pendant plusieurs semaines.

Dans des circonstances analogues à celles de l'accident de Juarez, l'abandon d'une source de téléthérapie s'est soldé en 1987 à Goiânia par une dispersion extrêmement importante de produits radioactifs. La source de césium 137 de 50,9 TBq (1.375 Ci) a été abandonnée pendant deux ans dans une clinique lors de sa désaffectation en 1985 [AIEA, 1989]. Afin de récupérer des métaux monnayables, deux personnes se sont emparées du porte-source entre le 10 et le 13 septembre 1987. Le 13 septembre, elles furent saisies de vomissements. Le 18, les tentatives de démontage du barillet réussirent et de la poudre fine (chlorure de césium) s'en échappa. Le même jour, les fragments du barillet ont été vendus à un ferrailleur. Ce fut le point de départ d'une gigantesque dispersion du radionucléide ; dans les même temps les premiers acteurs furent sujets à des troubles digestifs importants. Le 23 septembre, un des deux détenteurs de la source fut hospitalisé pour brûlures. Le 28, plusieurs personnes furent gravement malades et certaines attribuèrent leurs maux à la poudre. Les médecins consultés rapportèrent les troubles à des maladies tropicales. C'est alors que des doutes sur l'agent causal commencèrent à naître et qu'un débitmètre appartenant à un organisme

de prospection d'uranium fut utilisé. La réponse en butée a d'abord fait penser à un défaut de l'appareil. Ce n'est que tard dans l'après-midi que, sur intervention du Secrétaire d'Etat, l'accident fut reconnu et que des actions furent entreprises.

Dans la nuit du 29 au 30 septembre, les autorités de Goiânia réquisitionnèrent le stade olympique pour trier et isoler les victimes contaminées. D'emblée, 22 personnes furent identifiées comme ayant été surexposées, parmi lesquelles 11 semblaient particulièrement atteintes.

Cet accident a eu des conséquences plus graves que celui de Juarez, car la nature physicochimique de la source, chlorure de césium sous forme de poudre, a constitué un facteur supplémentaire favorisant la dispersion du radionucléide, déjà soluble par nature. Il en est résulté une con-

tamination large de l'environnement et des expositions élevées d'un grand nombre de personnes du public, combinant des irradiations externes particulièrement importantes des individus qui avaient détenu et démantelé la source, des irradiations localisées graves chez les manipulateurs improvisés et les enfants qui avaient joué avec la poudre radioactive, ainsi que des contaminations internes chez les membres de plusieurs familles. Cet accident s'est soldé par 8 cas graves de syndrome aigu d'irradiation, dont 4 décès. Certaines atteintes localisées ont dû être traitées chirurgicalement par greffes, parfois sans succès. Les doses engagées en rapport avec l'incorporation de césium risquent d'être à l'origine d'affections à long terme dont il conviendra de surveiller l'apparition éventuelle, spécialement chez certains jeunes enfants, particulièrement contaminés.

3. Accidents dus à des accélérateurs linéaires

Dans le secteur médical, les victimes d'accidents dus à l'utilisation d'accélérateurs linéaires se sont comptées parmi les malades traités. Les accidents ont été causés par des erreurs humaines, dues au non respect des consignes et règles de sûreté d'utilisation et de protection. Deux accidents, l'un aux USA et l'autre en Espagne, ont eu une ampleur et des conséquences suffisamment grandes pour que leurs causes soient analysées.

Aux USA, les cinq accidents survenus en l'espace de 3 années (1985-1987), sur la même installation (accélérateur THERAC 25) constituent l'illustration de la mauvaise utilisation d'un même type d'appareil et de la répétition d'accidents de surdosage avant que des mesures ne soient prises [Newman, 1990].

Le premier accident est survenu à l'hôpital de Marietta, en Georgie, le 4 juin 1985. Après son traitement, une patiente a rapidement accusé des douleurs, avec perte de mobilité et de motricité. Les mêmes causes ont provoqué les mêmes effets, le 25 juillet 1985, à l'hôpital Hamilton dans l'Ontario. Les autorités se sont interrogées sur la sûreté de l'appareil après un troisième accident, le 21 mars 1986, à l'East Texas Cancer Treatment Center. A la mise en route de l'appareil, l'opératrice avait commis une erreur de programmation, en confondant « MV » (traitement par Rayons X) et « MeV » (traitement par électrons). L'ordinateur affichant l'annonce d'un dysfonctionnement, l'opératrice avait relancé l'irradiation. Une troisième relance avait enfin déclenché la sécurité et provoqué l'arrêt

automatique. Ce malade est décédé cinq mois après et il n'existe pas de renseignements particuliers sur les causes de sa mort. Le 11 avril 1986, les mêmes causes déclenchées par la même opératrice produisirent les mêmes effets. Le malade ressentit une telle douleur lors de l'irradiation qu'il tenta d'échapper au champ de rayonnements. Il fut rapidement saisi de nausées et vomissements. Comme la technicienne avait gardé en mémoire la chronologie des opérations, la reconstitution de l'accident a été possible et le surdosage a été reconnu. La victime est décédée trois semaines après l'accident, avec une nécrose large de la zone temporale du cerveau.

Bien qu'à la suite de ces accidents dus à une mauvaise programmation de l'appareil, tous les hôpitaux utilisant ce modèle aient été avertis et une procédure de sécurité prescrite, un cinquième accident sur Thérac 25 est survenu au Memorial Hospital de Yakima (Washington), le 17 janvier 1987. Une fois de plus, la même confusion a abouti à une exposition peut-être 100 fois plus élevée que celle prévue.

En décembre 1990, un accident grave est survenu en Espagne, dans un hôpital de Saragosse [Esco, 1993]. Par suite du mauvais fonctionnement de l'accélérateur linéaire, 27 malades ont reçu des doses très élevées. L'appareil en cause est un Sagittaire, dont 32 modèles sont en service dans le monde. Une réparation fut effectuée le 7 décembre, mais il semble qu'au lieu de chercher la cause exacte de la panne (court-circuit), le réparateur ait modifié l'énergie

des électrons, afin de corriger la déviation excessive du faisceau et de rétablir une trajectoire normale. L'énergie maximum ne correspondait plus alors à la valeur choisie par l'opérateur. A partir du 10 décembre l'appareil a fonctionné à pleine puissance et pendant 10 jours, des patients ont reçu des doses plus élevées que prévues, mais sur des zones plus réduites, en raison de la réduction secondaire de la focalisation. Le surdosage, en fonction des énergies programmées mais fausses, a été estimé à un facteur 3 à 7. Du fait de cette erreur grave dans

la maintenance, de nombreux patients parmi les 27 qui furent traités entre le 10 et le 20 décembre ont subi des dommages graves, particulièrement ceux qui souffraient d'affections localisées au cou et au thorax. Comme les affections pour lesquelles ces malades étaient traités étaient très graves, il a été difficile dans les suites médicales de faire la part exacte de ce qui revenait à la maladie et à l'irradiation accidentelle. Le nombre de décès attribuable directement à l'accident est cependant très élevé et est évalué à une dizaine.

4. Accidents dus à la brachythérapie à fort débit de dose

La brachythérapie intracavitaire à fort débit de dose s'est développée assez rapidement et certains auteurs, particulièrement outre-Atlantique, prônent ses avantages par rapport à la brachythérapie classique à faible débit. Il semble cependant que ses inconvénients l'emportent sur ses avantages qui se situent plus au plan économique qu'aux plans clinique et radiobiologique [Scalliet, 1993]. Parmi les inconvénients, l'éventualité d'accidents graves est à prendre en compte, en raison des activités mises en jeu ; ces accidents s'ajoutent aux complications et séquelles qui, par définition, ne peuvent être considérées comme accidentelles. L'accident survenu aux USA en 1992 représente l'exemple type de la cascade d'événements, porteurs de conséquences graves, qui peut être déclenchée par une erreur de manipulation de ces sources.

Au cours d'un traitement par brachythérapie à fort débit de dose par une source d'iridium 192 de 160 GBq (4,3 Ci), pratiqué dans un centre anticancéreux de **Pennsylvanie (USA)**, une

malade de 82 ans a regagné son établissement de postcure le 16 décembre 1992 sans avoir été débarrassée d'une des sources [US NRC, 1993]. Quatre jours plus tard, un cathéter qui contenait la source a été rejeté par la malade et s'est retrouvé dans les déchets médicaux. Le lendemain la malade mourait, sans que sa mort soit attribuée à l'irradiation. Au cours des six jours de l'acheminement des déchets dans l'Ohio vers une installation de traitement de déchets hospitaliers, plus de 90 personnes ont été exposées : ambulanciers, résidents de l'établissement de postcure, personnel de l'hôpital, camionneurs et personnel de l'entreprise de récupération de déchets. L'alerte fut donnée par l'appareil de contrôle situé à l'entrée de l'usine de traitement des déchets. Les doses reçues localement par la malade furent évaluées à 16.000 Gy. Pour les personnes de l'entourage, les doses n'ont pas été assez élevées pour entraîner des effets aigus. Les plus fortes doses ont été reçues par les infirmières au niveau des mains.

5. Accidents de contamination interne

Bien qu'il soit difficile de classer les contaminations à visées diagnostiques ou thérapeutiques sous la rubrique « accidents », certaines pratiques médicales historiques méritent d'être mentionnées, en raison de leurs complications dont l'importance est comparable à celle d'accidents graves beaucoup plus récents. Il s'agit essentiellement de l'utilisation du thorium 232 comme produit de contraste dans les angiographies et du radium administré per os ou en injection intramusculaire à des fins diverses, entre les années 30 et 50.

Le **thorotrast** était une suspension fine, à 25 %, d'oxyde de thorium 232, et contenait en proportion variable ses produits de filiation. Etant

donné la petitesse de leur taille, les particules de thorium étaient phagocytées rapidement par les cellules réticulo-endothéliales du foie, de la rate et de la moelle, ainsi que par les cellules hépatiques. Des milliers de patients ont été explorés par ce produit pendant une vingtaine d'années. Les doses furent estimées aux environs de 7,5 Gy au foie, 2 à 5 Gy à l'endoste, 2,7 Gy à la moelle osseuse, pour une administration moyenne. Ces examens n'ont eu de faveur que dans un nombre limité de pays : le Danemark, l'Allemagne, le Portugal, le Japon, le Royaume-Uni et les Etats-Unis, pour citer les principaux. Les chercheurs américains se sont assez tardivement intéressés à la toxicité du thorium, en analysant les cohortes européennes et en affi-

nant la dosimétrie. Le suivi épidémiologique, mené de façon assez rigoureuse, a permis de mettre en évidence des excès de cancers du foie en nombre significatif et en nombre moindre d'angiosarcomes, d'ostéosarcomes et de mésothéliomes subpleuraux [Stannard, 1988].

Les groupes de malades traités par du radium sont beaucoup plus réduits que ceux ayant reçu du thorotrast. De plus, cette pratique a été limitée dans le temps et a pris fin en 1933. La gamme des affections traitées était très large : fatigabilité, myocardite, arthrite, poliomyélite, affections vénériennes et troubles mentaux. Ces séries de malades sont très mal documentées, d'autant plus que nombre d'entre eux ignoraient la nature de leur traitement ; pour certains d'entre eux, c'est le caractère de leur pathologie qui a fait découvrir l'agent causal [Finkel, 1967]. Dans la plupart des cas, la localisation du cancer a été osseuse. La quantification du risque est difficile pour cette série, car les quantités administrées sont très imprécises.

Les conséquences les plus graves de l'accident de Goiânia furent celles liées aux expositions externes, causes d'aplasie médullaire et de brûlures radiologiques. Cependant, un nombre élevé d'habitants furent de plus contaminés, par voie digestive et par passage transcutané. Ces contaminations furent très importantes dans certains cas, en raison de l'extrême solubilité de la source [Bertelli, 1990]. Parmi 87 personnes particulièrement contaminées, les quantités de césium incorporé s'échelonnèrent entre 1 kBq (27 nCi) et 1 GBq (27 mCi). La charge la plus élevée a concerné un enfant de 6 ans qui subit une dose engagée d'environ 6 Gy. Une trentaine de personnes ont reçu entre 0,1 et 1 Gy (dose vie). Le traitement par le Bleu de Prusse à fortes doses (jusqu'à 10 grammes par jour chez l'adulte et 3 grammes chez les enfants de moins de 10 ans) s'est révélé efficace, en réduisant les périodes biologiques d'un facteur allant jusqu'à 2.

6. Conclusions

Le retour d'expérience permet de classer les enseignements des accidents en quatre rubriques distinctes : diagnostic de l'accident, dia-

gnostic et pronostic de la maladie, traitement médical de la victime, gestion sanitaire de l'accident.

❖ *Diagnostic de l'accident*

Les cas où l'accident n'est reconnu que tardivement sont trop nombreux. Il est possible d'imaginer que des accidents comparables dans leurs circonstances de survenue aient pu passer inaperçus. Quel que soit le délai écoulé entre l'événement et sa découverte, le temps perdu est porteur de conséquences graves : accroissement du nombre de victimes, aggravation de leur état, difficultés de diagnostic et de traitement. La prévention est essentielle et doit porter à tous les niveaux : amélioration ou création de réglementations adaptées, formation du personnel et des responsables, volonté de transparence. Ces conditions qui relèvent du bon sens permettraient de réduire le nombre des sources qui deviennent anormalement accessibles à des personnes du public. Les efforts devront porter particulièrement sur le facteur humain, puisque la plupart des accidents incluent dans leurs arbres d'événements causaux des défaillances humaines comportant des violations graves des règles élémentaires de sécurité, qu'il convient de prévenir et d'empêcher.

❖ *Diagnostic de l'accidenté*

La gestion médicale d'un irradié ou d'un contaminé est délicate et relève de nombreuses spécialistes dont la coordination n'est pas toujours aisée. Le niveau de gravité n'est pas évident d'emblée s'il est basé sur les seuls critères médicaux. Les soucis quotidiens des médecins sont très éloignés des problèmes spécifiques posés par les accidents radiologiques. Seule une préparation attentive à ces accidents, qui sont trop rares pour pouvoir maintenir sous pression des équipes disponibles et performantes, peut éviter des erreurs graves d'appréciation.

❖ *Traitement de la victime*

Le choix du traitement des grands irradiés a soulevé des polémiques injustifiées. En effet un irradié n'entre jamais dans un cadre stéréotypé ; il constitue un cas particulier auquel un traitement particulier doit s'appliquer. Par exemple, le traitement des aplasies a bénéficié de progrès considérables depuis deux décennies ; les patients peuvent dépasser le stade de l'aplasie radioinduite mais sont menacés par la

défaillance d'autres organes et systèmes. Les moyens de faire face avec succès aux autres syndromes d'irradiation sont encore imparfaits et les efforts de recherches dans ces domaines doivent être poursuivis.

❖ *Traitement de l'accident*

Le retour d'expérience est particulièrement important. La gestion sanitaire d'un accident de grande ampleur impliquant un grand nombre de victimes, réelles ou potentielles, exige des moyens considérables. Une condition première à

la gestion convenable de telles crises est la prise de conscience de la dimension du problème par les autorités, qui doivent s'y préparer à tous les niveaux. L'expérience acquise montre que les aspects psychosociologiques peuvent prendre le pas sur les aspects médicaux ou même sanitaires, et la prise en compte de ces paramètres est indispensable. La liste serait incomplète si mention n'était faite de la communication, qui doit s'exercer dans toutes les directions et mettre en jeu tous les relais intéressés : autorités, médecins, experts, victimes, population et médias.

REFERENCES

- ☆ Agence Internationale de l'Energie Atomique
L'accident radiologique de Goiânia.
AIEA, Vienne, 1989.
- ☆ Bertelli L., Lipsztein J.L., Oliveira C.A.N. and Melo D.R., 1990
Internal ¹³⁷Cs contamination in the Goiânia, Brazil accident.
in : The medical basis for radiation accidents preparedness II ; clinical experience and follow-up since 1979. R.C. Ricks and S.A. Fry Eds., Elsevier, N-Y.
- ☆ Esco R., López P., Bellosta R., Baquedano J.E. and Mateo P., 1993
Accidental overirradiation syndrome.
Radiotherapy and Oncology, **28**, 177-178.
- ☆ Finkel A.J., Miller C.E. and Hasterlik R.J., 1967
Radium induced malignant tumors in man.
in : Delayed effects of bone seeking radionuclides. C.W. Mays, W.S.S. Jee, R.D.Lloyd, B.J. Stover, J.H. Dougherty and G.N. Taylor, Eds., University of Utah Press Public., 195-225.
- ☆ Klener V., Tuscany R., Vejlupekova J. and Dvorak J., 1986
Long-term follow-up after accidental γ irradiation from a ⁶⁰Co source.
Health Physics, vol. 51, n° 5 (November), 601-607
- ☆ Nénot J.C., 1981
Rapport médical
- ☆ Newman H.F., 1990
The malfunction « 54 » accelerator accidents 1985, 1986, 1987.
in : The medical basis for radiation accidents preparedness. II. Clinical experience and follow-up since 1979. R.C. Ricks and S.A. Fry Eds., Elsevier, N-Y.
- ☆ Secretaria de Energie, Minas e Industria Paraestatal
Accidente por contaminacion con cobalto-60, Mexico 1984.
CNSNS-IT-001, Comision Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, Septiembre 1985.
- ☆ Scalliet P., Gerbaulet A. and Dubray B., 1993
HDR versus LDR gynecological brachytherapy revisited.
Radiotherapy and Oncology, **28**, 118-126.
- ☆ Stannard J.N., 1988
Radioactivity and health. A history.
R.W. Baalman, Jr. Ed., Chap. 4 : Polonium and thorium, 234-267, Springfield.
- ☆ US NRC, US Nuclear Regulatory Commission, 1993
Loss of an iridium-192 source and therapy misadministration at Indiana regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992, NUREG-1480.