

# Accidents radiologiques : les retours d'expériences

ZERBIB J.-C.

Commissariat à l'Energie Atomique - Centre de Saclay  
91191 - Gif sur Yvette - France

- mars 1997 -

## RESUME

La grande majorité des bilans de situations accidentelles, pour lesquelles ont été observées des atteintes radiologiques graves, prend en compte des événements postérieurs à 1945. S'il n'existe qu'un seul registre mondial des accidents radiologiques et nucléaires (Oak Ridge), initié en 1975, plusieurs travaux d'auteurs ont été publiés depuis 1978.

Les critères d'enregistrement des accidents figurant dans ces différentes publications ne sont pas toujours semblables. Toutefois, les décès ainsi que les brûlures radiologiques graves accompagnées de sanctions chirurgicales sont pris en compte dans les divers bilans publiés.

Pour les périodes 1980-84 et 1985-89, le nombre de personnes impliquées dans des accidents mettant en jeu des sources scellées a augmenté très significativement par comparaison avec les périodes antérieures. Ceci est consécutif aux accidents de Juarez (Mexique) et de Goiânia (Brésil). De même, la prise en compte de l'accident nucléaire de Tchernobyl modifie de manière importante le bilan des décès et des atteintes sévères. Plusieurs travaux d'auteurs font l'objet d'une présentation.

S'agissant des accidents radiologiques impliquant des personnes du public, l'analyse des accidents publiés permet l'esquisse de scénarios "types" qui conduisent à des situations accidentelles graves, voire mortelles.

La récupération de matériaux conduit également, dans quelques cas, à des expositions chroniques plus ou moins importantes de personnes du public.

Ce risque mis récemment en évidence nécessite la mise en oeuvre de contrôles systématiques des matériaux destinés à des recyclages.

Depuis la découverte, en novembre 1895, du rayonnement X par le Dr. Roëntgen, des atteintes sévères de l'organisme, par des irradiations uniques ou répétées, ont jalonné l'histoire de l'utilisation de ces rayonnements.

## 1. Historique des situations accidentelles (1895 - 1945)

Les brûlures de la peau, allant parfois jusqu'à la **nécrose** de tissus profonds, étaient le fait de l'exposition des mains et des avant-bras à des générateurs électriques de rayonnement X.

En outre, des **cancers de la peau** étaient induits par l'irradiation répétée des extrémités. Le premier cas fut signalé, en 1902, à Hambourg, 7 ans après la découverte du rayonnement X. Il s'agissait d'un cancer professionnel : un homme de 33 ans, travaillant depuis 4 ans dans une fabrique de tubes à rayons X, testait sur sa main les appareils fabriqués.

Dans les années qui suivirent, plusieurs cancérisations survenues sur des radiodermites aiguës ou chroniques étaient signalées.

Lorsque le nombre d'atteintes sévères colligées était important, le taux moyen de dégénérescences malignes évalué variait entre 15 et 55% environ.

La découverte de Pierre et Marie Curie, le 6 juin 1898, d'un corps plus "actif" que l'uranium naturel, élément dont Henri Becquerel avait, deux mois auparavant, montré qu'il émettait un rayonnement pénétrant, devait également apporter, mais peut-être dans une moindre mesure, son contingent de brûlures radiologiques.

Les premières victimes de ces atteintes furent justement MM. Becquerel et Curie, qui décrivent d'ailleurs à l'Académie des Sciences en 1901 la brûlure accidentelle du premier par une source de radium 226 et l'exposition volontaire et douloureuse du second [BEC 01], [REI 79].

Les atteintes qui ont marqué, jusqu'en 1987, la découverte du rayonnement X, puis celle du **radium 226** furent nombreuses et sévères.

Leur recueil montre que les premières utilisations des rayonnements à des fins médicales, de recherches ou industrielles ont provoqué des atteintes professionnelles graves qui se traduisent, parfois plusieurs dizaines d'années après le début de l'exposition aux risques, par des cancers de la peau, mais également par des leucémies et des cancers de la thyroïde [EGG 93], [LAG 74], [LAC 69], [ZER 88], [ZER 93a].

Ces expositions professionnelles ont d'abord concerné, dans la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle, les réalisateurs de générateurs électriques de rayonnement, des médecins, des infirmiers et, tout particulièrement, des radiologues. Dans les années cinquante, cette liste des professions à risque s'est étendue aux dentistes et aux vétérinaires.

La plupart des bilans, publiés principalement depuis la fin des années 1970, sont relatifs aux accidents radiologiques et nucléaires<sup>1</sup>. C'est sur l'analyse de ces bilans, qui couvrent des périodes de temps variables débutant généralement vers 1945, que se fonde le "retour d'expérience".

## 2. Les bilans de situations accidentelles (1945 - 1993)

Le seul **registre mondial** des accidents radiologiques et nucléaires, appelé "United States Radiation Accident registry" est établi à Oak Ridge (USA).

Les autres bilans publiés concernent des travaux d'auteurs comme, par exemple :

- le répertoire des accidents radiologiques du Dr. Rodrigues de Oliviera [ROD 87],
- les différents bilans dressés par MM. Delpla, Dousset et le Dr. Jammet [DEL 78], [DOU 84], [DOU 86], [JAM 84],
- le bilan détaillé des surexpositions accidentelles effectué par le Dr. Nenot [NEN 92b],
- les bilans des victimes d'accidents nucléaires ou radiologiques, traitées à l'Institut Curie de Paris qui est l'un des Centres Internationaux de Radiopathologie reconnus par l'OMS [JAM 84], [JAM 81], [GON 83].

### 2.1. Le registre américain

Aux USA, tous les accidents radiologiques et nucléaires, survenus depuis 1944 dans le monde entier et ayant fait l'objet d'une publication, sont renseignés dans un registre particulier établi, depuis 1975, sous la responsabilité de l'AEC par le "Radiation Emergency Assistance Center / Training Site" - REAC/TS - situé à Oak Ridge [FRY 79], [LUS 79], [SAG 80], [LUS 88].

Des critères dosimétriques d'enregistrement sont fixés pour que l'accident figure au registre :

- dose efficace  $\geq 0,25$  sievert,
- dose équivalente délivrée à la peau  $\geq 6$  sieverts,
- dose équivalente délivrée aux autres tissus ou organes  $\geq 0,75$  sievert.

---

<sup>1</sup>Lorsque l'accident survient au moment d'une **réaction de fission** (auprès d'un réacteur nucléaire ou d'un assemblage critique par exemple) il s'agit d'un accident **nucléaire**. Si l'exposition accidentelle est due à une source radioactive ou à un appareil électrique générateur de rayonnement ionisant, l'accident est dit **radiologique**.

Dans la première publication du registre, 98 accidents étaient recensés à la date de septembre 1979. Ces accidents nucléaires ou radiologiques avaient concerné 562 personnes parmi lesquelles 306 avaient atteint ou dépassé un ou plusieurs critères justifiant l'enregistrement. Parmi les 16 décès dénombrés, 5 étaient consécutifs à des accidents de criticité, 9 à des expositions externes de l'organisme entier et 2 à des contaminations internes au plutonium.

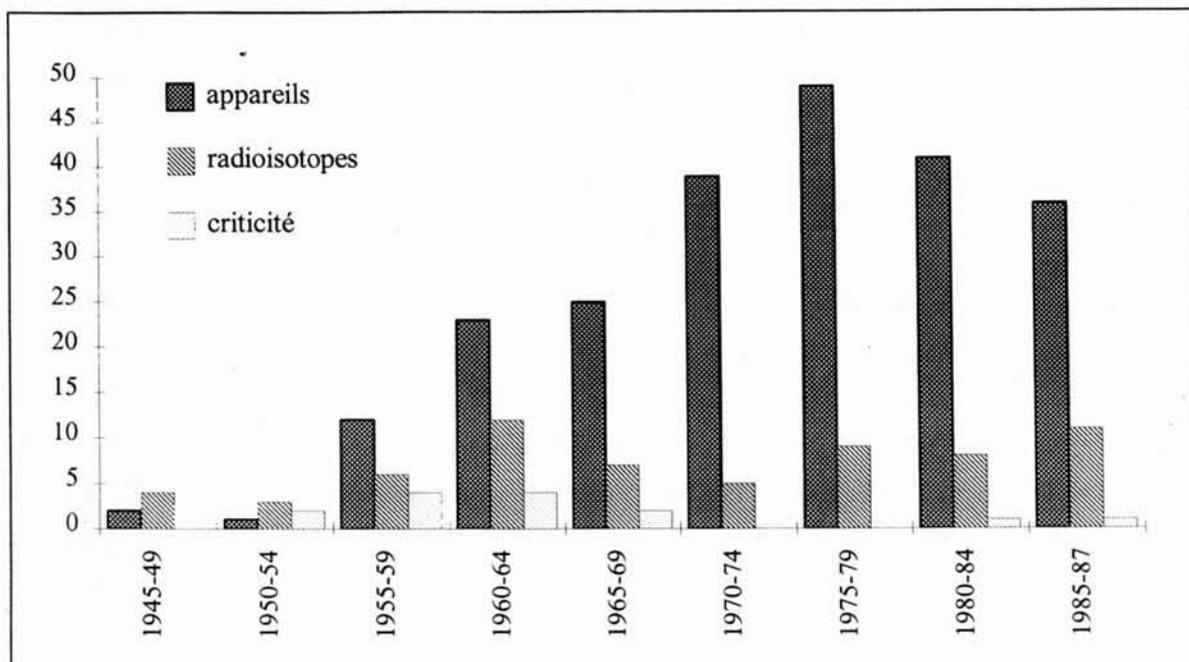
En 1988, la deuxième publication a montré l'augmentation importante des indicateurs, due aux cas dénombrés au cours des 9 années qui suivirent la première publication du Registre.

**Tableau I** : Bilans des accidents radiologiques et nucléaires - 1944/1988

Période considérée	1944 - 1979	1944 - 1988
Nombre d'accidents survenus dans le monde	98	296
Nombre de personnes impliquées	562	136 615
Nombre d'expositions supérieures aux critères	306	24 853
Nombre de décès	16	69
Sources :	[LUS 79] [SAG 80]	[LUS 88]

Les augmentations importantes observées entre 1979 et 1988 sont probablement liées à l'accident de Tchernobyl. L'augmentation du nombre de personnes impliquées semble correspondre à la population évacuée (135.000 selon les autorités soviétiques) des régions limitrophes du réacteur accidenté.

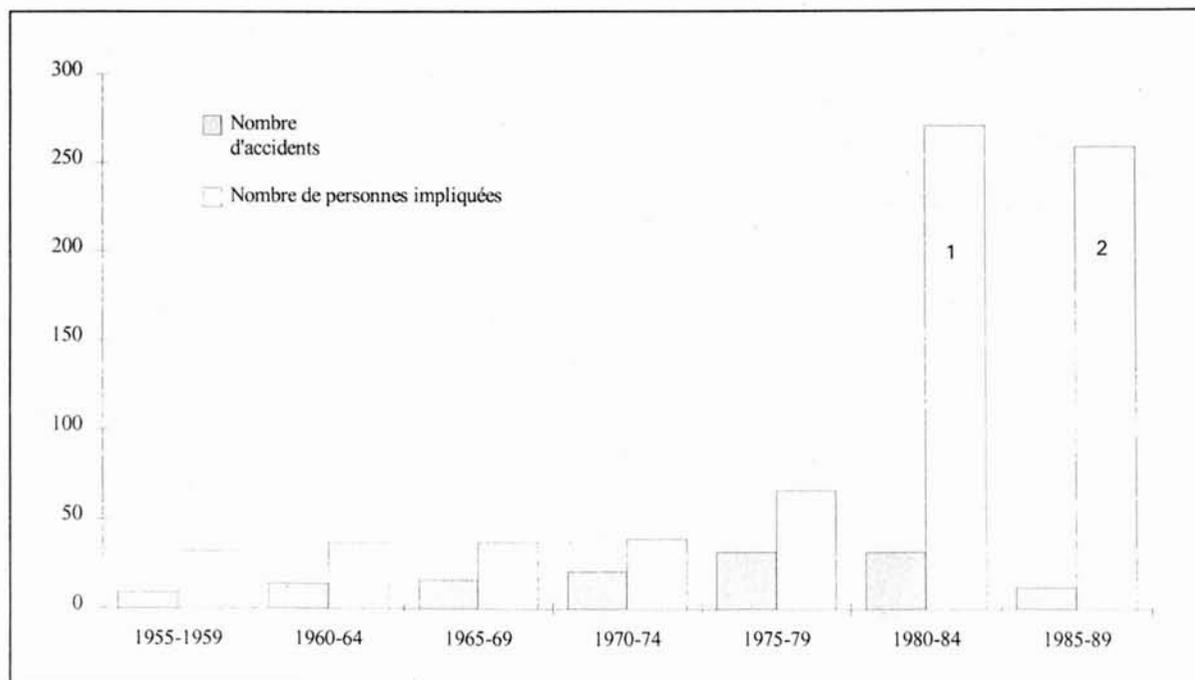
La figure 1 montre l'évolution du nombre **total** d'accidents survenus dans le monde entre 1945 et 1987, tel qu'il figure dans le registre d'Oak Ridge. Les accidents sont répartis en trois familles (criticité, radio-isotopes et appareils électriques générateurs de rayonnements ionisants) [LUS 88].



**Figure n°1** - Nombre total d'accidents survenus dans le monde.

Source : LUSHBAUGH (1988) - Registre US REAC/TS

La figure 2 regroupe les accidents survenus dans le monde uniquement avec des **sources scellées**.



**Figure n° 2** : Accidents dans le monde avec des sources scellées

(1) 270 personnes : accident JUAREZ (Mexique) source de cobalt 60

(2) 258 personnes dont 14 atteintes sévères et 4 décès : accident GOIANA (Brésil) source de césium 137 -

Source : LUSHBAUGH (1988) - Registre US REAC/TS

Deux augmentations significatives portent sur le nombre de personnes impliquées, lors d'accidents survenus au cours des deux périodes quinquennales 1980-84 et 1985-89. Elles sont relatives à deux accidents qui présentent des points communs :

- celui de décembre 1983 survenu au Mexique dans la ville de **Juarez** où des ferrailleurs récupèrent un appareil de téléthérapie muni d'une source de cobalt 60 ; lors de son démontage, le confinement de la source est rompu. Aucun décès n'est déploré du fait de l'étalement des doses sur deux mois environ ;
- celui de septembre 1987, survenu au Brésil dans la ville de **Goiânia** où 2 personnes démontent un appareil de téléthérapie muni d'une source de césium. Cette dernière est séparée de l'appareil abandonné depuis près de deux ans, dans des locaux en ruine. Son confinement est rompu. La source de césium provoquera des expositions externes et internes sévères. Cet accident très grave provoquera quatre décès.

Un résumé de ces deux événements est donné en Annexe I.

La publication la plus récente concernant des données partielles du Registre d'Oak Ridge a été faite par M. Cunningham (avril 1993). Elle porte sur le nombre d'accidents survenus dans le monde depuis 1978 [CUN 93].

**Tableau II** : Accidents radiologiques et nucléaires survenus dans le monde - 1978/1992

Type d'installation	Nombre d'atteintes sévères	Nombre de décès
Accélérateurs	34	15
Radio-isotopes	111	23
Criticité	1	1
Réacteur (Tchernobyl)	146	30
<b>Total</b>	<b>292</b>	<b>69</b>

## 2.2. Les bilans d'auteurs

Ces bilans prennent en compte, en général, des accidents considérés comme significatifs du fait de l'importance des doses délivrées ou des effets sanitaires observés : irradiations provoquant des brûlures radiologiques graves, accompagnées ou non de sanctions chirurgicales, ou de décès.

⇒ Parmi ces bilans on citera notamment l'important recueil du Dr. Rodrigues de Oliveira [ROD 87], qui intègre des données relatives à 299 références couvrant la période 1945-1985.

Les accidents importants retenus sont ceux qui ont provoqué des expositions globales ou localisées à des doses élevées telles que les victimes ont été contraintes à se soumettre à un traitement médical. Ces accidents sont classés suivant le type de sources ou d'appareils mis en jeu.

Nous retiendrons ici le bilan final qui constitue un point intermédiaire entre les deux publications du registre américain :

•	Nombre d'événements avec victimes	178
•	Nombre total de victimes	324
•	Décès :	27
	<i>Criticité</i>	9
	<i>Irradiations globales</i>	18
•	Survivants :	297
	<i>Criticité</i>	60
	<i>Irradiations globales</i>	88
	<i>Irradiations localisées</i>	176

⇒ Le bilan des "surexpositions accidentelles" du Dr. Nénot J.C. [NEN 92b] décrit, commente et analyse les accidents radiologiques et nucléaires. Les grandes familles d'accidents font l'objet d'un examen didactique : réacteurs nucléaires, assemblages critiques, sources de gammagraphie industrielle, accélérateurs linéaires, appareils de téléthérapie.

Les syndromes de l'exposition aiguë globale ou localisée sont également présentés. Ces données regroupent le nombre d'événements et de victimes provoqués par des accidents de criticité, des expositions globales ou localisées et par des expositions internes.

Des bilans ont également été présentés par M. Dousset et le Dr. Jammet en 1984 [DOU 84], [JAM 84]. Les accidents retenus concernent également ceux où les sujets atteints ont présenté un état justifiant des soins attentifs.

### ***2.3. Le bilan des accidents suivis par l'Institut Curie***

Le Centre International de Radiopathologie situé à Paris a pratiquement vu le jour en 1956, par la création du Service Clinique de Radiopathologie à l'Institut du radium, devenu par la suite l'Institut Curie. Cet Institut a été reconnu officiellement en 1980 par l'OMS.

En septembre 1981, les Dr. Jammet et Gongora présentaient un bilan portant sur 199 personnes accueillies à l'Institut entre 1956 et 1980 [JAM 81]. Le deuxième bilan publié en 1983 a montré que sur les 209 personnes admises à l'Institut, 60 (28,7%) ont présenté des **radiolésions aiguës** [GON 83]. La proportion pour chaque source à l'origine des expositions est la suivante :

• radium 226	⇒	1 cas/2	(50 %)
• X - (faible énergie)	⇒	4 cas/23	(17,4 %)
• X - cristallographie	⇒	22 cas/60	(36,7 %)
• Iridium 192	⇒	18 cas/63	(28,6 %)
• Cobalt 60	⇒	10 cas/45	(22,2 %)
• Césium 137	⇒	1 cas/2	(50,0 %)
• Electrons	⇒	3 cas/5	(60,0 %)
• Neutrons	⇒	1 cas/1	(100,0 %)
• Réacteurs expérimentaux	⇒	0 cas/7	
• Protons	⇒	0 cas/1	

#### ***2.4. Le bilan des atteintes radiologiques en France.***

Compte tenu du fait que les expositions aiguës localisées mettent quelques semaines ou quelques jours à s'exprimer cliniquement, le fait accidentel est souvent situé de manière imprécise dans le temps. Seule l'atteinte, lorsqu'elle s'est manifestée par des symptômes caractéristiques, témoigne de la réalité du fait accidentel. Pour éviter des contentieux administratifs et juridiques, le législateur français a classé les divers dommages provoqués par des expositions aiguës (ou chroniques) au tableau N°6 des "maladies professionnelles" du Régime Général de la Sécurité Sociale (environ 14,56 millions de salariés en 1991).

En utilisant les statistiques annuelles publiées par la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés - CNAMTS - il est possible de constituer le tableau N°III qui donne l'évolution du nombre de certaines atteintes provoquées par les rayonnements ionisants et les taux moyens d'incidences annuelles.

La figure 3 illustre ces évolutions. De 1968 à 1991 (dernières statistiques publiées), on observe qu'il y a, en moyenne, 3,8 radiodermes aiguës reconnues par an en France, au titre des "Maladies Professionnelles".

**Tableau III** : Evolution du nombre de maladies professionnelles radioinduites reconnues au "régime général"

Année	Nombre total d'affections reconnues	Nombre de radiodermites	Affections hématologiques irr aiguës	Nombre de leucémies
1968	18	5	4	9
1969	27	6	12	7
1970	14	3	2	5
1971	18	1	6	11
1972	16	6	4	6
1973	16	6	2	3
1974	19	4	2	8
1975	12	5	2	4
1976	11	3	1	5
1977	15	7	0	5
1978	18	6	3	5
1979	18	7	0	7
1980	17	6	2	3
1981	19	3	2	10
1982	20	6	2	9
1983	19	4	0	9
1984	12	1	2	5
1985	16	2	1	7
1986	17	1	3	5
1987	20	1	2	9
1988	20	4	1	5
1989	21	1	0	9
1990	15	2	1	7
1991	22	2	4	7
1992	17	0	1	3
1993	15	0	0	11
1994	21	0	2	10
Moyenn annuelle	17,5	3,4	2,3	6,8

Sources : Statistiques Nationales d'Accidents du travail"  
 Editeur : CNAMTS - 60, avenue du Maine - 75694 Paris Cedex

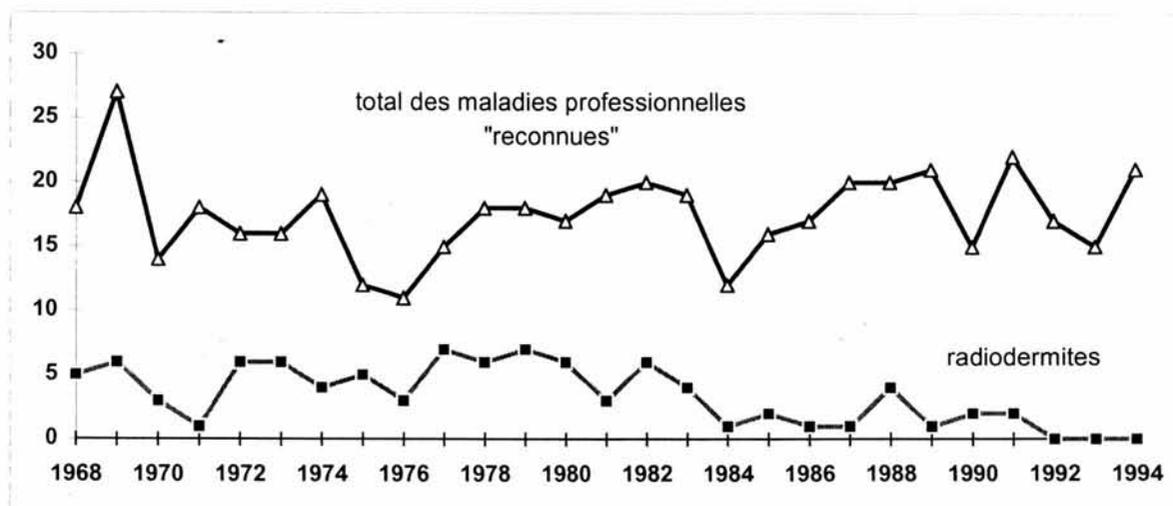


Figure n° 3 : Evolution du nombre de maladies professionnelles "radioinduites"

### 3. Les accidents impliquant des personnes du public

Exclusion faite des accidents survenus dans le monde médical, où l'on peut observer pour diverses causes accidentelles des "surdosages" qui se traduisent par des surexpositions localisées ou affectant l'organisme entier de patients en cours de traitement, il existe des atteintes radiologiques graves de personnes du public.

Ces accidents peuvent être regroupés suivant des scénarios "types".

#### 3.1. Les sources radioactives perdues

Les sources perdues qui occasionnent des accidents proviennent souvent de "gammagraphes" utilisés pour la radiographie des soudures. Le parc de ce type d'appareils a, en France, progressivement diminué au cours des 15 dernières années. De 1200 appareils en 1986 (dont 200 environ étaient journalièrement transportés sur route), le parc n'était plus constitué que de 850 gammagraphes en 1992, répartis chez 302 utilisateurs [CAN 86], [VID 93]. Les accidents déjà survenus dans le monde, principalement avec des sources d'appareils de gammagraphie, permettent de dégager deux types de cas :

##### 1<sup>er</sup> scénario-type

- Une source se désolidarise du câble qui permet la réintégration dans son conteneur ;
- Elle est ramassée, mise dans une poche, puis parfois, dans une autre poche ;
- La perte est signalée, la source retrouvée, l'exposition à mi-cuisse a duré 4 à 8 heures ;
- Les doses provoquent des nécroses de la peau, des tissus profonds, de l'artère fémorale ;
- L'évolution entraîne fréquemment une sanction chirurgicale.

Ce type d'accident est survenu au moins à deux reprises :

- le 3 mai 1968 à La Pate (Argentine), où un ouvrier soudeur qui avait mis dans ses poches de pantalon une source de césium 137 de 13 curies, a dû être amputé de la jambe gauche (6<sup>e</sup> mois) puis de la droite (8<sup>e</sup> mois) [DEL 78], [BEN 69].
- en 1979, à Montpellier, où un ouvrier a laissé 8 heures dans sa poche une source d'iridium 192 de 14 curies trouvée sur un chantier. Il a dû, après plusieurs interventions chirurgicales, être amputé de la jambe gauche du fait de l'atteinte sévère de l'artère fémorale (de l'ordre de 74 sieverts) [ROD 87], [DOU 84], [NEN 92b].

### 2<sup>e</sup> scénario-type

- Une source perdue est ramassée, puis emportée au domicile ;
  - Il y a alors une irradiation de longue durée d'un grand nombre de personnes.  
Les nausées et vomissements des victimes font que l'on soupçonne d'abord un empoisonnement. Plusieurs semaines peuvent se passer avant que l'on ne découvre la raison réelle des atteintes. Aussi, ce scénario entraîne souvent un nombre important de victimes et des atteintes mortelles :
- A Mexico, le 21 mars 1962, un enfant de 10 ans rapporte un petit cylindre de métal. Sa mère le place dans le tiroir d'un buffet de cuisine. C'est une source de 5 curies de cobalt 60. L'exposition entraîne 4 décès, dont la mère qui est enceinte. Seul le père survit du fait de ses absences pour se rendre à son lieu de travail. [DEL 78], [CFD 80].
  - En Chine, en 1963, un enfant rapporte une source de cobalt 60 à la maison : deux personnes sur six décèdent. [NEN 92b], [YEG 79].
  - A Sétif, en Algérie, au début de mai 1978, deux petits garçons jouent avec un petit cylindre de métal avant que la grand-mère ne l'emporte à la maison : c'est une source d'iridium 192 de 17 curies. Pendant 5 à 6 semaines, durant 6 à 8 heures par jour, 22 personnes seront exposées, 7 parmi elles à de fortes doses. La reconstitution a été conduite par l'IPSN/CEA et les personnes hospitalisées à l'Institut Curie. Seule la grand-mère décédera. Les deux enfants et quatre jeunes femmes exposées à des doses supralétales survivront du fait de l'étalement des doses sur plusieurs semaines. [CFD 80], [JAM 79a], [JAM 79b].

- Dans la banlieue de Casablanca (Maroc), à la fin mars 1984, une source de 28 curies d'iridium 192 qui s'est désolidarisée du câble d'un gammagraphe, est ramassée par un ouvrier qui la place sur la table de chevet de la salle familiale. En quelques semaines plusieurs décès se succèdent. Les recherches s'orientent vers un empoisonnement. Ce n'est que le 10 juin 1984 que les autorités marocaines soupçonnent une exposition aux rayonnements et demandent l'aide des autorités françaises. La source est récupérée par le SCPRI le 11 juin. Il y a eu, au moins, 8 décès parmi lesquels toute une famille a été décimée (père, mère enceinte et 4 enfants) [SCP 86].
- En décembre 1992, dans la province chinoise de Shanxi, un homme de 29 ans trouve une petite bille métallique dorée. Il la met dans la poche et l'apporte chez lui. C'est une source de cobalt 60. Atteint de vomissements, de toux, de troubles respiratoires, perdant ses cheveux, il est hospitalisé. Au bout de 2 semaines il décède. Son frère et son père, restés auprès de lui durant l'hospitalisation, décèdent la semaine suivante. La source a également exposé 90 personnes à l'hôpital. Parmi elles, cinq personnes ont reçu des doses importantes (Source : AIEA - février 1993)

### ***3.2. La récupération de matériaux***

Dans ce cas également, un scénario-type se dégage.

#### *3<sup>e</sup> scénario-type*

- Des ferrailleurs récupèrent directement ou indirectement des appareils renfermant des sources radioactives.
- La multiplicité des matériaux constituant la tête d'irradiation (fer, acier inoxydable, plomb) les conduit à démonter les mécanismes et à mettre la source à nu.

C'est la situation précédemment décrite, rencontrée à Juarez et à Goiânia (Annexe I).

Les graves conséquences sanitaires comme les difficultés d'assainissement rencontrées à Goiânia sont liées au fait qu'il s'agissait d'une source de césium 137 dont la résistance mécanique est médiocre, à l'inverse du cobalt 60 qui se présente généralement sous forme de petites billes métalliques.

Cependant, des scénarios tels que celui de Juarez (1983) qui conduisent à mêler accidentellement des sources radioactives, plus ou moins intenses, à des ferrailles recyclées, ne sont pas des événements isolés. La probabilité de survenance de tels accidents peut augmenter avec l'usage croissant des sources radioactives à usages industriels ou médical.

C'est ainsi par exemple :

- qu'aux USA, un article paru en octobre 1993 dans une Revue Technique Spécialisée révèle 6 cas de contaminations survenues en deux ans dans 5 aciéries américaines, dues probablement à la fusion d'appareils renfermant une source radioactive [BEI 93].
- qu'à Taiwan, des constructions utilisant des barres d'acier précontraint contaminées par du cobalt 60 ont été découvertes en 1992 (Annexe 1) [SAT 93], [YUL 93].
- qu'en septembre 1993, on découvrait dans le port de Rotterdam la contamination de la cargaison d'un cargo sud-africain (16,2 t d'acier) faisant route vers le Royaume-Uni. Une enquête conduite en Afrique du Sud par le Conseil de la Sécurité Nucléaire - CNS - révélait alors que huit Compagnies exploitant une vingtaine de mines d'or et d'uranium vendaient depuis plusieurs années, du métal contaminé, à des niveaux plus de 100 fois supérieurs aux valeurs légales nationales, à des ferrailleurs (dépêche AFP du 29/09/93). Le CNS a fait fermer les deux entreprises qui avaient fourni le métal contaminé saisi sur le cargo.

Un effort important est donc à porter, tant sur la récupération systématique des sources radioactives devenues sans emploi, que sur le contrôle des métaux récupérés qui entrent dans une aciérie en vue de leur recyclage.

Un cas inhabituel de contamination de métal précieux s'est déroulé à New York dans les années cinquante. Il s'agissait d'or, ayant servi à contenir du radium 226, recyclé en bijouterie. En 1981, l'identification de 170 bijoux contaminés a permis de constater des radiodermites chez neuf personnes qui avaient porté ces objets en moyenne 17 ans. En 1989, sur trois nouvelles bagues découvertes, deux avaient provoqué des cancers cutanés aux doigts [PET 92].

#### **4. Les accidents de criticité.**

Avant l'accident de Tchernobyl, le bilan des accidents relatif à la période 1945-85, dressé par le Dr. Rodrigues de Oliviera [ROD 87], montre que les accidents de criticité, qui constituent la catégorie d'accidents la moins nombreuse, ont entraîné le tiers des décès recensés (9 sur 27) suite à tous les accidents, quelles que soient leurs causes. Ceci est dû au fait qu'en atteignant accidentellement la "masse critique" en milieu aqueux avec, par exemple, du plutonium, l'intense bouffée de particules "gamma" et "neutron" émise est telle qu'une dose mortelle est délivrée en quelques secondes à tout individu se trouvant à moins de 8 mètres environ du point "source".

#### **5. Conclusions**

Au lendemain de la découverte des rayonnements X, en novembre 1895, des brûlures radiologiques sévères accompagnées parfois de dégénérescences tardives furent observées dans le monde entier et décrites dans des revues médicales spécialisées.

Les atteintes ont concerné presque exclusivement des professionnels parmi lesquels se trouvaient les fabricants de tubes à rayonnements X, des médecins, des infirmiers, des chirurgiens, des radiologues. Une soixantaine d'années plus tard, les dentistes et les vétérinaires complètent cette liste des métiers à risque.

Le radium 226 découvert peu après les rayonnements X a apporté également, bien que dans une moindre mesure, son cortège d'atteintes liées à des expositions localisées ou générales (surtout par contamination interne).

Les bilans des situations accidentelles liées à l'utilisation de sources radioactives, d'appareils électriques générateurs de rayonnement ionisant ou d'assemblages "critiques" ne prennent généralement en compte que les situations décrites après 1945.

Hormis le bilan mondial des accidents radiologiques et nucléaires effectué aux Etats-Unis dans le Centre d'Oak Ridge, la plupart des informations regroupées et structurées sont relatives à des travaux d'auteurs. Il serait très utile que des Organismes publics se saisissent de ces travaux afin de pérenniser la fonction, de faire vivre ces bilans, d'améliorer la prévention fondée sur le "retour d'expérience".

Les différents bilans présentés montrent, depuis 1979, une augmentation générale du nombre d'accidents recensés, des victimes impliquées, ainsi que des décès observés dans le monde industriel, médical et de la recherche. Ils résultent probablement d'une utilisation des sources de rayonnements qui s'est généralisée notamment dans le monde industriel et médical. Ces augmentations du nombre d'accidents et de victimes déclarés pourraient être également induites en partie par une publication plus généralisée des situations accidentelles, qui surviennent dans le monde.

Les accidents les plus graves, pour lesquels des scénarios types peuvent être dégagés, arrivent lorsqu'une source radioactive est égarée ou que des ferrailleurs tentent de récupérer les matériaux nobles qui entourent la source d'un irradiateur abandonné par un utilisateur négligent.

Ces accidents graves, dont la plupart auraient été facilement évités, se produisent encore. Ils peuvent survenir dans tous les pays, quel que soit leur degré d'industrialisation.

Un plus grand respect de la Réglementation existante, portant sur les déclarations d'achat, de cession ou de vente, la formation et l'information des personnels intervenants, la mise en œuvre des contrôles des sources et appareils, et tout particulièrement la mise hors service des sources radioactives, permettraient de réduire significativement le nombre et la gravité des accidents.

Par ailleurs, le contrôle de la radioactivité des matériaux qui arrivent chez les ferrailleurs et de ceux qui sont dirigés dans les fonderies de métaux de récupération, constituerait un moyen de lutte efficace contre ces types d'accidents.

# Annexe

<p style="text-align: center;"><b>LES ACCIDENTS RADIOLOGIQUES DE JUAREZ (Mexique) ET DE GOIANIA (Brésil)</b></p>
--

## 1. JUAREZ

Vers le 6 décembre 1983, au Mexique, dans la ville de Juarez (1 million d'habitants environ), une source de cobalt 60 de 16,65 TBq (450 Ci) équipant une source de téléthérapie est accidentellement endommagée, au moyen d'un tournevis, par des ferrailleurs qui ignoraient le caractère radioactif de ce matériau.

La source, constituée d'environ 6 000 petites pastilles de cobalt 60 (d'environ 75 mCi chacune), va égrener son contenu dans la camionnette qui sert à son transport (60 Ci), sur les routes et chemins parcourus (6 Ci), dans l'enclos du ferrailleur (148 Ci).

Les faits ne furent connus, par hasard, que le 16 janvier 1984, lorsqu'un camion chargé de "fer à béton" (contaminé dans la masse par le cobalt 60) franchit l'entrée, munie d'une balise de détection, du Centre Nucléaire Militaire de Los Alamos.

Les fonderies où la ferraille avait été apportée ont produit environ 500 tonnes de "fer à béton" contaminé à des degrés divers.

Une recherche (au moyen d'un hélicoptère muni de détecteurs à cristal d'iodure de sodium) portant sur 17 Etats du Mexique et aux USA, a permis le contrôle de 17 000 maisons et bâtiments<sup>1</sup>. Les niveaux d'exposition trouvés dans 814 d'entre eux (65 Ci) nécessitèrent des destructions partielles ou totales.

Sur le plan sanitaire, on estime à environ 4 000, le nombre de personnes exposées :

- 3 200 personnes ont reçu des doses efficaces inférieures à 5 millisieverts,
- 720 des doses comprises entre 5 et 250 millisieverts,
- 73 des doses comprises entre 0,25 et 3 sieverts,
- 5 personnes exposées entre 3 et 7 sieverts.

<sup>1</sup> A cet effet, 679 km<sup>2</sup> ont été quadrillés par des mesures effectuées à 90m de hauteur suivant des lignes de vol espacées de 180m, ce qui correspondait à une limite de détection comprise entre 1,5 et 5 millicuries.

La dosimétrie biologique conduite sur 300 individus a permis d'évaluer les doses reçues les plus élevées (mesure du taux d'aberrations chromosomiques).

Aucun décès n'est déploré du fait de l'étalement des doses sur deux mois environ, bien que l'on ait atteint, voire même franchi, le niveau de dose létale.

**Sources :** [NEN 92b], [BUR 88], [MOL 89], [VAL 88].

## 2. GOIANIA

Au Brésil, vers la fin de l'année 1985, une clinique privée de radiothérapie, primitivement installée dans l'un des quartiers les plus pauvres de la ville de Goiânia (environ 1 million d'habitants), emménage dans de nouveaux locaux. Les responsables de la clinique transportent l'appareil muni d'une source de cobalt 60 et laissent sur place un appareil de téléthérapie équipé d'une source de césium 137. Les locaux sont partiellement détruits, ainsi que certains immeubles voisins, et laissés à l'abandon. Les salles de thérapie, compte tenu de leurs murs de béton, ne sont pas détruites mais tombent en ruine et semblent même avoir servi de refuge à des vagabonds.

Près de deux ans après, le 13 septembre 1987, deux personnes se rendent sur les lieux abandonnés et tentent, au moyen d'outils rudimentaires, de démonter l'appareil afin d'en revendre certaines parties à un ferrailleur. Elles ignorent tout du risque radiologique qu'elles encourent.

Après avoir retiré de la tête d'irradiation de l'appareil, le "barillet" en acier inoxydable qui renferme la source, elles l'emportent dans une brouette à 500 mètres de là. L'activité de la source est de 50,9 TBq (1 375 Ci). Elle délivre, à un mètre, un débit de dose de 4,56 grays par heure.

Les deux intervenants sont pris de vomissements qu'ils attribuent à ce qu'ils ont mangé. Le lendemain, l'un d'eux a des diarrhées, des vertiges et un oedème à la main. Un médecin consulté attribue ces symptômes à des manifestations allergiques. La deuxième personne tente, le 18 septembre 1987, d'extraire la source du barillet et perce, avec un tournevis, l'enveloppe de la source.

Les fragments du barillet sont vendus à un ferrailleur qui observe le soir une lueur bleue (due vraisemblablement à "l'effet Cherenkov") qui émane de la source. Il emporte alors la source chez lui et en distribue de petits fragments de la taille de grains de riz à des amis. Plusieurs d'entre eux vont s'enduire la peau de cette substance scintillante..

Dans les jours qui suivent, plusieurs personnes présentent des troubles intestinaux dus à leur exposition aux rayonnements.

Convaincue que ses malaises sont dus à la poudre mystérieuse, la femme du ferrailleur, aidée d'un employé, apportera la source au docteur de la "Vigilancia sanitaria". Ces deux personnes sont dirigées par le docteur vers un hôpital pour maladies tropicales où se trouvent déjà d'autres personnes contaminées.

Les soupçons d'une irradiation commencent à naître. Un docteur contacte un confrère du Département de l'Environnement, lequel consulte le lendemain un ami physicien médical de passage à Goiânia. Muni d'un scintillomètre, équipé d'une sonde gamma, utilisé pour la recherche des gisements d'uranium, ce physicien découvre, dans l'après-midi du 28 septembre 1987, des zones contaminées importantes.

Le physicien arrive, non sans mal, à convaincre d'une part le ferrailleur, sa famille et ses voisins de quitter les lieux, d'autre part, les autorités sanitaires très sceptiques, à intervenir rapidement.

Par sa force de conviction et son courage, ce physicien bénévole a permis, grâce aux évacuations qu'il a assurées de son propre chef, et à la mise en oeuvre d'une série d'actions de sauvegarde qu'il a conduites en étant relayé par les Autorités, à réduire l'impact sanitaire de ce grave accident.

La femme du ferrailleur (38 ans) et sa nièce âgée de 6 ans (qui a manipulé et ingéré de la poudre) décéderont le 23 octobre 1987. Les 27 et 28 octobre 1987, deux employés du ferrailleur, âgés de 22 et 18 ans, décédèrent à leur tour des suites d'atteintes multiples sévères (contaminations internes, irradiations externes globales et localisées ayant entraîné des nécroses).

Du 30 septembre au 22 décembre 1987, environ 112 800 personnes ont été contrôlées, parmi lesquelles 249 avaient une contamination interne **ou** externe. Pour 129 d'entre elles, la contamination était à la fois interne et externe.

Au total, 49 personnes ont été hospitalisées. Parmi elles, 10 étaient dans un état critique qui a entraîné les quatre décès et l'amputation d'un bras.

**Sources :** [NEN 92b], [VAL 88], [AIE 89].

### 3. T'AI-PEI

A la mi-août 1992, un journaliste du "Liberty Times" de Taiwan reçoit une lettre anonyme selon laquelle un building de la ville de T'ai-Pei, capitale de Taiwan (2,5 millions d'habitants), comporte des structures métalliques contaminées. Il publie alors un article accompagné d'une photo de la route de Long Chiang.

Les locataires d'un immeuble figurant sur la photo saisissent alors la Commission à l'Energie Atomique (AEC) taiwanaise. L'AEC déclare qu'il ne s'agit que d'une rumeur et invite les résidents à faire appel à un organisme privé s'ils souhaitent vraiment poursuivre leurs investigations. Le journaliste du "Liberty Times" se rend alors sur les lieux (21/08/92) muni d'un détecteur. Il détecte alors, dans les halls et ascenseurs d'un bâtiment abritant des bureaux et appartements, des niveaux d'activité aisément mesurables. L'AEC évaluera que 34 appartements sur 70 entraînent, en 1992, une exposition moyenne égale ou supérieure à 15 millisieverts par an (maximum atteint avec 70 mSv/an). Comme la construction a été réalisée 9 ans auparavant, des doses moyennes annuelles plus importantes ont été délivrées par la contamination au cobalt 60. Le calcul montre que la dose délivrée à un locataire résidant depuis 1983 dans l'immeuble atteint 240 mSv dans l'hypothèse d'une dose de 15 mSv/a pour la 9<sup>e</sup> année.

L'AEC a distribué plus de 5 000 détecteurs au fluorure de lithium afin d'évaluer le nombre de bâtiments construits en 1983 avec des parties métalliques contaminées. Le dépouillement des détecteurs a montré que 50 bâtiments étaient dans ce cas. La liste de 10 d'entre eux a été rendue publique.

**Sources :** [SAT 93], [YUL 93].

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [AIE 89] *"L'accident radiologique de Goiânia"* - Rapport AIEA - Vienne - (1989).
- [BEC 01] Becquerel H. et Curie P. - *Compte rendu des Séances de l'Académie des Sciences* - **132**, pp. 1289-1291 (1901)
- [BEI 93] Beirne M. *"Chaptal melt "hots" on in scrap"* - American Metal Market - October 19, (1993)
- [BEN 69] Beninson D., Placer A., Vanderelst - in *"Handling of radiation accidents"* - AIEA, Vienne, (mai 1969)
- [BUR 88] Burson Z., Lushbaugh C.C. *"Medical Basis for Radiation Accident Preparedness"* October 20-22, 1988 Edit : Elsevier pp. 89-107 - (1990) -
- [CAN 86] Candiotti J. *Radioprotection*, **21**, N°3, pp 203-211, (1986).
- [CFD 80] Syndicat CFDT de l'Energie Atomique *"Le dossier Electronucléaire"* Ed. Le Seuil, pp.(125-129 et 302-309).
- [CUN 93] Cunningham R.E., Mc Kenney 4e Séminaire scientifique européen sur *"l'Optimisation de la protection radiologique"* 20-22 avril 1993 - Luxembourg.
- [DEL 78] Delpla M., Fourgous J.M. *"Accidents et incidents nucléaires"*. Edit.: EDF, 3, rue de Messine, 75008 Paris - Janvier 1978.
- [DOU 84] Douset M., Jammet H. Symposium sur les *"Irradiations accidentelles et thérapeutiques"* Juin 1984 à Créteil - Edité par Galle P., Masse R., Nenot J.C.
- [DOU 86] Douset M., Jammet H. Séminaire Luxembourg - 19-21 février 1986. Rapport EUR 11 370 FR édité par la Commission de la Communauté Européenne.
- [EGG 93] Eggermont G.X. - *Annales de l'Association belge de Radioprotection* - **18**, n°3, pp. 171-197, (1993)
- [FRY 79] Fry S.A. *Medical Basis for Radiation Accident Preparedness"* October 18-20, 1979, Oak Ridge - USA Edited by Elsevier North Holland, New York, pp(3-15) - 1980.
- [GON 83] Gongora R., Jammet H. *Radioprotection*, **18**, N°3, pp(139-154), 1983.
- [JAM 79a] Jammet H. ". *Bulletin Académie Nationale de Médecine*, **163**, N°2, pp(1441-1460).
- [JAM 79b] Jammet H., Gongora R., Jockey P., Zucker J.M. *International Conference of "Medical Basis for Radiation Accident Preparedness"* October 18-20, 1979, Oak Ridge - USA Edited by Elsevier North Holland, New York, pp(129-145) - 1980.
- [JAM 81] Jammet H. Et Gongora R. 3ème congrès de l'Association Italienne de Radioprotection Médicale - Saint Vincent (Italie) - 13/15 septembre 1981 - Ed. Ernesto Strambi (Italie).
- [JAM 84] Jammet H., Douset M. *Radioprotection*, **19**, N°4, pp(269-274), 1984.
- [LAC 69] Lacassagne A. *Radioprotection*, **3**, n° 4, pp.(305-310) - 1969.

- [LAG 74] Lagrot F. *"Radiodermes des mains"* DOIN Editeur, Paris 1974 (231 pages).
- [LUS 79] Lusbaugh C.C., Fry S.A., Hubner K.F., Ricks R.C. "Medical Basis for Radiation Accident Preparedness" October 18-20, 1979, Oak Ridge - USA Edited by Elsevier North Holland, New York, pp(3-15) - 1980.
- [LUS 88] Lusbaugh C.C., Ricks R.C, Fry S.A. Radiation protection in Nuclear Energy. **2/3**, pp(401-409) AIEA Conference, April 1988.
- [MOL 89] Molina G. International Symposium on "Recovery operations in the event of a nuclear accident or radiological emergency". AIEA - Vienne - 6-10 November 1989.
- [NEN 92b] Nenot J.C. *"Les surexpositions accidentelles"* Rapport DPHD/93-04, 63 pages, Novembre 1992 Editeur : CEA-IPSN - Fontenay aux Roses
- [PET 92] Petterson B.G. AIEA , **3**, pp. 19-23, (1992)
- [REI 79] Reid Robert *"Marie Curie derrière la légende"* Editions du Seuil - Collection "Points Sciences" - 1979.
- [ROD 87] Rodrigues De Oliviera. A. Radioprotection, **22**, n° 2, pp(89-135), 1987.
- [SAG 80] Sagan L.A. and Fry S.A. Nuclear Safety, **21**, N°5, pp(562-569), September-October 1980.
- [SAT 93] Sato N. *"Radioactive contaminated buildings in Taiwan"* - Nuke Info Tokyo, N°36,(July/August 1993)
- [SCP 86] SCPRI Rapport d'activité du SCPRI - 1984 pp(73-76) - 1986.
- [VAL 88] Valverde N.J., Cordeiro J.M., Oliviera A.R., Brandao-Mello "Medical Basis for Radiation Accident Preparedness" October 20-22, 1988. Edit : Elsevier pp.89-107 - (1990)-
- [VID 93] Vidal H. Séminaire SFRP sur la "Sécurité des sources radioactives scellées et des générateurs électriques de rayonnements" - Saclay (9 et 10 juin 1993)
- [YEG 79] Ye Gen-Yao, Liu Yong, Tien Nue, Chiang Ben-Yun, Chien Feng-Wei, Xiae Chien-Ling "Medical Basis for Radiation Accident Preparedness" October 18-20, 1979, Oak Ridge - USA Edited by Elsevier North Holland, New York, pp(81-89) - 1980.
- [YUL 93] Yu-Ling W. *"Residents : Unprecedented radiation exposure attracts international attention"* in "Nuclear Report from Taiwan", **1**, N° 5, 4-6, (September - October 1993)
- [ZER 88] Zerbib J.C. - Colloque "Nucléaire - Santé - Sécurité" - Montauban (janvier 1988)
- [ZER 93a] Zerbib J.C. - Séminaire SFRP sur la "Sécurité des sources radioactives scellées et des générateurs électriques de rayonnements" - Saclay (9 et 10 juin 1993)