



## **ACCIDENT GRAVE PAR UNE SOURCE INDUSTRIELLE D'IRIDIUM 192 AU PEROU <sup>1</sup> EN FEVRIER 1999**

### **Le point trois mois plus tard**

**Jean-Claude Nénot**  
**Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire**

[I1][I2]

#### **Circonstances**

L'accident a eu lieu le 20 février 1999, à la station hydroélectrique de Yanango (district de San Ramon, département de Junin), située à environ 300 kilomètres à l'est de Lima, dans la jungle. Vers 15 heures, un ouvrier soudeur ramasse une source radioactive d'iridium avec sa main droite et la place dans sa poche arrière de pantalon. Ce pantalon est un jean assez large et flottant, aux dires de l'ouvrier. Ce dernier continue ensuite son travail pendant 6 heures dans un tuyau de 2 mètres de diamètre. Au cours de ce travail, il assure être resté en position assise pendant 3 heures. Vers 21 heures, il ressent une douleur au niveau de la partie postérieure de sa cuisse droite. Il quitte alors son travail vers 22 heures et rentre chez lui. Son épouse constate un érythème. Un avis médical conclut à une piqûre d'insecte. Pendant sa consultation, son épouse reste assise et accroupie sur le pantalon déposé sur le sol et contenant encore la source, alors qu'elle donne le sein à son dernier enfant, âgé de un an et demi. Durant cette période, les deux autres enfants du couple, un garçon et une fille âgés de 7 et 10 ans, vaquent dans la pièce.

C'est en discutant avec son épouse que l'ouvrier se souvient de l'objet qu'il avait dans sa poche ; il l'en extrait avec sa main droite et l'emmène dans une pièce à l'extérieur de la maison, réservée aux ablutions familiales. Pendant le même temps, l'équipe de radiographie constate que la caméra ne peut plus prendre de cliché et s'aperçoit de la disparition de la source. Une recherche est immédiatement entreprise aux domiciles des différents soudeurs. C'est vers une heure du matin le 21 février, soit environ 10 heures après le début présumé de son irradiation, que les enquêteurs localisent le soudeur responsable ; ce dernier va chercher la source dans la pièce où il l'avait entreposée et la ramène à la main, en prenant la précaution de l'envelopper dans du papier en raison des dangers qu'elle pouvait présenter (cet ouvrier n'avait aucune raison d'être informé sur les risques réels liés au maniement de la source, puisqu'il n'était pas impliqué dans les contrôles radiographiques). D'après la victime, la durée totale de la présence de la source dans sa main droite est estimée entre 4 et 5 minutes.

#### **Actions entreprises par les responsables**

Les dirigeants de l'entreprise hydroélectrique avisent les autorités péruviennes sans perdre de temps. Celles-ci demandent le transfert de la victime à Lima dans le Centre Anticancéreux, qui constitue l'hôpital désigné pour le traitement des irradiés. Le 16 mars 1999, le Directeur de l'Institut péruvien de

<sup>1</sup> d'après le projet de rapport du Pr F. Mettler à l'AIEA, suite à sa consultation du 19 mars 1999, et la reconstitution dosimétrique par calcul pratiquée par l'IPSN le 15 avril 1999.

l'Energie Atomique informe l'AIEA, puis requiert une assistance médicale, en rapport avec la surexposition de plusieurs personnes. Les autorités péruviennes demandent aussi une expertise dosimétrique, sur la base de celle qui avait été faite par les physiciens locaux. Lors de la notification faite à Vienne, l'auteur de cette note était en mission à Vienne en compagnie de Robert Ricks, directeur de REAC/TS (Oak Ridge, USA) ; une estimation rapide de la gravité et des actions à entreprendre a ainsi pu être fournie immédiatement à l'AIEA. Cette dernière a alors demandé au Pr. Fred Mettler, de l'Université du Nouveau Mexique, à Albuquerque, particulièrement compétent dans le domaine des affections radioinduites, de se rendre sur place, accompagné de Robert Ricks, qui dispose à Oak Ridge de moyens de dosimétrie physique et biologique. Ce dernier s'est fait assister d'un jeune médecin spécialiste en dosimétrie.

### Evolution clinique

Dès 21 heures le jour même de l'accident, la victime, âgée de 37 ans et pesant 78 kg, se plaint de nausées, d'intensité modérée, sans vomissements. Son transit digestif est resté quasi normal. Il ne se sent pas fébrile. C'est au cours de la soirée que l'érythème de la cuisse est constaté. Lorsque l'accident est reconnu à une heure le lendemain matin, rendez-vous est pris au National Cancer Institute, qui reçoit la victime vers 18 heures. Lors de l'examen clinique, l'érythème est discret et aucune lésion n'est apparente au niveau des mains. Un traitement antibiotique est immédiatement instauré ainsi qu'un antalgique.

Quatre jours après l'accident, une poussée d'épithélite aiguë apparaît au centre de la zone érythémateuse, de 4 cm de diamètre. Des phénomènes inflammatoires importants se développent au niveau de sa cuisse droite, lui conférant un volume impressionnant. L'examen au scanner, pratiqué le cinquième jour, confirme cet oedème profond et superficiel ainsi que l'infiltration de tous les muscles de la cuisse. La partie la plus touchée par ce phénomène réside au niveau de l'épithélite, et localise avec précision l'endroit où se trouvait la source, entre 10 et 20 cm de l'articulation de la hanche.

L'oedème régresse progressivement et, une semaine après l'accident, la cuisse retrouve son volume normal. A ce moment, la partie centrale de la lésion se dénude et les tissus apparaissent nécrotiques.

Au 23<sup>ème</sup> jour, le patient se plaint de sensations d'engourdissement de la zone irradiée et d'hypersensibilité de la partie inférieure de la jambe. Deux jours plus tard, il rapporte des sensations anormales dans ses orteils.

Le 19 mars (27<sup>ème</sup> jour), le patient accuse une perte de poids de 7 kg. Le même jour, l'équipe médicale mandatée par l'AIEA constate l'état précaire de la victime, avec une lésion nécrotique de 10 x 10 cm, apparemment non infectée, avec perte de substance sur 2 cm de profondeur. Les tissus graisseux sous-cutanés sont aussi nécrosés et le muscle est visible au fond de la lésion. La lésion est entourée d'une bordure noirâtre, indurée. La pilosité est conservée sur les deux jambes, et des poils sont visibles à courte distance du pourtour de la lésion ; ils résistent à l'arrachement à une distance de 14 cm du centre. La douleur est vive, et oblige le patient à demeurer couché sur le côté gauche. De plus, il existe une légère modification cutanée de la main droite, qui semble en voie de résorption ; le patient signale avoir eu un oedème modéré et quelques suintements au niveau de l'extrémité de ses doigts, sans desquamation ni nécrose. L'évolution hématologique au cours du premier mois s'est traduite par une leucopénie qui a atteint son niveau le plus bas au huitième jour, ainsi qu'une neutropénie à la limite de la normale. Ces éléments sont revenus à la normalité après un mois environ. Les plaquettes sont restées normales. Cette légère dépression de l'hématopoïèse peut être compatible avec une dose moyenne de 1 à 3 Gy à l'organisme entier.

Le 27 mars (35<sup>ème</sup> jour), une thrombopénie (50 000) justifie une transfusion de plaquettes. Les médecins initient un traitement par le facteur de croissance hématopoïétique GM-CSF. En deux jours les éléments figurés du sang reviennent à la normale, phénomène qui n'évoque pas particulièrement un lien direct entre la thrombopénie et l'irradiation.

Cinquante jours après l'accident, la situation a encore empiré. Une épithélite exsudative sévère s'est révélée au niveau des quatre derniers doigts et du tiers distal de la paume, qui augure un avenir

difficile pour les fonctions de la main droite, qui nécessitera vraisemblablement des interventions chirurgicales, voire des amputations. Les lésions de la cuisse se sont étendues : une épithélite sèche entoure la partie nécrosée jusqu'à 15 cm du centre de la lésion, particulièrement en arrière et au dessus de la lésion. La nécrose s'est étendue et couvre une surface de 12 x 12 cm. Le 4 mai, la surface nécrosée couvre une surface de 12 x 20 cm.

### **Autres victimes**

Le 14 mars, soit un peu plus de trois semaines après l'accident, l'épouse de la victime se plaint de douleurs au niveau des fesses. Au moment de l'examen par les médecins de la mission AIEA, elle présente des lésions érythémateuses au niveau des ischions, avec une zone d'environ 4 x 4 cm d'épithélite sèche entourant une lésion d'épithélite exsudative de 2 x 2 cm. Ces lésions correspondent à la partie de son corps en contact avec la source lorsqu'elle était assise sur le pantalon de son époux après le retour de ce dernier à la maison le jour de l'accident. L'examen hématologique révèle une leucopénie du même ordre de grandeur que celle de son mari au bout d'une semaine.

Les trois enfants du couple ne semblent pas avoir reçu de doses se traduisant par des effets cliniques. Leur exposition réelle ne pourra être précisée que par des investigations cytogénétiques.

### **Evaluation dosimétrique**

Dès la connaissance de l'accident, les spécialistes de l'Institut péruvien de l'énergie nucléaire et du département de radiologie de l'Institut national des maladies cancéreuses entreprennent le calcul des doses reçues par la victime. Ces calculs reposent sur les hypothèses suivantes : 36,75 Ci d'iridium 192, contact avec la peau, durée d'exposition de 6 heures. La tomographie par scanner, effectuée le 26 février sur les deux cuisses, permet d'évaluer les distances entre les constituants de la cuisse et la source. Les distances sont évaluées sur l'image de la cuisse saine, afin d'éviter une surestimation des distances en rapport avec l'oedème considérable de la cuisse irradiée. Les doses calculées de cette manière s'avèrent considérables : 10 000 Gy à la peau, 2 500 Gy à 2 cm de profondeur, 400 Gy à 5 cm, près de 200 Gy à l'artère fémorale et au fémur, 25 Gy aux gonades et 20 Gy au rectum. La dose à l'organisme entier est estimée à 19,5 Gy. Ces estimations, en dépit de la gravité incontestable des lésions, paraissent exagérées quand elles sont comparées à l'aspect des lésions et leur évolution clinique, et en particulier avec l'état hématologique. Le facteur de surestimation est grand, et semble se situer entre 5 et 10.

Rapidement un prélèvement sanguin est effectué pour pratiquer une dosimétrie biologique basée sur le décompte des aberrations chromosomiques. Les cultures de lymphocytes ayant échoué, aucun résultat n'est obtenu.

Le 20 mars, à la demande de l'AIEA, la source est mesurée et son activité réelle au moment de l'accident n'est plus que de 26 Ci. La différence entre l'activité certifiée, qui correspond à l'activité initiale corrigée par la décroissance radioactive, et l'activité mesurée demeure inexpliquée. Il n'est pas certain que la source ramassée par la victime soit celle correspondant au certificat, d'autant plus que le château de contention de la source s'est avéré ne pas être du type réglementaire au Pérou. Il semble que ce château ait été importé dans le pays sans répondre aux exigences nationales légales.

Plutôt que de se baser sur des calculs aux bases douteuses, l'équipe de l'AIEA préfère se fier à l'apparence des lésions, la vitesse d'évolution, la présence de poils à 14 cm du centre de la lésion et les résultats hématologiques. Cette équipe conclut que la formation en quatre jours d'une phlyctène de 4 x 4 cm signe une dose au centre de plus de 100 Gy ; dans ces conditions, la courbe isodose 100 Gy se situerait à 2 cm du centre de la lésion. La frontière de la zone de nécrose est située à 5 cm du centre ; la dose reçue à cet endroit peut être estimée aux environs de 25-30 Gy. La présence de poils sains à 14 cm montre que la dose à cette distance n'a pas dû dépasser 7 Gy. La dose globale corps entier est certainement hétérogène, en raison du faible pouvoir de pénétration de l'iridium dans les tissus et du séjour prolongé de la source dans une même poche de pantalon. L'absence de vomissements et l'atteinte modérée de l'hématopoïèse font conclure à une dose moyenne comprise

entre 1 et 3 Gy.

En plus des conseils prodigués aux autorités en vue de réduire la probabilité d'accidents de même nature dans l'avenir et des consultations avec les médecins traitants, des actions concrètes sont entreprises par l'équipe de l'AIEA. Le dénombrement des aberrations chromosomiques est confié au laboratoire de cytogénétique de REAC/TS à Oak Ridge. Une reconstitution dosimétrique modélisée est effectuée par les physiciens spécialisés de l'IPSN.

La reconstitution proposée par l'IPSN utilise une simulation numérique, qui, à l'aide de logiciels de calcul et de conception assistée par ordinateur, permet de représenter l'accidenté, la source et son environnement et de calculer les doses à des points précis de l'organisme. Cette modélisation prend en compte les organes et tissus ainsi que le squelette d'un individu standard. La technique, basée sur un code de transport des particules utilisant une méthode probabiliste de Monte Carlo, permet le calcul dans une géométrie complexe en trois dimensions. Les résultats du calcul sont d'abord exprimés en débits de dose, puis recalés en terme de doses absolues d'après les observations cliniques. Une dose de 30 Gy est attribuée à la zone délimitant les tissus nécrosés. Pour cet accident, deux distances source-surface de la peau sont retenues (3 et 7 mm), en raison des deux positions principales de la victime (debout et assis) et de l'ampleur du pantalon. Les principaux résultats sont les suivants :

#### Doses à la peau, en surface

Sur les hypothèses d'une distance source-peau de 3 mm et d'une dose de 30 Gy à 5 cm du centre de la lésion, la dose à 14 cm est d'environ 2 Gy, ce qui est compatible avec la persistance de poils. Au centre de la lésion, la dose est de 400 Gy. Pour une distance de la source de 7 mm, la dose au centre de la lésion est nettement moins élevée (250 Gy), mais à quelques centimètres du centre de la lésion, la dose ne diffère pas beaucoup de celle obtenue pour une distance de 3 mm.

#### Doses en profondeur

Les doses en profondeur sont légèrement plus élevées pour une source à 3 mm de la peau que pour une source à 7 mm, mais les différences ne sont pas importantes et se situent à l'intérieur des incertitudes de la méthode. En se basant (1) sur l'image obtenue par l'examen au scanner (du membre sain afin d'avoir les paramètres anthropomorphiques existants au moment de l'accident) et (2) sur la position de la source dans la poche par rapport à la cuisse, les doses aux différents tissus de la région peuvent être calculées ; les résultats sont les suivants :

- nerf sciatique à la hauteur de la source : 25 à 30 Gy ;
- artère fémorale à la hauteur de la source 10 à 15 Gy ;
- fémur en regard de la source : 10 à 25 Gy, avec un gradient de 2 entre entrée et sortie ;
- artère crurale et nerf crural : dose négligeable en comparaison des précédentes.
- tête fémorale : moins de 1 Gy ;
- centre du petit bassin à hauteur de la tête fémorale : 0,5 à 1,5 Gy.

Ces résultats ne sont pas cohérents avec les paramètres connus de l'exposition qui permettent en principe d'estimer les doses : durée de l'exposition de 6 heures rapportée par la victime et activité de la source de 26 Ci. Sur ces bases et pour une distance source-peau de 7 mm, l'isodose de 30 Gy retenue pour délimiter la nécrose serait à 12 cm du centre et non à 5 cm comme observée cliniquement. A cette dernière distance de 5 cm, elle serait de 250 Gy. A l'endroit où les poils étaient solides au vingt-septième jour (14 cm du centre de la lésion), la dose serait de 20 Gy, ce qui est incompatible avec l'intégrité du système pileux. Comme l'activité de la source ne paraît pas devoir être remise en cause, l'erreur provient sans doute de l'appréciation du temps de l'irradiation, ce qui est fréquent dans les reconstitutions des situations accidentelles.

#### **Pronostic**

Sur la base de l'estimation dosimétrique précédente, qui permet d'apprécier au mieux les doses en profondeur, et de la connaissance des sensibilités propres à chaque tissu vis-à-vis des rayonnements, les principales conclusions sont :

(1) Les doses aux gros vaisseaux devraient autoriser une chirurgie conservatrice, mais des lésions évolutives à long terme ne peuvent pas être écartées.

(2) La dose au nerf sciatique peut expliquer les signes neurologiques. Comme la dose est supérieure à 15 Gy, qui représente le seuil pour les effets aigus pour les nerfs périphériques, une évolution défavorable doit être envisagée. Cependant, il ne paraît pas raisonnable de décider l'amputation de membre ou la section du nerf sur la seule foi de cette appréciation et de l'apparition de signes encore bénins.

(3) Les doses aux autres tissus et organes de la région ne devraient pas représenter de risques significatifs.

### **Possibilités thérapeutiques**

Dans la mesure où tous les efforts sont faits pour éviter l'amputation du membre, la question primordiale est la couverture de la lésion. Sur la base des expériences passées, deux solutions s'offrent au praticien. Il peut être décidé de recouvrir rapidement la lésion, pour se mettre à l'abri de surinfections de pronostic fâcheux, en général en faisant appel à une greffe par lambeau. Dans ce cas le risque de rejet est élevé et, de surcroît pour cet accidenté, la taille de la lésion interdit des greffes successives. La deuxième solution fait appel à des techniques modernes qui permettent d'attendre, à l'abri des infections, que les processus radioinduits à court et moyen termes soient stabilisés. Cela consiste à recouvrir la lésion de façon temporaire avec un derme artificiel, lui-même recouvert d'une couche imperméable de silicone. Cette technique (INTEGRA) est utilisée chez les grands brûlés et a démontré ses avantages en cas de brûlures radiologiques chez les irradiés géorgiens (accident de 1997) traités à l'hôpital Percy. Elle permet aux tissus sous-jacents de se reconstituer, aux fibroblastes de coloniser le derme artificiel, de synthétiser les protéines de la matrice intercellulaire et de reconstituer le système capillaire. De plus, elle procure un abri antibactérien et antifongique de qualité. Cette technique peut être répétée autant de fois qu'il est nécessaire, et sa transparence permet au médecin de visualiser l'évolution des lésions. Ce n'est qu'une fois que les réactions post-irradiation sont jugées stabilisées qu'une véritable autogreffe est envisagée.

Cette technique est séduisante, mais risque d'être de réalisation difficile dans le cas présent. Peu d'équipes médicales dans le monde sont entraînées à sa réalisation et le coût est élevé. On peut estimer qu'une intervention sur une lésion nécrotique de 10 x 10 cm environ représente un investissement de 1 million de francs ou plus.