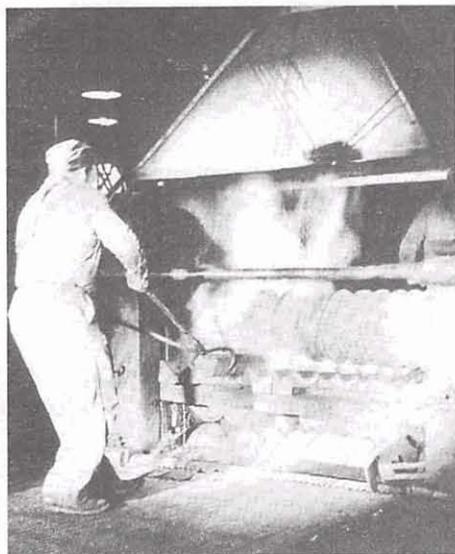


Énergie ET Sécurité

NO. 15 2001

UNE PUBLICATION DE L'IEER

Expositions oubliées : doses reçues par les travailleurs dans trois usines de traitement de matières nucléaires dans les années 1940 et 1950



AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

Hotte de ventilation d'un laminoir manuel, aux environs de 1959

PAR ARJUN MAKHIJANI, BERND FRANKE ET HISHAM ZERRIFFI¹

Note de l'Editeur : Cet article est basé sur un rapport publié par l'IEER dans le cadre d'un contrat avec le quotidien USA Today. Ce rapport a permis de calculer des estimations pour les doses d'irradiation reçues dans les années 1940 et 1950 par les travailleurs de trois usines de traitement de l'uranium aux Etats-Unis - appartenant et exploitées par des entreprises privées -, dont une traitait également du thorium, en vue de la production d'armes nucléaires.

Notre rapport aboutit à la conclusion que les conditions de travail des trois usines étaient très mauvaises, que les doses reçues par de nombreux travailleurs dépassaient de loin les normes qui prévalaient à l'époque, et que certains de ces travailleurs couraient un risque fortement accru de contracter un cancer suite à ces expositions. Le gouvernement semble avoir délibérément trompé les travailleurs quant aux dangers auxquels ils étaient exposés.

Dans une série d'articles publiés entre le 6 et le 8 septembre 2000,

LIRE LA SUITE PAGE 2
VOIR LA PAGE 10 POUR LES ANNOTATIONS

Etudes de risques sur les centrales nucléaires : affligeant !

PAR DAVID LOCHBAUM¹

Un accident qui surviendrait dans une centrale nucléaire américaine pourrait tuer plus de gens que la bombe atomique tombée sur Nagasaki.² Les répercussions financières [d'un tel accident] pourraient aussi être catastrophiques.

L'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 a coûté à l'ex-Union soviétique plus de trois fois la totalité des bénéfices commerciaux enregistrés par l'exploitation de toutes les autres centrales nucléaires soviétiques entre 1954 et 1990.³

Mais les conséquences seules ne suffisent pas à définir un risque. La probabilité d'un accident est tout aussi importante. Lorsque les conséquences sont de forte ampleur, comme c'est le cas pour les accidents de centrales nucléaires, une gestion prudente des risques dicte que les probabilités soient maintenues à un niveau très faible. La Commission de la Réglementation Nucléaire (NRC - Nuclear Regulatory Commission) des Etats-Unis s'efforce de limiter les risques pour le public liés à l'exploitation de centrales nucléaires à moins d'un pour cent de celui qu'il encourt pour les autres types d'accidents.

L'Union of Concerned Scientists (UCS - Union des scientifiques responsables) a examiné la façon dont sont menées les

LIRE LA SUITE PAGE 12

DANS CE NUMÉRO

Caractéristiques de l'uranium et du thorium	8
Résumé de l'historique des limites de doses annuelles admises aux Etats-Unis	9
Kit d'information à diffuser	10
Le Congrès américain adopte une loi d'indemnisation des travailleurs du nucléaire	11

EXPOSITIONS OUBLIÉES SUITE DE LA PAGE 1

USA Today a identifié environ 150 usines appartenant à des entreprises privées qui ont été utilisées pour diverses étapes de la production des armes nucléaires aux Etats-Unis dans les années 1940 et 1950. Suite à cela, le Ministère de l'Énergie des Etats-Unis (DOE) a rendu public une 'liste de travail interne' de plus de 570 usines, qui ont appartenu et/ou ont été exploitées par des entreprises privées ou par le gouvernement, et qui ont pu avoir été impliquées dans la fabrication d'armements nucléaires. Certaines de ces installations ont effectué des travaux semblables à ceux des trois usines étudiées dans cette étude; alors que d'autres ont eu des fonctions différentes.

Après l'avoir nié pendant des décennies, le DOE a reconnu en avril 2000 que la production d'armes nucléaires avait nui à la santé de ses travailleurs par le biais de leur exposition à la radioactivité et à des produits chimiques toxiques. Ce sont les travailleurs des plus gros sites, appartenant et exploités par le DOE, qui ont reçu l'essentiel de l'attention engendrée par cette annonce. Bien que cet intérêt de la part des autorités soit certainement justifié, et attendu depuis longtemps, le rapport de l'IEER insiste sur la responsabilité du gouvernement américain qui doit également reconnaître ceux qui ont travaillé dans des installations privées impliquées dans la production d'armes nucléaires. De surcroît, les personnes vivant à proximité des usines et les membres des familles des travailleurs des armes nucléaires pourraient également avoir été exposés à des matières radioactives et toxiques à la suite des activités conduites sur ces sites.

La version complète du rapport de l'IEER (en anglais), est disponible sur le site web de USA Today, à l'adresse suivante : <http://www.usatoday.com/news/poison/docdex.htm> ou en contactant l'IEER.

Dans le rapport de l'IEER réalisé pour le quotidien USA Today, intitulé *Preliminary Partial Dose Estimates from the Processing of Nuclear Materials at Three Plants during the 1940s and 1950s*, nous avons analysé certaines des données ayant trait aux conditions de travail et aux expositions ionisantes des travailleurs de trois usines de traitement de matières nucléaires :

- ▶ Simonds Saw & Steel Co., Lockport, New York.
- ▶ Harshaw Chemical Co., Cleveland, Ohio
- ▶ Electro-Metallurgical Co., Niagara Falls, New York

Ces trois usines ont retraité de l'uranium pendant une partie des années 1940 et 1950. Simonds a également retraité du thorium sous forme métallique. Ces usines ont effectué des opérations industrielles telles que le laminage de métaux, qui a par la suite été effectué dans des usines appartenant au gouvernement.

Notre étude, sur laquelle se base cet article, était une

évaluation partielle et préliminaire de l'exposition des travailleurs dans certaines catégories ou lieux de travail. Son but était d'effectuer des calculs à partir de présélections afin de vérifier si les doses reçues par les travailleurs - au moins pour certaines catégories ou lieux de travail - étaient suffisamment élevées pour justifier de réelles inquiétudes d'un point de vue sanitaire.

Nous n'avons pas réalisé d'évaluation des doses d'irradiation externe. Il existe des témoignages indiquant que celles-ci étaient, au moins dans certains cas, tout à fait significatives. Nous n'avons pas non plus cherché à évaluer les expositions à des matières toxiques non-radioactives, qui peuvent aussi avoir été significatives dans de nombreux cas. Cette étude est donc nécessairement limitée dans son objet comme dans sa réalisation. Un effort exhaustif nécessiterait une documentation autrement plus importante, et bien plus de données, de temps et de ressources que ce qui a été disponible pour ce projet.

LIRE LA SUITE PAGE 3
VOIR LA PAGE 10 POUR LES ANNOTATIONS

Énergie & Sécurité

Énergie et Sécurité est un bulletin sur la non-prolifération, le désarmement et les énergies durables. Il est publié quatre fois par an par:

L'Institut pour la Recherche sur l'Énergie et
l'Environnement (IEER)

IEER fournit au public et aux décideurs politiques des études techniques claires et scientifiquement solides dans un grand nombre de domaines. L'objectif de l'IEER est d'apporter une analyse scientifique d'excellente qualité aux questions politiques touchant le public tout en favorisant la démocratisation de la science et un environnement plus sain.

Crédits pour ce numéro

Traduction: Annike Thierry

avec la collaboration de: Jean-Luc Thierry et Annie Makhijani

Mise en page: Cutting Edge Graphics, Washington D.C.

Énergie et Sécurité est gratuit pour tous.

Rédactrice en chef: Lisa Ledwidge

La version anglaise de ce numéro a été publiée en décembre 2000.

Merci à ceux qui nous soutiennent

Nous remercions sincèrement les institutions dont le généreux soutien financier a rendu possible notre projet mondial sur «les dangers des matières nucléaires.»

• W. Alton Jones Foundation •
John D. And Catherine T. MacArthur Foundation • C.S. Fund •
HKH Foundation • New Land Foundation •

Nous remercions également les institutions qui financent notre projet d'aide technique pour les organisations militantes. Nous nous inspirons beaucoup de ce projet pour notre projet mondial.

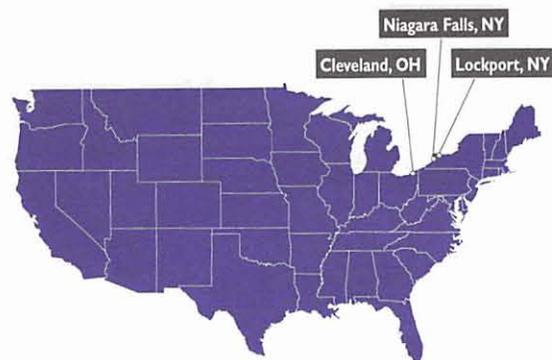
• Public Welfare Foundation • John Merck Fund •
Ploughshares Fund • Unitarian Universalist Veatch Program at
Shelter Rock • Rockefeller Financial Services • Stewart R. Mott
Charitable Trust • Town Creek Foundation • Beldon II Fund
• DJB Foundation •

Nous avons estimé les doses reçues par inhalation d'uranium en calculant la quantité d'uranium inhalée par un travailleur au cours d'une journée de travail classique, en un lieu ou pour une catégorie de travail spécifiques. Les concentrations dans l'air pondérées dans le temps auxquelles les travailleurs étaient exposés au cours d'une journée ont été estimées par le personnel de l'usine, qui a pris en compte le temps passé par les travailleurs dans les différentes parties de l'usine. Tous les calculs de doses donnés dans cet article sont des "doses engagées", ce qui reflète le fait que les expositions résultant d'une seule absorption sont étudiées au cours de la totalité du temps pendant lequel l'uranium inhalé reste à l'intérieur du corps humain.²

Simonds Saw & Steel Co., Lockport, New York

Entre 11 et 14 millions de kilos d'uranium sous forme métallique ont été usinés pour former des barres à *Simonds* entre mars ou avril 1948 et 1956. *Simonds* a également usiné entre 14 et 18 tonnes de thorium sous forme métallique. Le travail effectué avec de l'uranium et du thorium ne représentait qu'une partie du temps d'utilisation des machines, et celles-ci servaient le reste du temps à usiner de l'acier pour des applications commerciales.

SITES DES USINES DE TRAITEMENT DE MATIÈRES NUCLÉAIRES ÉTUDIÉES DANS LE RAPPORT DE L'IEER



Il existe de nombreux éléments prouvant que les locaux de l'usine étaient devenus gravement contaminés pendant le traitement des matières radioactives. Par exemple, même dans les cantines les niveaux de contamination de l'air étaient bien supérieurs aux seuils de contamination en vigueur. Par conséquent, les travailleurs étaient exposés à des irradiations même

LIRE LA SUITE PAGE 4
VOIR LA PAGE 10 POUR LES ANNOTATIONS

L'IEER ENTENDU PAR LE CONGRÈS AMÉRICAIN SUR LES EXPOSITIONS DES TRAVAILLEURS DU NUCLÉAIRE

Le 21 septembre 2000, la coordinatrice du département Développement de l'IEER, Lisa Ledwidge, a apporté un témoignage lors de l'audition du Congrès américain sur l'indemnisation des travailleurs du nucléaire. Cette audition avait été organisée par la *House Judiciary Committee's Subcommittee on Immigration and Claims* - (sous-commission de l'Immigration et des Plaintes de la Commission Judiciaire du Congrès).

Elle a exposé les résultats de trois études de l'IEER sur les expositions des travailleurs du nucléaire et sur les rejets de matières ionisantes à l'extérieur des sites : l'étude d'*USA Today* (voir l'article principal), l'étude de 1994 sur les doses reçues par les travailleurs de l'usine de Fernald, en Ohio, et l'étude des rejets hors du site de Fernald.

L'IEER a découvert que, lorsque les expositions des travailleurs et les rejets hors site sont étudiés avec précaution et par des organismes indépendants, les surexpositions des travailleurs et les rejets de radioactivité dans l'environnement sont supérieurs à ce qui est officiellement reconnu.

Dans le cadre de ce témoignage, l'IEER a fait trois recommandations au Congrès :

1. Étant donné que de nombreux travailleurs sont très malades ou mourants, la surveillance sanitaire, le traitement et, dans les cas appropriés, l'indemnisation des travailleurs affectés est une priorité absolue. Il serait grand temps que le gouvernement et ses entreprises sous-traitantes reconnaissent leur responsabilité dans les souffrances de ces personnes.

2. Il est important que les travailleurs ne soient pas obligés à apporter la preuve de leur exposition dans les moindres détails. La charge de la preuve doit être portée par le gouvernement et ses sous-traitants, eux qui se sont montrés incapables de garder des archives correctes, de prendre les mesures suffisantes, et qui ont bien trop souvent affirmé aux travailleurs qu'ils opéraient en toute sécurité alors que ce n'était pas le cas.
3. Un processus doit être engagé afin d'attaquer de façon juste et responsable la question de l'héritage laissé par la guerre froide. Les travailleurs devraient occuper une place active et centrale dans la création de ce processus, parce qu'ils étaient, dans l'ensemble, le groupe le plus exposé. Mais il doit être reconnu que le public, les 'non-travailleurs', notamment les membres des familles des travailleurs, les personnes vivant dans les zones affectées par les rejets gazeux et liquides des installations, étaient également exposés. Il est temps qu'un dispositif soit mis en place afin de déterminer comment prendre en compte de façon équitable et responsable les expositions subies par l'ensemble de la collectivité.

Le témoignage complet de l'IEER (en anglais) est disponible sur le site web suivant : <http://www.ieer.org/comments/hr0900.html>. Les deux études de l'usine de Fernald sont résumées dans SDA vol.5 no.3, octobre 1996, qui est également en ligne (en anglais) sur le site : http://www.ieer.org/sdafiles/vol_5/v5n3_1.html.

lorsque l'usine traitait de l'acier, par exemple via des particules remises en suspension dans l'air. Nous n'avons pas cherché à évaluer les doses aux travailleurs pendant le traitement de l'acier. Nous n'avons pas non plus cherché à évaluer les conséquences de la contamination des aliments causée par le manque d'hygiène industrielle. La prise en compte de tous ces facteurs augmenterait les estimations de doses.

Nous avons utilisé les données disponibles pour faire des estimations de doses issues du traitement d'uranium sous forme métallique jusqu'à la date du 6 août 1954. Nous ne possédons pas de données d'enquêtes couvrant le reste de la période jusqu'à la fin de ces opérations en décembre 1956. Par conséquent, les doses que nous présentons dans ce rapport sont des estimations partielles d'expositions qui sous-estiment les doses reçues par le personnel qui a travaillé pendant la totalité de la période de traitement.

Nous avons calculé des estimations d'expositions par catégorie de travail. Si une seule personne a occupé ce même poste de travail pendant toute la période, l'estimation de dose représente une exposition attendue typique (voir ci-dessous la discussion sur les incertitudes). Si plusieurs personnes se sont succédées au même poste de travail, cette estimation de dose ne s'appliquera pas à un individu en particulier, mais plutôt au groupe d'individus qui ont effectué cette tâche particulière au cours de la période spécifiée.

Les émissions issues de l'exploitation de l'usine de *Simonds* étaient habituellement composées d'un mélange d'oxydes d'uranium, dont les solubilités allaient de 'très insoluble' à 'moyennement soluble'. Une fois logées dans un poumon, il peut falloir de nombreux mois, voire même de nombreuses années avant que des matières très insolubles n'en soient éliminées, alors que les matières moyennement solubles peuvent être éliminées en l'espace de quelques semaines. Malgré cela, certaines formes plus solubles de l'uranium peuvent aussi être transportées jusqu'aux reins, aboutissant à des lésions dues aux propriétés de l'uranium en tant que métal lourd.

La figure 1 montre les estimations de doses aux poumons pour un certain nombre de postes de travail spécifiques. Les travailleurs qui sont restés uniquement à un poste ont pu recevoir des doses plusieurs fois supérieures ou inférieures à celles-ci, en fonction des durées et des conditions de travail ainsi que des différences individuelles de métabolisme.

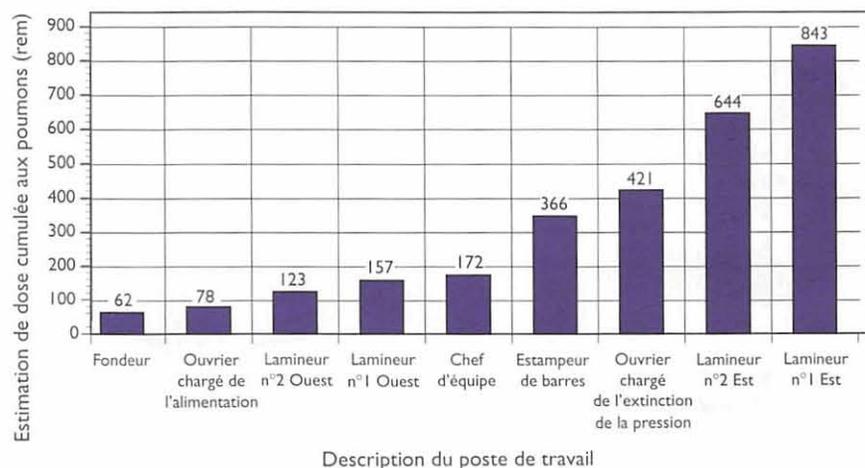
Les travailleurs étaient également exposés à des poussières de thorium. Bien que la quantité de thorium traité ait été d'un facteur d'environ un pour mille par rapport à l'uranium, les expositions des travailleurs qui traitaient le thorium semblent avoir été significatives, en partie parce que les expositions au thorium engendrent des doses plus importantes qu'avec l'uranium.

Les opérations de traitement du thorium à *Simonds* peuvent avoir duré seulement une semaine mais peut-être beaucoup plus longtemps. Si l'on se base sur les données disponibles, il ne nous est pas possible d'estimer le nombre total en équivalents de jours de travail complets pendant lesquels les opérations d'usinage de thorium ont été effectuées. Nous avons par conséquent calculé les doses de thorium correspondant à une semaine de travail à temps plein. Nous avons estimé que les doses à la surface des os pour une exposition d'une semaine se trouvaient sur une fourchette allant de 400 rem à presque 2500 rem, selon les conditions de travail et la solubilité du thorium. Nous ne possédons aucune base qui nous permettrait de choisir un ensemble de solubilités à partir des données disponibles. Si le travail a été mené au cours de plusieurs semaines, alors les estimations de doses seront proportionnellement plus élevées.

Globalement, il semble que les expositions de certains travailleurs qui traitaient le thorium pourraient

LIRE LA SUITE PAGE 5
VOIR LA PAGE 10 POUR LES ANNOTATIONS

Figure 1 : Estimations de doses partielles cumulées au poumon causées par l'exposition irradiante à de l'uranium à l'usine Simonds Saw and Steel entre le 1er avril 1948 et le 31 décembre 1952



avoir été graves. Nous n'avons pu évaluer les expositions cumulées au thorium de façon similaire à l'uranium puisque nous ne possédons même pas les données appropriées sur la concentration dans l'air au cours de la période requise. Notre estimation des expositions au thorium, basée sur une semaine de travail, indique que pour certains travailleurs, les expositions au thorium peuvent avoir été comparables et peut-être supérieures aux expositions à l'uranium. Enfin, si certains ouvriers travaillaient à la fois avec l'uranium et le thorium, ces expositions devront être additionnées.

Harshaw Chemical Co., Cleveland, Ohio

L'usine Harshaw Chemical Co a effectué de nombreuses opérations chimiques visant à produire de l'hexafluorure d'uranium (UF₆) en vue de l'enrichissement de l'uranium. Des opérations à temps partiel ont démarré pendant le projet Manhattan durant la Deuxième Guerre mondiale, pendant laquelle de l'uranium hautement enrichi a été utilisé pour la fabrication de la bombe atomique qui a été larguée sur Hiroshima. La production d'UF₆ à Harshaw a été intensifiée après la guerre et s'est accrue de façon significative en 1947.

Les formes chimiques de l'uranium présent à Harshaw vont d'une très haute solubilité (l'hexafluorure d'uranium) à une très faible solubilité (le dioxyde d'uranium). L'hygiène industrielle était très médiocre : dans certains cas, la moyenne de la contamination de l'air, établie sur une journée, dépassait les seuils autorisés de plusieurs centaines de fois.

Si l'on émet l'hypothèse que les travailleurs étaient exposés au même mélange de composés d'uranium que ceux de l'usine de fabrication d'armes nucléaires de Fernald, près de Cincinnati, ce qui serait probable pour au moins une partie du personnel de l'usine, les doses d'irradiation aux poumons des travailleurs faisant partie des catégories moyennement exposées seraient en cumul de quelques centaines de rem. (On trouvera un histogramme des doses reçues par les travailleurs à Harshaw dans la Figure 2).

Nos calculs sont basés sur l'hypothèse d'une journée de travail de huit heures et de 20 journées de

travail par mois, pour chaque mois de l'année. Dans le cas des travailleurs les plus gravement exposés - qui travaillaient pendant de longues périodes ou dans des conditions de forte contamination ou, dans le pire des cas, les deux à la fois - les doses cumulées aux poumons se chiffreraient en milliers de rem.

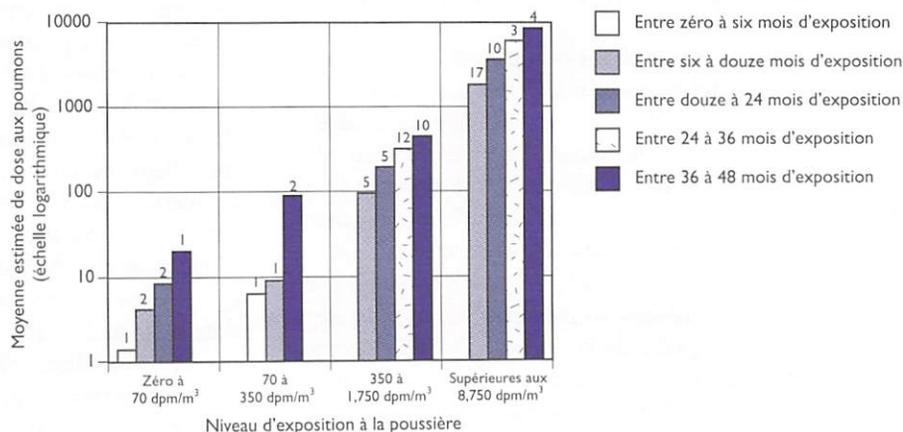
De nombreux travailleurs ont été exposés à des doses supérieures aux seuils en vigueur, qui étaient, à l'époque, de 15 rem par an aux poumons. La dose d'écart moyen estimée au poumon dans la catégorie d'exposition la plus élevée (8400 rem) serait équivalente à une dose efficace d'environ 1000 rem. En se basant sur le facteur de risque de cancer établi par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) de 0,04%, ou de quatre décès pour 10 000 rem, nous pouvons estimer qu'un travailleur aurait 40% de chance de mourir d'un cancer suite à une exposition de 1000 rem. Il s'agit donc d'une augmentation de 200 pour cent de risque de cancer mortel par rapport à des personnes non exposées. On trouvera un histogramme des doses reçues par les travailleurs à Harshaw dans la Figure 2.

Dans le cas de composés de l'uranium plus solubles, les doses d'irradiation et les risques de cancer estimés seraient plus faibles, et la probabilité d'effets graves pour les reins serait bien plus grande. Les documents provenant de l'usine indiquent que de semblables cas de dommages aux reins ont bien été rapportés.

Nous n'avons pas cherché à quantifier les expositions externes de façon systématique dans le cadre de cette étude limitée. En revanche, même une étude superficielle des documents de Harshaw montre que, pour au

LIRE LA SUITE PAGE 6
VOIR LA PAGE 10 POUR LES ANNOTATIONS

Figure 2: Doses moyennes aux poumons et distribution des employés par durée d'embauche et niveau d'exposition à la poussière d'uranium à Harshaw Chemical Co., 1945-1949



Notes: Le chiffre situé au-dessus de chaque barre correspond au nombre de travailleurs identifiés pour la catégorie d'exposition correspondante. L'absence de barre indique qu'il n'y avait aucun travailleur dans cette catégorie. L'indication dpm/m³ correspond au nombre de désintégrations par minute par mètre cube.

moins certains des travailleurs, les expositions externes, en particulier celles dues au thorium 234 et au protactinium 234, qui engendrent des expositions à des rayonnements bêta, peuvent avoir été élevées, aggravant donc les problèmes causés par les expositions internes à l'uranium.

De plus, la fabrication d'hexafluorure d'uranium suppose l'utilisation de produits chimiques hautement toxiques, notamment le fluor. De surcroît, lorsque l'hexafluorure d'uranium entre en contact avec l'humidité dans l'air (qui serait élevée dans la région de Cleveland pendant au moins certaines parties de l'année), il s'associe avec la vapeur d'eau et se transforme en fluorure d'uranyle et en acide fluorhydrique, qui est extrêmement toxique.

Electro-Metallurgical Co. (Electromet), Niagara Falls, New York

De l'uranium sous forme métallique a été fabriqué à partir de tétrafluorure d'uranium (également appelé "green salt"). Ce procédé consiste à mélanger du tétrafluorure d'uranium à des paillettes de magnésium sous forme métallique, et à insérer ce mélange dans un haut fourneau, où l'on réduit le tétrafluorure d'uranium en métal. Ce procédé a toujours, depuis son origine, causé des problèmes, engendrant parfois des explosions, particulièrement dans les conditions de travail sous pression pour produire rapidement qui ont caractérisé les deux premières décennies de l'ère nucléaire. L'uranium était en général un mélange de composés modérément solubles et insolubles, ces derniers étant prédominants, puisque le tétrafluorure d'uranium appartient à cette catégorie.

Nous ne possédons pas les données appropriées couvrant la période entière d'exploitation d'Electromet, qui a commencé à fonctionner pendant le Projet Manhattan et s'est arrêté en 1953. Nous savons qu'on y produisait de l'uranium sous forme métallique à plein temps vers la fin des années 1940, période pour laquelle nous possédons des données quant aux niveaux de concentrations dans l'air dans les lieux de travail, ainsi que les concentrations moyennes dans l'air au cours de la journée de travail. Nous avons effectué des calculs de dose en utilisant ces chiffres pour un individu au cours de 240 journées de travail (une année de travail de 48 semaines, 5 jours par semaine). On peut s'attendre à ce que les expositions réelles du personnel qui a travaillé pendant une large partie de la période d'exploitation de l'usine soient largement plus élevées. Pourtant, nous ne pouvons supposer que les expositions réelles soient un simple multiple des doses calculées, puisque les données de concentration dans l'air ne sont pas disponibles avec suffisamment de détail pour pouvoir réaliser ne serait-ce que des calculs approximatifs pour la période entière.

L'hygiène industrielle à Electromet était largement insuffisante. De nombreux travailleurs ont de toute évidence été gravement surexposés, puisque des niveaux de contamination importants ont persisté dans le lieu de travail pendant des périodes prolongées. Nous estimons que pour les travailleurs assignés à la production, les doses engagées aux poumons causées par l'exposition pendant une seule période de douze mois se situeraient sur une échelle allant de 50 rem à bien au-delà de 6000 rem. Les travailleurs les plus gravement exposés auraient une très grande probabilité de contracter un cancer. On peut aussi s'attendre à trouver une toxicité liée à la présence de métaux lourds dans les reins à cause de l'exposition au tétrafluorure d'uranium.

Incertitudes

On peut distinguer deux types d'incertitudes dans nos estimations. D'abord, il existe des variations individuelles dans les situations vécues par les travailleurs, des différences de physiologie qui aboutissent à des taux métaboliques différents, et ainsi de suite. Par exemple, certains travailleurs à Harshaw ont, selon toute probabilité, été essentiellement amenés à travailler sur des types d'uranium insolubles, alors que d'autres auront pour l'essentiel travaillé avec des types d'uranium solubles. Un très large éventail d'estimations de doses peut être obtenu à partir de mêmes concentrations dans l'air, essentiellement parce que les doses dépendent largement de la solubilité des produits inhalés.

Le deuxième type d'incertitude est lié aux incertitudes présentes dans la mesure des concentrations dans l'air, aux fluctuations de ces concentrations d'un jour à l'autre, aux estimations des facteurs de conversion de dose pour toute forme chimique particulière de l'uranium, et aux estimations des effets des expositions aux rayonnements ionisants.

Les estimations des doses partielles relevées au sein de n'importe quel groupe de travailleurs pourraient facilement être plusieurs fois inférieures ou supérieures à celles estimées dans ce rapport. Étant donné que nous ne possédons pas les données nécessaires pour réaliser des estimations de doses individuelles de chaque travailleur, ou même pour déterminer si de telles évaluations pourraient ou non être effectuées de façon fiable, une dose relativement faible peut, dans le cas d'une catégorie de travail particulière, ne pas correspondre à une faible dose pour un travailleur donné. La nature limitée de notre étude et la nature partielle et préliminaire des calculs ne justifient pas l'effort approfondi qui serait nécessaire pour une analyse en bonne et due forme des incertitudes. Nous recommandons que cet effort plus formel soit entrepris sur la base de données plus complètes. En revanche, il y

a suffisamment d'éléments de preuves pour que l'on conclue de façon raisonnablement certaine, du fait des mauvaises conditions de travail, que les expositions de nombreux travailleurs étaient très élevées et dépassaient de loin les réglementations alors en vigueur.

Au-delà de ces incertitudes, nos estimations sont partielles parce que nous n'avons pas inclus les doses externes, et parce que nous n'avons, dans plusieurs cas, pas été capables d'estimer les doses reçues au cours de la période entière de travail. Ce facteur aboutirait à des estimations de doses qui seraient systématiquement supérieures aux chiffres donnés ci-dessus.

Des propos rassurants trompeurs

Il est amplement démontré que les exploitants de l'usine ainsi que le gouvernement des États-Unis, qui a passé contrat avec ces compagnies privées pour le traitement de matières destinées à son programme d'armements nucléaires, étaient parfaitement au courant que les travailleurs de ces usines étaient gravement surexposés sur des périodes de temps prolongées. Il apparaît également clairement que le gouvernement américain a délibérément trompé les travailleurs sur les problèmes de santé et de sûreté, en les laissant dans l'ignorance de la réalité de leurs mauvaises conditions de travail, et en se montrant incapable d'entreprendre le niveau nécessaire de surveillance des doses d'irradiation. Par exemple, des prélèvements fréquents et à grande échelle d'échantillons d'urines auraient été justifiés.

De nombreux documents font état des faiblesses des contrôles de la contamination et des recommandations pour leur amélioration, qui n'ont été prises en compte qu'occasionnellement. Par exemple, dans un document présentant les problèmes rencontrés à Harshaw, il est affirmé que :

Ces résultats [le fait que 90% des travailleurs de l'usine aient été exposés à des niveaux de contamination supérieurs à celui qui était 'préféré', 76% desquels ayant été exposés à des niveaux entre 10 et 374 fois supérieurs] correspondent bien au résultat d'autres enquêtes du NYOO [New York Operations Office], et montrent que les équipements et procédures utilisés actuellement pour le contrôle des poussières et fumées contenant des émetteurs-alpha sont complètement inadéquats.³

Dans certains cas, on a hésité à dépenser de l'argent pour corriger les problèmes des usines qu'on pensait mettre en stand-by et ne plus utiliser pour la production. Au moins un an avant que l'usine Electromet n'ait du se mettre en stand-by, un document de la Commission à l'Énergie Atomique des États-Unis (Atomic Energy Commission) fait remarquer que :

Afin d'assurer un contrôle approprié des poussières, il faudrait dépenser une somme d'argent significative (entre 50 000 et 100 000 dollars). Comme par le passé, c'est une décision politique qui décidera ou non de corriger les expositions élevées aux poussières, en fonction de l'opportunité ou non de dépenser des fonds afin de mettre des usines en stand-by en condition sanitaire satisfaisante...Au cours des prochains mois, on peut s'attendre à ce que des modifications mineures dans le système de ventilation réduisent dans une certaine mesure l'exposition aux poussières.⁴

Un document fait apparaître clairement la pratique visant à éviter d'informer les travailleurs des risques sanitaires liés à leur travail. Dans une lettre datée de janvier 1948 envoyée au vice-président de Harshaw Chemical Co., le directeur du New York Operations Office de la Commission à l'Énergie Atomique des États-Unis écrivait : '...il est évident que des concentrations considérablement supérieures au niveau préféré sont chose commune dans la Zone C.' Dans la même lettre, il indique qu'il avait été dit et qu'on continuerait à dire aux employés de la zone C que 'tous nos contrôles ont indiqué qu'aucun risque inhabituel n'existait'.

Conclusions

Les conditions de travail dans ces trois usines étaient très mauvaises et parmi les plus mauvaises rapportées pour une usine quelconque aux États-Unis. Si l'on se base sur nos calculs effectués à partir d'une présélection, il est probable que les doses reçues par de nombreux travailleurs ont dépassé la dose limite admissible au poumon établie en 1949 d'environ 15 rem par an. Les données et nos calculs suggèrent également que les travailleurs les plus exposés avaient une forte probabilité de mortalité par cancer à la suite de cette exposition. Il faut garder à l'esprit que nous avons abouti à cette conclusion malgré le fait que nos calculs sont partiels et ne couvrent pas la totalité de la période d'exploitation de l'usine et tous les types de doses. D'autres types de problèmes de santé, notamment des lésions aux reins, pourraient probablement être trouvés également chez les travailleurs qui ont été exposés aux formes d'uranium plus solubles.

Nous ne possédons pas de données comparables sur les usines d'armes nucléaires qui ont traité l'uranium en Union soviétique pendant la fin des années 1940 et le début des années 1950. Il existe des données concernant les doses externes reçues par les travailleurs sur le site d'un réacteur et d'une usine de retraitement situés dans le sud des montagnes de l'Oural. Jusqu'à maintenant, nous avons émis l'hypothèse, en nous basant sur les éléments disponibles, que les expositions reçues par les

LIRE LA SUITE PAGE 10

Caractéristiques de l'uranium et du thorium

On trouve différentes formes d'uranium dans les usines de traitement de matières nucléaires. Elles vont de l'hexafluorure d'uranium (UF₆), au dioxyde d'uranium insoluble (UO₂). L'hexafluorure d'uranium s'associe facilement à la vapeur d'eau pour donner de l'acide fluorhydrique (HF), une substance extrêmement caustique.¹ On retrouve également les mêmes variations pour l'utilisation de thorium dans les usines de traitement.

	Uranium	Thorium
Symbole atomique	U	Th
Source	Présent dans la nature à l'état de traces	Présent dans la nature à l'état de traces
Formes habituelles	L'uranium est radioactif et chimiquement toxique. L'uranium est constitué de trois isotopes présents dans la nature. L'U ²³⁸ correspond à 99,284% du poids de l'uranium naturel, l'U ²³⁵ à 0,711%, et l'U ²³⁴ à 0,005%. L'U ²³⁵ est la forme utilisée dans les usines de fabrication d'armes nucléaires et dans les centrales nucléaires. Pourtant, on convertit souvent l'U ²³⁸ en Pu ²³⁹ pour ces applications.	Le thorium est radioactif et chimiquement toxique. On trouve trois isotopes principaux du thorium dans la nature : le Th ²³² est un radionucléide naturel. Le Th ²³⁴ et le Th ²³⁰ existent à l'état naturel par leur appartenance à la chaîne de filiation de l'uranium.
Décroissance²	Alpha, rayons gamma de faible énergie	Alpha, rayons gamma de faible énergie
Exposition	L'uranium est présent dans la nature, et on en trouve donc des concentrations infimes dans les aliments, l'air et l'eau. Des expositions plus importantes sont chose courante dans certains emplois où l'on trouve fréquemment de la poussière d'uranium, comme le traitement et l'extraction de matières nucléaires.	Le thorium est présent dans la nature et peut par conséquent être présent dans l'air, l'eau et les aliments. Le plus gros risque d'exposition grave se produit lorsque la poussière de thorium est présente, comme par exemple dans une situation professionnelle.
Excrétion	Il est possible d'excréter les particules présentes dans les poumons par la toux ou l'expiration, mais elles peuvent également pénétrer dans le sang, passer par les reins, et être excrétées dans les urines. Les particules d'uranium ingérées peuvent être excrétées par les selles. Certaines particules restent dans le corps et s'accumulent dans les poumons ou entrent dans le flux sanguin et peuvent s'accumuler dans les tissus osseux.	Les voies d'excrétion sont similaires à celles de l'uranium.
Effets sur la santé	Etant donné que les particules alpha et les rayonnements gamma émis par l'uranium sont relativement faibles, l'uranium ne pose que peu de problèmes sanitaires quand il se trouve à l'extérieur du corps humain. En revanche, on a observé des maladies des reins parmi les mineurs d'uranium et les animaux qui ingèrent de grandes quantités d'uranium, maladies que l'on attribue aux propriétés chimiques toxiques de cet élément. A cause de ses propriétés radioactives, l'exposition à l'uranium augmente le risque de cancers des poumons, des os, des tissus mous et des leucémies, particulièrement en cas d'ingestion ou d'inhalation. Des études sur des animaux montrent que l'uranium peut affecter la reproduction et le fœtus en développement. L'uranium 238 se désintègre également en formant par décroissance radioactive des radionucléides dangereux tels que le radium 226 et le radon 222.	Le dioxyde de thorium est classé par l'Agence pour les substances toxiques et le registre des maladies des Etats-Unis (<i>U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>) comme un " agent carcinogène reconnu ". Des études sur les animaux suggèrent que le thorium puisse être absorbé par la peau, mais le thorium pose peu de risques sanitaires lorsqu'il se trouve en dehors du corps. On a montré que des travailleurs exposés au thorium avaient un risque accru de maladie des poumons et de cancer des poumons et du pancréas. On a aussi montré que le thorium peut être à l'origine de maladies du foie, de dysfonctionnements sanguins et de modifications du matériel génétique. Il a été démontré que des doses élevées reçues en une seule fois peuvent aboutir à un empoisonnement par métal des animaux. On a aussi observé des malformations à la naissance chez les animaux exposés au thorium.

Sources: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *ATSDR Public Health Statement: Uranium*, Atlanta, décembre 1990; et Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *ATSDR Public Health Statement: Thorium*, Atlanta, octobre 1990.

1 La réaction chimique est: $UF_6 + 2H_2O \rightarrow UO_2F_2 + 4HF + \text{chaleur}$. (UO₂F₂ est le fluorure d'uranyle.)

2 Les noyaux des éléments radioactifs sont instables, c'est-à-dire qu'ils se transforment en d'autres éléments, en général en émettant des particules (et parfois en les absorbant). Ce processus est connu sous le nom de décroissance radioactive. La décroissance de l'uranium et du thorium aboutit à des rejets de particules alpha et à des rayonnements gamma faibles.

Résumé de l'historique des limites de doses annuelles admises aux Etats-Unis

Le tableau ci-dessous présente un résumé des changements les plus significatifs qui se sont produits au cours de l'évolution des normes de protection contre l'irradiation des travailleurs aux Etats-Unis. De façon générale, les normes ont été renforcées au cours du temps. Au cours des premières années, les limites de doses étaient les mêmes pour le public que pour les travailleurs, mais elles ont été ramenées à un dixième de celles admissibles pour les travailleurs vers la fin des années 1950, et à nouveau renforcées en 1988. Nous ne montrons ici que les années au cours desquelles se sont produits les plus grands changements.

Année	Limite de dose spécifiée dans la réglementation ¹	Limite de dose annuelle ²	Source ³	Commentaires
Avant 1949	0,1 R/jour ⁴	36,5 R	Manuel NBS #18	30 R aurait été la limite de dose annuelle sur la base de 300 jours de travail.
1950	0,3 R/semaine 3,9 R/13 semaines	15,6 R	Manuel NBS #18	Les deux limites de dose (deuxième colonne) ont été présentées par deux rapports différents qui ont finalement abouti au même résultat. 15 R serait la limite de dose sur la base de 50 semaines de travail par an.
1954	0,3 R/semaine (maximum) 15 rem/an ⁵	15 rem	Manuel NBS #59	C'est la première fois que le rem a été utilisé pour les limites de doses. Une exposition maximale de 0,3 R est admise pour toute semaine donnée.
1958	3,0 rem/13 semaines 5(N-18) ⁶	5 rem par an en moyenne. Voir commentaire	Addendum au Manuel NBS #59	C'est la première fois que le concept de limite de dose au-delà d'un an a été introduit. La dose moyenne au cours d'une période en années ne doit pas excéder 5 rem par an. Voir la note n°6.
1988	5 rem/an	5 rem	arrêté DOE 5480.11 ⁷	Les doses internes et externes sont additionnées en calculant l'équivalent de dose efficace au corps entier.

- Ces limites de doses ont été établies par le Ministère de l'Energie des Etats-Unis (U.S DOE) et les agences gouvernementales qui l'ont précédé : la Commission à l'Energie Atomique (AEC, 1947-1974), l'Administration pour l'Energie, la Recherche et le Développement (ERDA, 1974-1977), le DOE (1977 - jusqu'à maintenant). Ce sont toutes des limites concernant à la fois les doses d'irradiation externes et les expositions internes pour lesquelles le corps entier était l'organe critique, excepté en 1988, quand la dose pour les expositions externes et toutes les expositions internes ont dû, conformément à la réglementation être incluses.
- Pour les deux premières de la liste, la limite de dose annuelle a été déduite en utilisant les valeurs utilisées pour la limite quotidienne ou hebdomadaire.
- Dans les années 1940 et 1950, le Bureau National des Normes (National Bureau of Standards -NBS) a publié les normes pour tous les travailleurs ayant des tâches liées aux rayonnements ionisants, et l'AEC et les agences qui lui ont succédé ont adopté ces normes pour leurs usines de fabrication d'armements en publiant des manuels internes et des directives de protection contre les irradiations
- R = rad ou radiation absorbed dose, dose d'irradiation absorbée. C'est une unité de dose absorbée qui correspond à l'équivalent du dépôt de 100 ergs d'énergie par gramme de tissu humain.
- Rem = roentgen equivalent man, une unité de dose absorbée qui prend en compte l'efficacité biologique relative (EBR), c'est-à-dire les dommages biologiques relatifs causés par les divers biais par lesquels les radiations ionisantes déposent leur énergie dans les tissus.
- La limite de dose moyenne a été mise au point par informatique pour les travailleurs sur une période en années. Il a été supposé que les travailleurs étaient âgés d'au moins 18 ans. La formule 5 (N-18) donne la dose cumulée maximale admise pour un travailleur d'âge N. La limite de dose moyenne par an est de cinq rem.
- Jusqu'à la publication du texte 5480.11 du DOE, la limite de dose totale devait inclure toute exposition interne pour laquelle le corps était l'organe critique. Pour le document 5480.11 du DOE, l'équivalent de dose engagée pour toutes les expositions internes devait être inclus. Avant 1988, les calculs des équivalents de dose efficace n'étaient pas exigés par la réglementation.

travailleurs étaient largement supérieures en Union soviétique qu'aux Etats-Unis.⁵ Pourtant, les estimations partielles que nous avons effectuées ici aboutissent à des chiffres si élevés que cette hypothèse pourrait devoir être reconsidérée pour de nombreux travailleurs de ces usines d'armements nucléaires oubliées.

Nous devons également faire remarquer que les atteintes sanitaires ont pu aller jusqu'à atteindre les familles des travailleurs et le grand public par des voies d'exposition que nous n'avons pas évaluées dans le rapport préliminaire.

Une nouvelle conclusion qui émerge de notre étude de l'usine Simonds est que les expositions ionisantes résultant du traitement du thorium 232 étaient très élevées. Ce type de traitement a également été effectué dans plusieurs autres sites (notamment l'usine Fernald). Il s'agit là d'un problème qui nécessite une évaluation plus précise, puisqu'il est possible que les expositions subies par les travailleurs, leurs familles et des membres du public à partir du traitement du thorium aient été plus importantes que ce qui a été suspecté, malgré les quantités relativement faibles (en comparaison de celle de l'uranium) de thorium qui ont été traitées.

Il est clair que les effets sur la société de la quête des

armes nucléaires sont bien plus vastes que ce qui avait été imaginé. Les tâches de surveillance et de suivi sanitaires en direction des populations affectées et celles de la décontamination semblent bien plus complexes que ce qui a été envisagé auparavant.



- 1 A. Makhijani est le président de l'IEER. B. Franke est un directeur scientifique de l'IfEU (Institut für Energie und Umweltforschung GmbH) à Heidelberg, en Allemagne. H. Zeriffi était directeur de recherche à l'IEER au moment de la préparation de ce rapport.
- 2 Nous avons utilisé les facteurs de conversion de doses établis par l'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis (EPA) (K.F. Eckerman et al., *Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, and Ingestion*, Federal Guidance Report Number 11. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1988). Pour les détails concernant la méthodologie et les hypothèses émises, ainsi que davantage de références, merci de consulter le rapport intégral sur le site web d'USA Today : <http://www.usatoday.com/news/poison/docdex.htm>.
- 3 *Monthly Status and Progress Report for December 1948*. Soumis par le New York Operations Office de la Commission à l'Energie Atomique (AEC) par W.E. Kelley, Manager. le 5 janvier 1949. p. 17
- 4 U.S. Atomic Energy Commission, New York Operations Office. *Health Hazards in NYOO Facilities Producing and Processing Uranium (A Status Report - April 1, 1949)*. Préparé par la division médicale NYOO. Publié le 18 avril 1949. p. 31
- 5 Arjun Makhijani et al., eds., *Nuclear Wastelands: A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects*. Cambridge, MA: MIT Press 1995, chapitre 7, p. 367.

KIT D'INFORMATION À DIFFUSER

L'Institute for Energy and Environmental Research s'est associé à deux autres organisations : l'Alliance for Nuclear Accountability et Physicians for Social Responsibility afin de compiler un kit d'information [(en anglais)] pour les militants et toute personne soucieuse de connaître les entreprises privées aux Etats-Unis dont l'implication dans la fabrication d'armements nucléaires a été récemment révélée.

Le Kit d'Information et d'Action sur les Sites Nucléaires Oubliés (*Forgotten Nuclear Sites Information and Action Kit*) a été conçu pour aider les personnes habitant à proximité de ces usines et les personnes qui y ont travaillé à obtenir davantage d'information sur la contamination de l'environnement et les effets sur la santé qui peuvent avoir résulté du fonctionnement de ces installations. Il propose également divers moyens de faire pression sur le gouvernement fédéral afin que celui-ci s'attaque réellement à ces problèmes.

Le kit comprend des informations sur le contexte, des articles de presse et une liste de référence sur les agences gouvernementales, les groupes locaux, et les documentations techniques. Il comprend aussi du matériel de campagne, comme par exemple des lettres-types à envoyer aux journaux et aux décideurs politiques.

Des sites nucléaires oubliés dans des dizaines d'Etats à travers le pays ont été révélés dans la série d'articles d'USA Today intitulée 'Poisoned Workers and Poisoned Places' (" Sites et Travailleurs empoisonnés ") publiés entre le 6 et le 8 septembre 2000. Les analyses de l'IEER sur trois de ces sites est résumée dans l'article principal en page 1.

Pour commander un kit (en anglais), contactez :

Alliance for Nuclear Accountability | 1914 N. 34th, Suite #407 | Seattle, WA 98103 USA
Tel.: 1-206-547-3175 | Fax: 1-206-547-7158 | Site web: <http://www.psr.org/forgotten>

L'Alliance for Nuclear Accountability est un réseau d'organisations locales, régionales et nationales qui travaillent ensemble pour la promotion de l'éducation et de l'action sur les thèmes liés au complexe américain d'armes nucléaires et aux installations qui y sont associées. Les Physicians for Social Responsibility, la branche américaine de l'IPPNW (*International Physicians for the Prevention of Nuclear War*-AMPGN- Association des Médecins pour la Prévention de la Guerre Nucléaire) est une organisation nationale de professionnels de la médecine et d'autres milieux dont les buts sont l'élimination des armes de destruction massive, la préservation d'un environnement soutenable, et la réduction de la violence entre les personnes.



En octobre 2000, le Congrès américain a voté et le Président Clinton a contresigné une loi, l'*Energy Employees Occupational Illness Compensation Act* (Loi d'indemnisation des maladies professionnelles des employés de l'énergie), un ensemble de lois conçues pour fournir des soins médicaux et des indemnités financières à certains travailleurs affectés à la fabrication d'armes nucléaires, qui ont eu des problèmes de santé par suite d'expositions à des radiations ionisantes, au béryllium ou à la silice en milieu professionnel.

Il s'agit là d'un événement en matière de programme d'indemnisation au niveau fédéral. Il doit permettre d'apporter de l'aide à de nombreux travailleurs dont les maladies professionnelles ont été niées par le gouvernement pendant de très nombreuses années. Cela a également renforcé les appels en faveur de la mise en place d'un processus qui s'occuperait des préjudices causés aux personnes habitant à proximité des usines de fabrication d'armes nucléaires. Quoi qu'il en soit, la loi est loin d'être parfaite, et elle ne couvre pas tous les travailleurs des armes nucléaires dont la santé a été affectée par des expositions à des radiations ionisantes et à des substances toxiques sur leur lieu de travail.

Les dispositions de ce programme prévoient :

- **Compensation :** Les travailleurs remplissant les conditions requises ou leurs survivants, recevront un paiement en une seule fois de 150 000 dollars. Parmi les personnes y ayant droit, on trouve certains employés du DOE (*Department of Energy* - Département de l'Énergie), des employés d'entreprises partenaires du DOE, et des employés de fournisseurs du DOE, dont la santé a été affectée à la suite de leur exposition à des radiations ionisantes, à du béryllium ou à la silice lors de leur emploi dans le cadre des programmes du DOE liés aux armements nucléaires. Les survivants peuvent déposer des demandes au nom des employés en question.
- **Prestations médicales.** Le gouvernement fédéral fournira des prestations médicales aux travailleurs y ayant droit dans le cadre de leur maladie professionnelle.
- **Bénéfice du doute pour une 'cohorte d'exposition spéciale'.** Pour une 'cohorte d'exposition spéciale' de travailleurs souffrant d'un cancer radio induit, il est présupposé que leur maladie a résulté d'expositions à des radiations ionisantes sur leur lieu de travail. La cohorte d'exposition spéciale comprend certains travailleurs d'usines d'enrichissement par diffusion gazeuse du Tennessee, du Kentucky et de l'Ohio (respectivement les usines d'*Oak Ridge*, de *Paducah* et de *Portsmouth*) et des travailleurs qui étaient employés pendant les essais nucléaires menés sur le site d'essais de l'île *Amchitka* en Alaska. Des catégories supplémentaires de travailleurs pourraient être considérées comme membres de la cohorte d'exposition spéciale si le président des États-Unis, désigné pour la mise en application du programme, définit que '(1) il n'est pas possible d'estimer avec suffisamment de certitude la dose d'irradiation reçue par la catégorie; et (2) qu'il y a une probabilité raisonnable que la dose d'irradiation ait pu mettre en danger la santé des membres de cette catégorie.'
- **Définition de l'admissibilité.** Les individus souffrant d'un cancer radio induit qui ne font pas partie de la 'cohorte d'exposition spéciale' ne peuvent y avoir droit que si la probabilité que le cancer soit lié à leur travail dans les armements nucléaires est 'au moins égale à la probabilité qu'il ne le soit pas'. Cela signifie qu'il devrait y avoir au moins un doublement du risque pour que ce travailleur y ait droit (en d'autres termes, le travailleur devrait avoir deux fois plus de chance qu'une personne non exposée de contracter ce cancer particulier). Ce critère pourrait aboutir à ce que de nombreux travailleurs exposés soient exclus de l'indemnisation bien qu'ils encourrent le risque de contracter une maladie donnant droit à indemnisation suite à leur exposition, et ceci même si leurs expositions ont été plus élevées que celles admises au niveau légal. L'effet de ce test pourrait être mitigé par la clause sur le bénéfice du doute exposée plus haut, en fonction des directives pour sa mise en application (voir ci-dessous). Selon la législation, le risque de contracter un cancer à la suite d'une dose d'irradiation donnée est estimé en utilisant " un intervalle de confiance supérieur à 99 pour cent de la probabilité de causalité dans les tables radio épidémiologiques ". Cela signifie que la probabilité de causalité utilisée pour estimer le risque sera supérieure pour une dose donnée que si l'estimation médiane était utilisée. Cela va également amoindrir dans une certaine mesure l'effet réalisé en plaçant la barre haut pour l'admissibilité par le doublement de la norme de risque.
- **Droit de financement.** Les fonds pour les prestations sont assurés par le biais d'un programme de dépenses garanti. Cela signifie que le Congrès ne va pas décider de la somme qu'il attribue au fonds chaque année, mais que les dépenses seront obligatoires et n'auront pas à passer par le processus annuel d'étude du crédit budgétaire. (Le programme américain de Sécurité Sociale (programme de retraite) est un autre exemple de programme social garanti).
- **Augmentation des prestations pour les travailleurs de l'uranium.** L'indemnisation pour les travailleurs malades des mines, des usines de traitement et des sociétés de transport de minerai d'uranium - qui sont couverts par une loi différente, l'Acte d'Indemnisation pour les Expositions aux Radiations Ionisantes (*Radiation Exposure Compensation Act*) - passera de 100 000 dollars à 150 000 dollars, et la nouvelle loi leur fournira également une couverture médicale.
- **Mise en application.** La loi spécifie que le Président devra soumettre au Congrès avant le 15 mars 2001 une proposition de loi visant à mettre en œuvre le programme d'indemnisation. Cette proposition devrait inclure les types d'indemnisation qui devront être fournis, et devrait préciser si la cohorte d'exposition spéciale est ou non étendue pour inclure de nouvelles catégories d'employés, et si le programme est ou non étendu pour inclure d'autres maladies associées à l'exposition à des substances toxiques. Le Congrès devra alors donner suite à la proposition du Président au plus tard avant le 31 juillet 2001. Si le gouvernement n'y donne pas suite avant cette date, certaines parties de la loi existante prendront automatiquement effet au 31 juillet 2001, notamment celles apportant indemnités et prestations médicales à certains travailleurs du nucléaire et du secteur de l'uranium.
- **Indemnisation.** S'ils acceptent le paiement en une seule fois et les prestations médicales, les travailleurs et leurs familles n'auront pas le droit de porter plainte contre le gouvernement ou ses sous-traitants. Le paiement effectué dans le cadre de cette loi serait considéré comme un solde pour tout compte concernant les plaintes portées contre les États-

LIRE LA SUITE PAGE 12

Unis, contre tout partenaire ou sous-traitant du DOE, tout vendeur de béryllium ou tout employeur engagé dans la fabrication d'armes atomiques, pour la maladie couverte.

La loi ne prend pas en compte le problème des non-travailleurs qui ont subi les effets de la production et de l'expérimentation d'armes nucléaires. Elle ne prévoit pas non plus de prestations médicales pour les membres de la famille des travailleurs qui peuvent être devenus malades à la suite d'expositions. Telle quelle, la loi ne rembourse pas les salaires perdus des travailleurs suite aux maladies professionnelles. De plus, l'admission de tous les travailleurs, y compris ceux qui ont travaillé dans des usines privées comme celles décrites dans l'article principal de la page 1 - n'est pas claire.

Le gouvernement estime que 4000 anciens travailleurs des armes nucléaires de par le pays auront droit au programme. Pour commencer, le Congrès a autorisé le déblocage de 275 millions de dollars pour ce programme dans l'année à venir. Le bureau du budget du Congrès estime que les travailleurs concernés par ce

programme vont recevoir 1,4 milliards de dollars de prestations au cours des 10 prochaines années, et que les travailleurs de l'uranium vont quant à eux recevoir 450 millions de dollars. Le programme a été adopté sous forme d'un amendement à la loi d'autorisation du budget de la défense pour l'année fiscale 2001.

Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le site web du DOE sur le programme d'indemnisation des maladies professionnelles des employés de l'énergie, : <http://tis.eh.doe.gov/portal/feature/titlexxxvi.html>, ou appeler le service spécial d'aide à l'indemnisation des travailleurs du DOE au : 1-877-447-9756.

¹ Les cancers radio induits sont définis comme cancers du conduit biliaire, des os, du cerveau, du sein, du colon, de l'œsophage, de la vésicule biliaire, des reins, du foie, des poumons, des ovaires, du pancréas, du pharynx, des glandes salivaires, de l'intestin grêle, de l'estomac, de la thyroïde, de la vessie ainsi que des leucémies (à l'exception de la leucémie lymphatique chronique), des cancers du système lymphatique (à l'exception de celui de Hodgkin), et des cancers de la moelle osseuse.

ETUDES DE RISQUES SUITE DE LA PAGE 1

évaluations de risques des centrales nucléaires, et comment leurs résultats sont utilisés. Nous sommes arrivés à la conclusion que les évaluations de risques présentent des défauts de conception considérables et que leurs résultats sont utilisés d'une façon inappropriée qui aboutit à augmenter - et non à diminuer - la menace pour le public américain.

Les évaluations de risque des centrales nucléaires n'en sont pas vraiment parce que les conséquences potentielles d'un accident n'y sont pas évaluées. Elles se contentent seulement d'examiner les probabilités d'accidents - c'est-à-dire seulement la moitié de la problématique du risque. De surcroît, les calculs de probabilité d'accident présentent de graves défauts. Ils se basent sur des hypothèses qui contredisent l'expérience réelle retirée de l'exploitation des installations.

Toute analyse de probabilité émet des hypothèses. Par exemple, lorsque l'on calcule, dans un jeu de " pile ou face ", que la probabilité que la pièce tombe du côté " face " est de 50 pour cent, on émet alors l'hypothèse que la pièce ne va pas tomber sur la tranche. Les évaluations probabilistes de risques des centrales nucléaires se basent sur de nombreuses hypothèses non réalistes qui vont à l'encontre des données réelles provenant de l'exploitation de centrales nucléaires:⁴

Hypothèse : L'exploitation des installations respecte le cahier des charges techniques et les autres exigences réglementaires.

Réalité des faits : Il y a plus de 1000 violations du cahier des charges et des exigences réglementaires chaque année. En conséquence de cette hypothèse peu réaliste, les fréquences des dommages au cœur (*CDF - core damage frequencies*) calculées dans les évaluations

probabilistes des risques sont trop basses. En émettant l'hypothèse que les équipements de secours satisfont aux obligations de sûreté alors que ce n'est pas le cas en réalité, les évaluations probabilistes des risques calculent des capacités de réponse supérieures à la réalité. En d'autres termes, les fréquences de dommages au cœur sont en fait bien plus élevées que ce qui est rapporté dans les évaluations.

Hypothèse : La conception et la construction des centrales sont parfaitement appropriées.

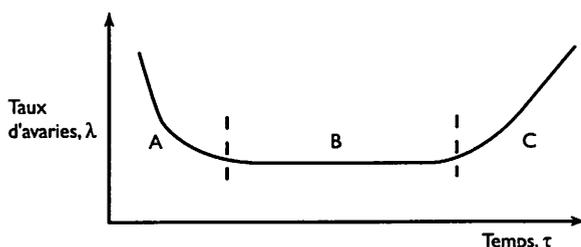
Réalité des faits : L'évaluation des risques se base sur la supposition qu'il n'y a aucun problème de conception et de construction, alors que l'on découvre des centaines de problèmes de ce genre chaque année. Le bureau de la NRC pour l'Analyse et l'évaluation des données d'exploitation (*Office for Analysis and Evaluation of Operational Data*) a inventorié 3540 erreurs de conception entre 1985 et 1994.⁵ Cela signifie qu'une erreur de conception a été découverte dans une centrale nucléaire aux Etats-Unis presque chaque jour pendant toute une décennie.

Hypothèse : Il n'existe pas de vieillissement des centrales, c'est-à-dire que les équipements tombent en panne à un rythme constant.

Réalité des faits : La NRC a publié plus d'une centaine de rapports techniques sur la dégradation des valves, des tuyauteries, des moteurs, des câbles, du béton, des interrupteurs et des cuves de centrales nucléaires causées par le vieillissement.⁶ Ces rapports démontrent que certaines parties des centrales nucléaires suivent le processus de vieillissement qui suit une

LIRE LA SUITE PAGE 13
VOIR LA PAGE 15 POUR LES ANNOTATIONS

“ courbe en baignoire ”, illustrée dans la figure ci-dessous. Une démonstration révélatrice des effets du vieillissement s’est produite en 1986. Quatre employés ont été tués dans une centrale nucléaire en Virginie parce qu’une portion d’un tuyau s’est érodée au fur et à mesure du temps, jusqu’à se rompre et ébouillanter les travailleurs avec la vapeur [qu’il contenait].⁷ Malgré cela, la plupart des évaluations probabilistes de risques ne prennent en compte aucun effet de vieillissement.



“Courbe en baignoire” du taux d’avarie

Hypothèse : Les cuves sous pression des réacteurs ne subissent jamais d’avarie.

Réalité des faits : L’expérience a démontré que cette hypothèse présente autant de failles et de défauts que les cuves elles-mêmes. En 1995 l’UCS a publié un rapport sur l’état de fragilité des cuves de pression des réacteurs des centrales nucléaires.⁸ Par exemple, la centrale de Yankee Rowe au Massachusetts a été fermée en 1992 parce que la cuve sous pression de ce réacteur était peu à peu devenue fragile. Le métal fragilisé peut se briser, à la manière du verre chaud, placé dans de l’eau froide. Malgré la fermeture de la centrale de Yankee Rowe et les problèmes de fragilisation [des équipements], avec documentation à l’appui, dans de nombreuses autres centrales nucléaires, les études de risques continuent de considérer qu’il n’y a aucun risque de dysfonctionnement de cuve de réacteur sous pression.

Hypothèse : Les travailleurs des centrales ne font que très peu d’erreurs graves.

Réalité des faits : Un rapport publié en février 2000 par l’Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (INEEL - Laboratoire national de l’Idaho spécialisé dans l’ingénierie et l’environnement) démontre que des hypothèses injustifiées concernant le comportement des travailleurs continuent d’être à l’origine de problèmes. Les chercheurs de l’INEEL ont examiné 20 événements récents s’étant produits lors de l’exploitation de centrales nucléaires, et sont arrivés à la conclusion suivante : “ L’analyse des événements d’exploitation fait apparaître que la plupart des facteurs humains qui ont contribué de façon significative à ces événements sont absents dans la mise au point des évaluations probabilis-

tes de risques actuelles... [Ces évaluations] ne prennent pas en compte comme il le faudrait les types d’erreurs latentes, les dysfonctionnements multiples ou les types d’erreurs dégagés par l’analyse comme étant importants dans ces incidents d’exploitation. ”⁹

Hypothèse : Les risques sont limités à des dommages au cœur du réacteur.

Réalité des faits : Les évaluations probabilistes des risques ne déterminent que les probabilités d’événements menant à des dommages au cœur du réacteur. Elles ne calculent pas les probabilités d’autres événements qui pourraient aboutir à des irradiations, telles que le déclenchement d’une réaction en chaîne dans le combustible stocké dans les piscines de combustibles usés ou la rupture d’une grande cuve remplie de gaz radioactifs. Certains de ces événements négligés peuvent avoir des conséquences graves. Par exemple, les chercheurs du Laboratoire National de Brookhaven ont estimé qu’un accident dans une piscine de combustibles usés pourrait rejeter assez de matières radioactives pour tuer des dizaines de milliers de personnes.¹⁰

L’histoire a montré que le réalisme de ces hypothèses était plus faible que la probabilité qu’une pièce jetée “ à pile ou face ” tombe sur sa tranche. Les hypothèses peu réalistes des évaluations probabilistes de risques rendent leurs résultats aussi peu réalistes. En langage de programmation informatique, on dirait “ garbage in, garbage out ”, ou “la qualité des résultats est fonction de la qualité des données à l’entrée ”.

De surcroît, la NRC oblige les propriétaires de centrales à réaliser les calculs, sans avoir réussi à établir des normes minimales pour les calculs de probabilité d’accidents. Par conséquent, les probabilités rapportées sont très différentes pour des modèles de centrales quasiment identiques. Quatre études de cas illustrent clairement ce problème :

- ▶ La centrale Wolf Creek au Kansas et la centrale de Callaway dans le Missouri ont été construites de façon totalement identiques, elles ont toutes deux été conçues selon le même modèle Westinghouse standardisé. Mais on indique un risque 10 à 20 fois plus important à Callaway qu’à Wolf Creek pour qu’un même événement aboutisse à des dommages au cœur du réacteur.
- ▶ Les centrales Indian Point 2 et 3 sont toutes deux construites sur le même modèle Westinghouse, et sont situées côte à côte dans l’Etat de New York, mais elles sont exploitées par des propriétaires différents. Sur le papier, Indian Point 3 a plus de 25% de chances de subir un accident que sa centrale jumelle n°2.
- ▶ Les centrales nucléaires Sequoyah et Watts Bar dans

LIRE LA SUITE PAGE 14
VOIR LA PAGE 15 POUR LES ANNOTATIONS

le Tennessee ont été construites selon le même modèle Westinghouse. Toutes deux sont exploitées par le même propriétaire. La centrale la plus récente, Watts Bar, devait selon les calculs d'origine, avoir 13 fois plus de chances d'avoir un accident que sa centrale jumelle. Après des reprises des calculs, Watts Bar aurait maintenant deux fois plus de chances de subir un accident.

- Les centrales nucléaires conçues par General Electric sont équipées d'un système de secours pour la mise à l'arrêt du réacteur en cas de dysfonctionnement du système normal de barres de contrôle. Sur le papier, ce système de secours est très fiable. L'expérience des faits, pourtant, montre qu'il n'a pas du tout été aussi fiable que l'affirme l'évaluation des risques.

Pire, la NRC autorise les propriétaires de centrales à augmenter les risques en réduisant le nombre d'essais et d'inspections des équipements de sûreté. La NRC approuve ces réductions en se basant sur les résultats d'évaluations probabilistes des accidents qui sont incomplets et inexacts.

Lorsque la NRC apprend qu'une centrale nucléaire ne respecte pas les réglementations fédérales de sûreté, elle se base alors sur les probabilités d'accidents calculées afin d'estimer les risques. La NRC - sous la pression constante de l'industrie nucléaire - a récemment accepté un nouveau concept de "réglementation informée des risques", dans laquelle de nombreuses réglementations de sûreté sont éliminées et l'ampleur d'autres réglementations a été réduite de façon significative, en se basant sur les résultats des évaluations de risques. Il reste alors à répondre à une question critique : les évaluations de risques sont-elles suffisamment exactes pour qu'on se base ainsi sur elles pour toutes ces décisions ?

En somme, le risque qu'un accident majeur se produise dans une centrale nucléaire est inconnu, parce que, bien que la probabilité d'un accident ait été évaluée (quoique avec des hypothèses erronées et des définitions et procédures illogiques), les conséquences d'un tel accident n'ont pas été évaluées. L'analyse suivante va tenter d'utiliser d'autres sources d'information pour apporter la pièce manquante de ce puzzle des risques.

Un accident de centrale nucléaire peut porter atteinte à la santé du public en rejetant des matières radioactives. Les matières radioactives émettent des particules alpha, des particules bêta, des rayonnements gamma et/ou des neutrons. Ces émissions sont appelées "radiations ionisantes" parce que les particules produisent des ions lorsqu'ils interagissent avec certaines substances.¹¹

La NRC doit pouvoir devenir plus indépendante de l'industrie nucléaire

A la suite de l'accident de Three Mile Island (TMI) en 1979, le Laboratoire National de Sandia a estimé les conséquences potentielles pour des accidents de réacteurs qui aboutissent au rejet de grandes quantités de radioactivité dans l'atmosphère. Pour chaque centrale nucléaire qui était alors en exploitation ou en voie d'achèvement, le laboratoire Sandia a défini la quantité de radioactivité qui pourrait être rejetée à la suite d'un accident majeur, mais aussi les conditions météorologiques de la région et populations vivant dans la zone située sous le panache radioactif issu de la centrale. Sandia a alors estimé le nombre de personnes

qui mourraient dans l'année ou auraient des problèmes de santé à cause des expositions ionisantes. Sandia a également estimé le nombre de personnes qui trouveraient la mort par la suite de maladies radio-induites comme le cancer. Les estimations des

premiers cas de décès peu après un accident se chiffrent à environ 700 pour un petit réacteur et jusqu'à 100 000 pour les plus gros réacteurs. Les estimations de décès par cancers vont de 3000 à 40000. Les estimations de morbidité générale vont de 4000 à 610 000. A titre de comparaison, la bombe atomique larguée sur Hiroshima a causé la mort de 140 000 personnes, et celle tombée sur Nagasaki a tué 70 000 personnes.¹²

Les évaluations de risques pour les centrales nucléaires étant incomplètes et inexactes, elles n'apportent pas de bases sérieuses à la NRC pour justifier le passage à la réglementation "informée du risque". Avant que la NRC ne poursuive sa démarche vers une réglementation "informée du risque", elle doit atteindre les objectifs suivants :

1. Etablir une norme minimale pour les évaluations de risques des centrales nucléaires qui comprennent des méthodes appropriées visant à :
 - a) prendre en compte le fait que les centrales nucléaires puissent ne pas respecter toutes les caractéristiques techniques et les obligations réglementaires;
 - b) prendre en compte le fait que des erreurs peuvent avoir été commises dans la conception, la fabrication et la construction des centrales nucléaires;
 - c) prendre en compte le vieillissement de l'équipement;
 - d) traiter la probabilité de défaillance de la cuve sous pression du réacteur;
 - e) prendre en compte les problèmes liés à l'efficacité humaine
 - f) prendre en compte les événements autres que les dommages causés au cœur du réacteur, au cours

LIRE LA SUITE PAGE 15

desquels les travailleurs de la centrale et les membres du public peuvent être exposés à des matières radioactives (par exemple les accidents dans les piscines de combustibles usés et les ruptures des réservoirs de stockage de déchets radioactifs);

- g) prendre en compte les conséquences des accidents de centrales nucléaires pour les travailleurs et les membres du public;
 - h) justifier les hypothèses utilisées dans les évaluations de risques; et
 - i) mettre à jour les évaluations de risques lorsque les hypothèses sont modifiées.
2. Exiger que tous les exploitants nucléaires développent des évaluations de risques - non probabilistes - qui remplissent les conditions ou soient supérieures à la norme minimale.
 3. Exiger que tous les exploitants nucléaires mettent à jour les évaluations de risques afin que les modifications dans l'installation et/ou dans les procédures utilisées dans l'installation soient prises en compte.
 4. Exiger de tous les propriétaires d'installations nucléaires qu'ils rendent publiques les évaluations de risques.
 5. Mener des inspections sur toutes les centrales nucléaires afin de vérifier que les évaluations de risques remplissent les conditions exigées par les normes minimales, ou sont supérieures à celles-ci.
 6. Ne plus autoriser la moindre utilisation de résultats d'évaluations de risques afin de définir la limite entre les pratiques acceptables et inacceptables jusqu'à ce que toutes les démarches énumérées ci-dessus soient menées à terme.

Un effort considérable sera nécessaire de la part de la NRC pour mettre ces recommandations en application. Malheureusement, la NRC pourrait ne pas être en mesure d'effectuer ces démarches de sûreté parce qu'elle est sous pression du Congrès américain qui lui demande de réduire son budget. Pourquoi ? La NRC est une agence basée sur des cotisations. La plupart de son budget est assuré non par les contribuables mais par les propriétaires des installations. Ceux-ci ont exercé un lobby sur le Congrès pour réduire radicalement le budget de la NRC. Le Congrès a suivi cette demande, et a effectué des coupes claires dans le budget. En 1987, la NRC avait 850 salariés au niveau régional et 790 au niveau de son siège. Dix ans plus tard, des coupes chroniques dans son budget avaient réduit la NRC à 679 employés régionaux et 651 employés au bureau principal.¹³ En l'espace d'une

décennie qui a démarré avec 101 autorisations de centrales nucléaires, et qui s'est terminée avec 109 centrales, la NRC a perdu 20 pour cent de ses inspecteurs de la sûreté.¹⁴

La NRC doit pouvoir devenir plus indépendante de l'industrie nucléaire au niveau financier afin qu'elle puisse jouer correctement son rôle d'autorité de sûreté nucléaire avant qu'il ne soit trop tard.



- 1 David Lochbaum est ingénieur en sûreté nucléaire à l'Union of Concerned Scientists (Union des scientifiques responsables -UCS). Cet article est basé sur le rapport de l'UCS dont il est l'auteur, Nuclear Plant Risk Studies: Failing the Grade (Cambridge, Mass.: Union of Concerned Scientists, août 2000), qui peut être commandé à l'UCS (Tel. aux Etats-Unis + 1-617-547-5552) ou téléchargé à partir de leur site web, <http://www.ucsusa.org>.
- 2 Chambre des Représentants des Etats-Unis, Committee on Interior and Insular Affairs Subcommittee on Oversight & Investigations, "Calculation of Reactor Accident Consequences (CRAC2) for US Nuclear Power Plants (Health Effects and Costs) Conditional on an 'SST1' Release," le 1er novembre 1982; et Commission de Réglementation Nucléaire des Etats-Unis, "A Safety and Regulatory Assessment of Generic BWR and PWR Permanently Shutdown Nuclear Power Plants," NUREG/CR-6451, Washington, D.C., août 1997.
- 3 Richard L. Hudson, "Cost of Chernobyl Nuclear Disaster Soars in New Study," *Wall Street Journal*, le 29 mars 1990.
- 4 Commission de la Réglementation Nucléaire des Etats-Unis, "Individual Plant Examination Program: Perspectives on Reactor Safety and Plant Performance," NUREG-1560, Vol. 2, Parties 2-5, p. 14-3, Washington, D.C., novembre 1996.
- 5 Sadanandan V. Pullani, "Design Errors in Nuclear Power Plants," AEOD/T97-01, Washington, D.C.: NRC Office for Analysis and Evaluation of Operational Data, janvier 1997.
- 6 Commission de la Réglementation Nucléaire, "NRC Research Program on Plant Aging: Listing and Summaries of Reports Issued Through September 1993," NUREG-1377, Rev. 4, Washington, D.C., décembre 1993.
- 7 Brian Jordan, "NRC Finds Surry Accident Has 'High Degree' of Safety Significance," *Inside NRC*, Washington, D.C.: McGraw-Hill, le 5 janvier 1987
- 8 Robert Pollard, "US Nuclear Power Plants—Showing Their Age—Case Study: Reactor Pressure Vessel Embrittlement," Cambridge, Mass.: Union of Concerned Scientists, décembre 1995.
- 9 Jack E. Rosenthal to John T. Larkins, "Meeting with the Advisory Committee on Reactor Safeguards Human Factors Subcommittee, le 15 mars 2000, SECY-00-0053, NRC Program on Human Performance in Nuclear Power Plant Safety," Washington, D.C.: Nuclear Regulatory Commission, le 6 mars 2000. (Note de l'éditeur : Ce rapport a été préparé par l'INEEL pour la NRC.)
- 10 Commission de la Réglementation Nucléaire, "A Safety and Regulatory Assessment of Generic BWR and PWR Permanently Shutdown Nuclear Power Plants," NUREG/CR-6451, Washington, D.C., août 1997. (Note de l'éditeur : Ce rapport a été préparé par le Laboratoire National de Brookhaven pour la NRC.
- 11 Code of Federal Regulations, Title 10, Energy, Section 20.1003, Definitions.
- 12 Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, New York: Simon & Schuster, pp. 734 and 740, 1986.
- 13 Bureau de la Réglementation des Réacteurs Nucléaires de la NRC, «Regulatory Trends», Washington, D.C., avril 1997.
- 14 Sadanandan V. Pullani, "Design Errors in Nuclear Power Plants," AEOD/T97-01, Washington, D.C.: NRC Office for Analysis and Evaluation of Operational Data, janvier 1997.



L'ÉNIGME ATOMIQUE



Gamma, le chien qui flaire les rayonnements ionisants, est remonté dans le temps et a failli mourir étouffé en respirant les poussières d'uranium présentes dans certaines usines privées qui traitaient l'uranium naturel pendant les années 1940 et 1950 en sous-traitance pour la Commission à l'Énergie Atomique des États-Unis (AEC). Mais Gamma a survécu pour pouvoir raconter ce qui lui était arrivé. A partir des dépôts d'uranium sur son pelage, il a abouti à la conclusion que :

- ▶ la concentration en uranium présente dans l'air que les travailleurs respiraient étaient de 1.200 dpm par mètre cube
- ▶ la solubilité de l'uranium était moyenne. Par conséquent, le fait d'absorber 1 becquerel de poussière d'uranium (=60 dpm) par inhalation aboutit à une dose d'irradiation aux poumons d'environ 4,2 millirems. (On appelle cela le facteur de conversion de dose aux poumons pour l'inhalation - ce chiffre spécifique est lié à un taux donné de solubilité de l'uranium).

RAPPEL

dpm signifie désintégrations par minute
becquerel (Bq en abrégé) signifie désintégrations par seconde (dps)
1000 millirems (mrem en abrégé) = 1 rem

Gamma s'est alors lancé dans une série d'estimations:

1. Le nombre de becquerels qu'un travailleur inhalerait au cours d'une journée de travail de 8 heures, s'il inhale environ 1,2 mètres cubes par heure.
2. Le nombre de becquerels qu'un travailleur absorberait par inhalation au cours d'une période de trois ans s'il travaillait 230 jours par an.
3. La dose d'irradiation quotidienne aux poumons.
4. La dose d'irradiation totale aux poumons pour une période de travail de trois ans.
5. Gamma a également comparé la dose aux poumons par rapport aux normes qui prévalaient à l'époque (la dose maximale admissible) de 15 rem par an. Combien de fois ce travailleur a-t-il reçu cette dose maximale annuelle admissible ?

Répondez aux problèmes 1-5 afin que Gamma puisse comparer son travail au vôtre.

La solution de l'énigme atomique sera donnée dans un numéro futur.

The Institute for Energy and Environmental Research

6935 Laurel Avenue, Takoma Park, MD 20912,
USA

Phone: (301) 270-5500

FAX: (301) 270-3029

Adresse Internet: ieer@ieer.org

Page Web: <http://www.ieer.org>

