



Maladies non diagnostiquées et guerre radiologique

par Asaf Durakovic (Uranium Medical Research Center Washington D.C., États-Unis)

17 Septembre 2009

L'expérimentation et l'usage de la bombe atomique, puis des munitions et blindages à l'uranium appauvri, ont irradié les lieux d'expérimentation et les théâtres d'opération. Des maladies nouvelles ont atteint aussi bien les soldats de l'Alliance atlantique qui maniaient ces armes, que leurs ennemis, ou que les populations civiles. Longtemps après le retour de la paix, les radiations continuent à contaminer ceux qui y sont exposés. Bien que les gouvernements « occidentaux » aient volontairement entravé le plus longtemps possible la recherche médicale en cette matière, une abondante documentation a été amassée au cours des ans. Nous publions une longue synthèse dans laquelle Asaf Durakovic dresse le bilan des connaissances actuelles de cette catastrophe sanitaire. Désormais, la manière dont les pays de l'OTAN font la guerre peut aussi tuer leurs propres ressortissants en temps de paix.



Enfants victimes de mutations dues à l'utilisation militaire, par les forces de l'OTAN, d'uranium appauvri

Une contamination interne par des isotopes d'uranium appauvri (UA) a été constatée parmi les anciens combattants britanniques, canadiens et états-uniens de la guerre du Golfe neuf ans encore après leur exposition à de la poussière radioactive lors de la première guerre du Golfe. Des isotopes d'UA ont été également observés dans des échantillons d'autopsie de poumons, de foie, de reins et d'os prélevés sur des vétérans canadiens. Dans des échantillons de sol prélevés au Kosovo, on a trouvé des centaines de particules de diamètre généralement inférieur à 5 µm pesant des milligrammes. La première guerre du Golfe a laissé dans l'environnement 350 tonnes d'UA et dans l'atmosphère 3 à 6 millions de grammes d'aérosols d'UA. Ses conséquences, le syndrome de la guerre du Golfe, consistent en troubles complexes multiorganiques, progressifs et invalidants : fatigue invalidante, douleurs musculo-squelettiques et articulaires,

maux de tête, troubles neuropsychiatriques, changements de l'humeur, confusion mentale, problèmes visuels, troubles de la démarche, pertes de mémoire, lymphadénopathies, déficience respiratoire, impuissance et altérations morphologiques et fonctionnelles du système urinaire.

Ce que l'on sait actuellement sur les causes est totalement insuffisant. Après l'Opération Anaconda menée en Afghanistan (2002), notre équipe a examiné la population dans les régions de Jalalabad, Spin Gar, Tora Bora et Kaboul et a constaté que les civils présentaient des symptômes semblables à ceux du syndrome de la guerre du Golfe. Des échantillons d'urine de 24 heures ont été prélevés sur 8 sujets symptomatiques choisis selon les critères suivants :

1. Les symptômes ont commencé juste après le largage des bombes.
2. Les sujets étaient présents dans la région bombardée.
3. Manifestations cliniques.

Des prélèvements ont été effectués sur un groupe témoin d'habitants asymptomatiques de régions non bombardées. Tous les prélèvements ont été examinés quant à la concentration et au ratio de quatre isotopes U234, U235, U236 et U238. À cet effet, nous avons utilisé un spectromètre de masse multicollecteur à source d'ionisation par plasma à couplage inductif. Les premiers résultats de la province de Jalalabad ont prouvé que l'élimination d'uranium total dans l'urine était significativement plus importante chez toutes les personnes exposées que dans la population non exposée. L'analyse des ratios isotopiques d'uranium a révélé la présence d'uranium non appauvri. L'étude de prélèvements effectués en 2002 a révélé, dans les districts de Tora Bora, Yaka Toot, Lal Mal, Makam Khan Farm, Arda Farm, Bibi Mahre, Poli Cherki et à l'aéroport de Kaboul des concentrations d'uranium 200 fois plus fortes que celles de la population témoin. Les taux d'uranium dans les échantillons de sol des sites bombardés sont deux à trois fois plus élevés que les valeurs limites mondiales de concentration de 2 à 3 mg/kg et les concentrations dans l'eau sont significativement supérieures aux taux maximums tolérables fixés par l'OMS. Ces preuves toujours plus nombreuses font de la question de la prévention et de la réponse à la contamination par l'UA une priorité.

« Rien ne protège de cette force fondamentale de l'univers. » Albert Einstein

La réalité de la guerre thermonucléaire se résume le mieux par l'affirmation d'Albert Einstein selon laquelle cette énergie suffit pour faire sauter la Terre [1]. Le champ de bataille nucléaire ne se limite plus à un pays ou à un continent, il dépasse de beaucoup les frontières politiques et géographiques et fait de chaque région une grande zone de guerre. Si une guerre nucléaire stratégique impliquant un arsenal de dix mille mégatonnes avait lieu, un milliard de personnes mourraient immédiatement de leurs blessures directes combinées (explosion, chaleur, radiations), un autre milliard succomberaient aux maladies dues au rayonnement [2] et les survivants devraient vivre dans un environnement exposé à des retombées radioactives qui exerceraient des effets somatiques et génétiques aux conséquences probablement irréversibles pour la biosphère.

1 Einstein « A. Energy, enough to cleave the Earth ». Bioscience 1947 ; 35:584-5.

2 Ehrlich PR, Harte J, Harwell MA, Raven PH, Sagan C, Woodwell GM et al.. « Long term biological consequences of nuclear war ». Science 1983 ; 222:1293-300.

La course aux armements nucléaires

Le premier essai de bombe atomique, baptisé Trinity, a eu lieu le 16 juillet 1945 à Alamogordo, aux environs de Los Alamos, au Nouveau-Mexique (États-Unis). En un millionième de seconde, la chaleur de la première bombe atomique a atteint plusieurs millions de degrés centigrades, cette bombe dégageant plus de 400 isotopes radioactifs et une grande énergie de liaison dont la pression était de plusieurs milliers de tonnes par centimètre carré. Pendant une fraction de seconde, le noyau de la bombe a été onze fois plus chaud que la surface du soleil. La taille de la boule de feu a atteint des centaines de mètres, car le noyau de la bombe s'est mélangé avec des atomes d'oxygène et d'azote, dévoilant le noyau intérieur brillant de l'explosion. En une seconde, la terre vaporisée s'est transformée en un champignon atomique d'une hauteur de 3000 m. A 150 milles de là, dans l'Arizona, les voyageurs de l'Union Pacific Railway ont pu voir la boule de feu. Les témoins ont donné différentes interprétations de ce phénomène, d'aucuns décrivant ses effets comme ceux de la chute d'un bombardier, d'autres comme un incendie de l'atmosphère ou l'arrivée d'une météorite. Des témoins habitant Gallup, ville située à 235 milles au nord du lieu de l'explosion, ont pensé assister à l'explosion d'un dépôt de munitions de l'armée [3]. 20 jours après l'essai Trinity, le 6 août 1945 à 8 h 15, une bombe atomique a été larguée sur Hiroshima. Elle a explosé à environ 633 mètres au-dessus de la ville, a voilé le soleil, tué 130 000 personnes, causé 80 000 invalides et rendu malades 90 000 personnes en raison des retombées radioactives ultérieures. En quelques heures, une pluie noire est tombée, des cendres blanches ont recouvert l'épicentre et causé des brûlures dermiques. La plupart des victimes primaires sont mortes des effets combinés de la chaleur, de la pression et d'une maladie aiguë des rayons. Hiroshima a été pratiquement rayé de la carte [4].

Deux jours plus tard, le 8 août 1945 à 11 h 01, une bombe au plutonium baptisée Fat Man a été larguée sur Nagasaki. Comme à Hiroshima, le soleil a disparu lorsque le champignon atomique s'est élevé. La population de la ville rayée de la carte est morte des mêmes blessures combinées qu'à Hiroshima. Il en est résulté la fin de la Seconde Guerre mondiale et des gains territoriaux pour l'Union soviétique. Quand une équipe de recherches sur les armements de Khrouchtchev a commencé, à l'automne 1948, à développer une bombe russe, ce fut le début de la course aux essais nucléaires. Les essais se sont poursuivis parallèlement aux États-Unis et en Union soviétique. Après la mort de Staline en 1953, l'Union soviétique a fait exploser, le 12 août, la première bombe mobile à hydrogène. Il s'agissait de sa deuxième bombe thermonucléaire. Réalisant que les Soviétiques étaient en train de gagner la course aux armements nucléaires, les États-Unis ont commencé à accélérer leurs programmes d'essais.

En 1955, il est devenu évident que les essais endommageaient irrémédiablement la biosphère [5]. Plus de 400 isotopes radioactifs libérés par chaque essai ont été identifiés comme cause de pollution. 40 de ces isotopes mettent en danger la santé humaine. Toute kilotonne libérée génère quelques grammes de radioisotopes aux propriétés toxiques pour l'organisme. En raison de sa longue demi-vie, de sa désintégration bêta et de ses propriétés spécifiques de l'os, le strontium-90 constitue le risque principal. De surcroît, les essais d'armes nucléaires ont provoqué des accidents. En 1958, un B-57 des Forces de l'air états-uniennes a largué la première bombe atomique dans les environs de Florence, en Caroline du Sud. La bombe, non armée, n'a pas explosé mais a parsemé le pays de matériaux radioactifs. La même année, un B-52 a largué une bombe atomique de deux mégatonnes dans les environs de Goldsboro, en Caroline du Nord. L'aviation états-unienne a enregistré par la suite d'autres accidents, notamment à Toula, au Groenland, et à Palomares, en Espagne. À Palomares, deux bombes au plutonium ont contaminé une grande partie du territoire et de la côte atlantique.

En 1958, après la catastrophe de Tchelyabinsk-40, l'Union soviétique a suspendu ses essais nucléaires. Toutefois, elle a bientôt repris ses essais de bombes de plusieurs mégatonnes dans la région arctique de Novaya Zemlya et a largué, le 9 septembre 1961, une bombe d'une puissance explosive de 50 mégatonnes. Entre-temps, aux États-Unis, les indices d'une contamination de l'environnement s'accrurent, tout comme ceux d'une augmentation de l'incidence des cancers, des leucémies et d'autres troubles parmi ceux qui avaient travaillé dans le nucléaire. Conjointement aux problèmes posés par la sécurité radiologique, ces faits ont incité à démanteler l'énorme appareil bureaucratique incompétent que constituait l'Atomic Energy Commission. Elle a été remplacée, en 1974, par l'Energy and Research Administration and Nuclear Regulatory Agency (NRC).

En 1955, Bertrand Russell, Albert Einstein et neuf autres scientifiques réputés ont fondé le Mouvement Pugwash, qui s'est occupé de la prolifération et de la guerre atomiques. En organisant depuis 1957 des rencontres annuelles, Pugwash a commencé ses travaux qui ont abouti à un traité d'interdiction des essais d'armes atomiques et la production de nouveaux arsenaux et systèmes de transport [6]. En 1969, Pugwash a contribué à la mise en place des Négociations sur la limitation des armes stratégiques (SALT). Cette initiative a été soutenue par la campagne que Linus Pauling a menée contre les armes atomiques et la pollution de l'environnement. Après la crise de Cuba, la menace d'un conflit nucléaire a incité Kennedy et Khrouchtchev à signer, en 1963, un traité d'interdiction des essais nucléaires. Néanmoins, les essais nucléaires souterrains se sont poursuivis, ce qui a fait échouer le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires. L'assassinat de Kennedy, la chute de Khrouchtchev et la guerre du Vietnam ont mis fin à la détente nucléaire.

La possibilité, réaliste, que l'Union soviétique dépasse les États-Unis dans ses essais et le développement d'armes nucléaires a conduit finalement, en 1972, au Traité SALT I qui interdisait partiellement le déploiement de systèmes de défense antimissile. L'Union soviétique avait déjà un tel système autour de Moscou et les États-Unis en avaient un dans le Dakota du Nord. Huit ans plus tard, le gouvernement Reagan a entamé les négociations SALT II, qui ont entraîné une réduction des armes (START), mais non une limitation. Le président du Comité exécutif de la Conférence Pugwash, Bernard Field, a qualifié cette situation de « repetitious stupidity of this futile charade. » [7] Paul Warnke, principal négociateur du Traité SALT II, a déclaré : « **La triste histoire du contrôle des armements peut devenir le dernier chapitre de l'histoire de l'humanité.** » [8] Depuis que le Traité d'interdiction partielle des essais nucléaires a été signé, en 1963, quelque 50 essais ont été effectués chaque année, soit 55 % par les États-Unis, 30 % par la Russie et le solde de 15 % par la France, l'Angleterre, la Chine, l'Inde et le Pakistan. Comme la technologie des communications par satellite se développe très rapidement, la prolifération d'armes nucléaires implique que plus de 90 % de la surface terrestre constituent un objectif potentiel. La sécurité des nations n'est plus garantie par le nombre d'armes nucléaires. Même après l'effondrement de l'Union soviétique, les armes nucléaires demeurent un problème de sécurité essentiel, abstraction faite d'initiatives de collaboration entre Washington et Moscou. Les scénarios politiques internationaux comprennent de nouveaux risques de conflits nucléaires. Parmi ces risques figurent le retrait à court terme des États-Unis du Traité sur les systèmes de défense antimissile, la nouvelle doctrine de la « première frappe » et l'apparition récente de nouveaux pays en possession d'armes nucléaires [9]. La menace nucléaire subsiste en raison de la prolifération nucléaire, avec sa liste toujours plus longue de scénarios d'usage de la force, d'activités terroristes, de catastrophes nucléaires et écologiques et de doctrine de la « destruction mutuelle assurée ».

3 Lawrence WL. Men and atoms. New York (NY) : Simon and Shuster ; 1959.

4 Miller RL. Under the cloud : the decades of nuclear testing. New York (NY) : Free Press (Division of McMillan Inc.) ; 1986.

5 Ervin FR, Glazier JB, Aronow S, Nathan D, Coleman R, Nicholas A et al. « Human and ecological effects in Massachusetts of an assumed thermonuclear attack on the United States ». New England Journal of Medicine 1962 ; 266:1127-37.

6 York HF. Race for oblivion : a participant's view of the arms race. New York (NY) : Simon and Shuster ; 1970.

7 Field BT. « The sorry history of arms control ». Dans : Dennis J, Faculty M, éditeurs. The nuclear almanac. Lecture (MA) : Pearson and Addison-Wesley Publishing Company Inc ; 1984. p. 319-29.

8 Warnke PC. « Prospects for international arms control ». Dans : Dennis J, Faculty M, éditeurs. The nuclear almanac. Lecture (MA) : Pearson and Addison-Wesley Publishing Company Inc ; 1984. p. 331-43.

9 Lichtenstein WL. « Nuclear security and cooperation ». Parameters 2002 ; 32:133-5.

Terrorisme nucléaire et radiologique

Après le 11 septembre 2001, la possibilité d'attaques terroristes nucléaires et radiologiques a suscité davantage d'attention. Avant la catastrophe de New York, de telles possibilités étaient plutôt négligées. Ou la formation en matière de soins à apporter aux victimes des catastrophes nucléaires et radiologiques n'existait pas, ou elle n'était effectuée que très sporadiquement, même dans les institutions gouvernementales chargées de préserver les capacités de réaction. L'amélioration de la préparation des pays à faire face aux effets aigus et chroniques des radiations, la contamination de l'environnement, l'impact psychologique et social et les conséquences financières d'une attaque terroriste nucléaire apparaissent de nouveau comme une priorité des nations industrialisées [10]. Certains préconisent la doctrine de Clausewitz selon laquelle il convient de charger les forces armées de prévenir les attaques d'ennemis extérieurs ou de les repousser et d'attaquer d'autres pays si l'on estime que c'est dans l'intérêt international [11]. Les dommages chroniques causés par les radiations ont été réévalués à la lumière des conséquences possibles du terrorisme nucléaire pour des masses de victimes. La préparation à des accidents et à des attaques nucléaires et radiologiques doit aussi envisager les conséquences psychologiques en raison du fait bien établi que, dans un scénario de terrorisme nucléaire, il y aurait, pour chaque victime directe, 500 personnes sujettes à des troubles psychologiques et psychosomatiques qu'il serait difficile de distinguer des victimes véritablement contaminées [12]. Bien que des interventions médicamenteuses aient été examinées à titre de protection contre les radiations, les professionnels de santé devraient être conscients des lamentables échecs antérieurs dans le domaine des moyens de protection contre les radiations. On étudie actuellement le fait que les cellules vasculaires et parenchymales se régénèrent au lieu de mourir sous l'effet du rayonnement, cela en vue de développer des mécanismes visant à modifier la réponse de l'organisme, parallèlement à d'autres stratégies thérapeutiques telles que les corticostéroïdes, les inhibiteurs de l'enzyme de conversion, la pentoxifylline et la dismutase superoxyde [13]. Dans la gestion des dommages nucléaires et pathologiques, on est passé de conséquences ingérables d'un conflit nucléaire stratégique à des moyens de faire face à un grand nombre de victimes. Cette réponse doit se dégager d'efforts interdisciplinaires. Il faut immédiatement fournir de gros efforts pour développer des concepts de gestion clinique des victimes des radiations [14]. Simultanément, la recherche doit continuer à s'efforcer de comprendre et de gérer la contamination par les radionucléides, les effets radiotoxiques, la destruction des liaisons chimiques, les radicaux libres, les dommages à l'ADN cellulaire et aux enzymes [15]. Les efforts multidisciplinaires doivent comprendre la planification, le tri des blessés, la décontamination, la décorporation, la thérapie de chélation et la gestion traditionnelle des symptômes des patients.

En raison des contraintes financières et du manque presque total de formation, de connaissances techniques, une éventuelle attaque terroriste constitue un sérieux défi [16]. On n'a pas encore tiré de manière adéquate les leçons de la première guerre du Golfe et du conflit des Balkans pour être préparé à s'occuper des victimes des radiations [17]. Une attaque terroriste subite nécessite une réponse efficace du système sanitaire. Or la plupart des pays qui pourraient être la cible d'une attaque terroriste ne disposent guère de la logistique nécessaire, surtout dans les grandes villes où l'affectation des moyens financiers nécessiterait une restructuration des priorités afin de répondre aux conséquences pour la société. Dans un scénario de terrorisme nucléaire, il est particulièrement important d'être conscient que des terroristes pourraient recourir à des actinides, en mettant l'accent sur le plutonium, agent de contamination de masse.

Le plutonium est considéré comme la substance la plus dangereuse qui soit pour les êtres humains [18]. Si on le disperse sous forme de poussière radioactive ou s'il parvient dans les réseaux d'eau potable, seuls quelques grammes suffisent à contaminer une grande ville. Le plutonium a été vendu illégalement sur des marchés clandestins, en particulier dans l'ancienne Union soviétique. Grâce à un trafic illégal, il a fait son chemin dans diverses parties du monde. La dispersion de plutonium est considérée comme le pire scénario terroriste [19]. Si le cas se présente, les professionnels de santé devraient mettre l'accent sur la prévention plutôt que sur la gestion thérapeutique de masses de victimes du terrorisme nucléaire. Récemment, des médecins du monde entier ont adhéré à un groupement de plus de 1 000 organisations pour coopérer, soutenir l'élimination des armes nucléaires et réduire les risques des conséquences effroyables du terrorisme nucléaire et radiologique [20].

Guerre radiologique

C'est en mai 1991, dans le golfe Persique, que des armes radiologiques ont été employées pour la première fois. Elles ont inauguré un nouveau scénario de guerre CBRN (chimique, biologique, radiologique et nucléaire). Le recours à des armes qui frappent aussi bien les soldats que les civils n'est pas nouveau. À la fin de la Seconde Guerre mondiale, les États-Unis craignaient sérieusement que les Japonais ne larguent sur le territoire états-unien des milliers de ballons remplis d'uranium et ne contaminent ses mégapoles [21]. Lors de la première guerre du Golfe, les munitions à l'UA ont répandu dans l'atmosphère des millions de grammes de poussières radioactives [22]. Leurs conséquences pour la santé et l'environnement restent controversées et le débat dépasse de loin le cadre de la communauté scientifique. Toutefois, de nombreuses études récentes ont confirmé deux siècles de preuves scientifiques de la toxicité somatique et génétique de l'uranium [23] [24] [25].

-
- 10 Lubenau JO, Strom DJ. « Safety and security of radiation sources in the aftermath of 11 September 2001 ». *Health Phys* 2002 ; 83:155–64.
 - 11 Bredow MW, Kuemmel G. *The military and the challenges of global security*. Strausberg : Sozialwissenschaftliches Institut der Bundeswehr ; 1999.
 - 12 Salter CA. « Psychological effects of nuclear and radiological warfare ». *Mil Med* 2001 ; 166 (12 Suppl) : 17–8.
 - 13 Moulder JE. « Pharmacological intervention to prevent or ameliorate chronic radiation injuries ». *Semin Radiat Oncol* 2003 ; 13:73–84.
 - 14 Hogan DE, Kellison T. « Nuclear terrorism ». *Am J Med Sci* 2002 ; 323:341–9.
 - 15 Hyams KC, Murphy FM, Wessely S. « Responding to chemical, biological, or nuclear terrorism : the indirect and long-term health effects may present the greatest challenge ». *J Health Polit Policy Law* 2002 ; 27:273–91.
 - 16 Pierard GE. « La guerre et la médecine d'une culture de paix. 4. Synopsis des armes nucléaires ». *Rev Méd Liège* 2002 ; 57:107–12.
 - 17 Ponce de Leon-Rosales S, Lazcano-Ponce E, Rangel-Frausto MS, Sosa-Lozano LA, Huerta-Jimenez MA. « Bioterrorism : notes for an agenda in case of the unexpected » [en espagnol]. *Salud Publica Mex* 2001 ; 43:589–603.
 - 18 Durakovic A. « Mechanisms and management of internal contamination with medically significant radionuclides ». Conklin JJ, Walker RI, éditeurs. *Military radiobiology Orlando (FL) : Academic Press ; 1987. p. 241-64.*
 - 19 Barnaby F. « The plutonium problem : the Royal Society sits on the fence ». *Med Confl Surviv* 1998 ; 14:197–207.
 - 20 Farrow L, Sidel VW. « Medicine and nuclear war : from Hiroshima to mutual assured destruction to abolition » 2000. *JAMA* 1998 ; 280:456–61.
 - 21 Durakovic A. « On depleted uranium : Gulf War and Balkan syndrome ». *Croat Med J* 2001 ; 42:130–4.
 - 22 Ford JL. « Radiological dispersal devices. Assessing the transnational threat ». Springfield (VA) : US National Defense University, Institute for National Strategic Studies ; 1998 March. Occasional paper Nr. 136.
 - 23 Arfsten DP, Still KR, Ritchie GD. « A review of the effects of uranium and depleted uranium exposure on reproduction and fetal development ». *Toxicol Ind Health* 2001 ; 17:180–91.
 - 24 L'Azou B, Henge-Napoli MH, Minaro L, Mirto H, Barrouillet MP, Cambar J. « Effects of cadmium and uranium on some in vitro renal targets ». *Cell Biol Toxicol* 2002 ; 18:329–40.
 - 25 Kalinich JF, Ramakrishnan N, Villa V, McClain DE. « Depleted uranium-uranium chloride induces apoptosis in mouse J774 macrophages ». *Toxicology* 2002 ; 179:105–14.

Le coût de la décontamination des sites touchés par des armes à l'uranium utilisées par des armées ou des terroristes reste un grave sujet d'inquiétude. L'expérience suédo-canadienne de décontamination radiologique effectuée récemment à Urnea, en Suède, a montré que deux méthodes courantes de décontamination de blindés légers extérieurement contaminés par le Na étaient inefficaces : la vapeur d'eau à haute pression et le jet d'eau à haute pression [26]. Cela montre clairement la nécessité d'une meilleure capacité des structures sanitaires publiques à réagir en cas de guerre radiologique ou d'attaque terroriste [27]. Le manque actuel de stratégie d'ensemble pour faire face à une menace d'utilisation terroriste d'engins de dispersion de matières radioactives (RDD) (ou « **bombes sales** ») souligne la nécessité d'une meilleure coordination de la capacité de réaction aux dangers chimiques, biologiques, radiologiques et nucléaires, au croisement actuel des armes classiques et des armes inédites [28].

Dans le scénario bien particulier d'une attaque radiologique, le cadre de la gestion de la guerre et du terrorisme radiologiques s'étend non seulement au-delà du domaine de la santé publique mais également de celui de la réserve des forces armées [29] [30]. La défense médicale contre la guerre radiologique reste un des aspects les plus négligés de l'enseignement médical actuel [31]. Le terrorisme radiologique et nucléaire constitue la plus grande menace de la société moderne, car la prolifération nucléaire a permis aux organisations subversives de se procurer facilement du matériel nucléaire [32].

En 2000 seulement, les États-Unis ont dépensé 10 milliards de dollars pour la lutte contre l'utilisation terroriste d'armes de destruction massive, et les dépenses ont augmenté considérablement après le 11 septembre 2001. Des études actuelles révèlent la vulnérabilité des sociétés occidentales au terrorisme nucléaire et mettent l'accent sur le fait que les organisations terroristes possédant des armes de destruction massive peuvent provoquer plus de destructions avec les engins nucléaires et radiologiques qu'avec tout autre type d'armes. La capacité des États-Unis à faire face à une attaque radiologique ou nucléaire est censée dépendre de quatre domaines d'action : l'amélioration du renseignement sur les organisations terroristes, l'amélioration de la sécurité des installations nucléaires dans l'ex- Union soviétique, la neutralisation des effets nucléaires et radiologiques et l'amélioration des capacités de réaction aux organisations clandestines déjà en possession d'armes nucléaires et radiologiques [33].

Le risque d'une attaque nucléaire et radiologique contre les États-Unis est accru par la technologie, l'accès aux matières nucléaires et radiologiques, l'instabilité économique de la Russie et le mécontentement suscité dans de nombreux pays par la politique étrangère états-unienne. Des mesures de sécurité inadéquates dans l'ancienne Union soviétique, combinées à une détermination accrue des terroristes et au caractère de plus en plus meurtrier de leurs attaques augmentent considérablement la probabilité de l'utilisation de RDD dans un proche avenir [34]. La question des effets sur l'environnement et la santé doit amener à aborder la question de la décontamination et de l'affectation de budgets visant à sauver des vies, à réduire les risques sanitaires et à préserver la culture, la biodiversité et l'intégrité des sites contaminés [35]. Les efforts dans ces domaines ont laissé à désirer dans le passé. On a notamment négligé d'indemniser de manière équitable les victimes des retombées radioactives dans l'Utah et le Nevada. Un dépistage et une indemnisation insuffisantes des victimes de cancers provoqués par l'exposition aux radiations et la controverse persistante sur l'interprétation par le gouvernement des radiations de faible niveau ont provoqué le mécontentement des populations contaminées lors des essais nucléaires [36].

Un récent rapport britannique est également suspect quant à son analyse de la mortalité et de l'incidence des cancers chez ceux qui ont participé aux essais atmosphériques d'armes nucléaires et aux programmes expérimentaux. Il contient une conclusion provocatrice : la mortalité générale chez les survivants aux essais nucléaires britanniques serait inférieure à celle de la population générale [37].

De la comparaison de Galilée devant l'Inquisition aux recherches sur l'uranium

Actuellement, la liberté de la science indépendante n'est guère différente de ce qu'elle était dans le passé. Ce que vivent les scientifiques aujourd'hui fait penser au procès de Galilée instruit par l'Inquisition en 1610. La controverse concernant les résultats des études du Dr Ernest Sternglass relatives aux taux de mortalité infantile et juvénile dans l'État de New York influencés par les essais nucléaires et les retombées radioactives a brisé sa carrière universitaire et scientifique. Lorsque son article classique [38] sur la mort d'enfants due aux conséquences des radiations parut en 1969 dans le Bulletin of Atomic Scientists, le rédacteur en chef de la revue lui confia que Washington avait exercé des pressions pour qu'il ne le publie pas. L'éminent physicien Freeman Dyson écrivit dans une lettre de lecteur adressée à la même revue : « **Si les chiffres avancés par Sternglass sont justes, et je crois qu'ils le sont, il y a là un bon argument contre la défense antimissile.** » Sternglass considérait que la mort des enfants était due au strontium des retombées radioactives. Lorsque son estimation de près de 400 000 morts fut soumise au Dr John Gofman, directeur médical du Lawrence Livermore National Laboratory, celui-ci réévalua son rapport. Ayant corrigé certains chiffres, il conclut que même en utilisant un modèle stochastique, les directives concernant le risque par unité de radiation étaient 20 fois trop élevées pour être fiables. Il concluait également que le risque était plus important en cas de doses de radiations faibles qu'en cas de doses élevées. Il ajoutait que les décès par cancer dus aux essais nucléaires et aux retombées radioactives dépassaient 30 000 par année. Son rapport fut remis au Committee on Underground Nuclear Testing présidé par le sénateur E. Muskie. Celui-ci le transmit au président du Joint Committee on Atomic Energy, le sénateur C. Hollifield. Ce dernier fit venir Gofman à Washington et le menaça ouvertement : « **Nous les avons eus et nous vous aurons.** » En 1973, victime de son intégrité, Gofman perdit son emploi dans son laboratoire. L'Atomic Energy Commission fut dissoute en 1974 [39].

-
- 26 Haslip DS, Estan D, Jones TA, Walter EJ, Sandstrom B. Contamination and decontamination of light armour vehicle. Ottawa : Defence Research and Development Canada ; 2002.
 - 27 Reichart JF. « Adversary use of NBC weapons : a neglected challenge ». Strategic Forum December 2001 ; Nr. 187:1-4.
 - 28 Cilluffo FJ, Cardash SL, Ledorman GN. Combat ing chemical, biological radiological and nuclear terrorism : a comprehensive strategy. Washington (DC) : Center for Strategic and International Studies ; 2001. Report No. ISN-0-89206-389.
 - 29 Anderson DP. Army's commitment to supporting the homeland security chemical, biological, radiological, nuclear and high-yield explosive weapons terrorist treaty : can the reserve component meet the requirement by themselves ? Springfield (VA) : National Technical Information Service ; 2002.
 - 30 Differentiation among Chemical, Biological, and Radiological Casualties [CD-ROM No. AVA21047C DRMCG]. Springfield (VA) : National Technical Information Service ; 2001. Available from : www.ntis.gov/nac.
 - 31 Jarrett DG. Medical management of radiological casualties. Bethesda (MD) : Armed Forces Radiobiology Research Institute ; 1999.
 - 32 Anet B. « And what about nuclear and radiological terrorism ? » Applied Science and Analysis, ASA, Inc [serial online] 2001 April 18 ; 01-2(83) : [10 screens]. Available from : www.asanltr.com.
 - 33 Fogarty JJ. Evaluating strategies for countering nucleararmed terrorist groups [master's thesis]. Monterey (CA) : Naval Postgraduate School ; 2000.
 - 34 Nicholson SM, Medlin DD. Radiological weapons of terror. Maxwell (AL) : Maxwell Air Force Base ; 1999.
 - 35 Burger J, Leschine TM, Greenberg M, Karr JR, Gochfeld M, Powers CW. « Shifting priorities at the Department of Energy's bomb factories : protecting human and ecological health ». Environ Manage 2003 ; 31:157-67.
 - 36 Parascandola M. « Uncertain science and a failure of trust. The NIH radioepidemiologic tables and compensation for radiation-induced cancer ». Isis 2002 ; 93:559-84.
 - 37 Muirhead CR, Bingham D, Haylock RG, O'Hagan JA, Goodill AA, Berridge GL, et al. « Follow up of mortality and incidence of cancer 1952-98 in men from the UK who participated in the UK's atmospheric nuclear weapon tests and experimental programmes ». Occup Environ Med 2003 ; 60:165-72.
 - 38 Sternglass EJ. « Infant mortality and nuclear tests ». Bull At Sci 1969 ; 25:26-8.
 - 39 Durakovic « A. Medical effects of internal contamination with uranium ». Croat Med J 1999 ; 40:49-66.

Soldat états-unien manipulant des obus de tank
pourvus de pointes à l'uranium appauvri



Réexamen de la toxicité de l'uranium

Le risque fatal que présentent les isotopes d'uranium pour l'environnement et la santé humaine a été précisé au cours de deux siècles de recherches. Toutefois, les spécialistes de la santé sont mal formés en matière de radiotoxicité de base et de toxicologie chimique des isotopes d'uranium [40]. Les analyses récentes des effets potentiels des RDD sur la santé sont fondées essentiellement sur les données concernant les survivants japonais aux bombes atomiques, les essais nucléaires et les recherches de laboratoire. La littérature spécialisée, en particulier celle concernant les recherches de ces cinq dernières années, abonde en comptes rendus de travaux interdisciplinaires sur les effets des actinides et des isotopes d'uranium. La confirmation des cas de cancer de la thyroïde [41], de carcinome hépatocellulaire [42], de leucémie [43] et des risques que représente l'exposition aiguë ou chronique à l'uranium [44] a mis en lumière l'importance des conséquences somatiques et génétiques de la contamination par les isotopes d'uranium. Leur corrélation avec les essais atmosphériques d'armes nucléaires a été confirmée une nouvelle fois dans des rapports récents sur les taux d'actinides chez les mammifères marins du Pacifique nord, qui sont nettement associés à des années d'essais nucléaires et de retombées radioactives [45]. Le réexamen des études sur les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki montre non seulement l'impact physique, mais aussi l'effet psychologique qu'exercent les armes atomiques sur les personnes présentes dans ces villes au moment de l'explosion : troubles psychiatriques, anxiété, somatisation de symptômes [46]. Ce réexamen indique clairement qu'il existe des effets psychologiques à long terme qu'il faut prendre en considération lors de la préparation à de futurs conflits.

Un autre rapport récent à propos des survivants de Nagasaki indique que les effets des radiations sur les survivants devront représenter un aspect essentiel de la gestion des soins médicaux lors de futurs conflits [47]. Les données actuelles sur les essais nucléaires montrent que la mortalité infantile, les naissances prématurées et les morts foetales sont associées, aux États-Unis, à l'exposition aux radiations [48]. Les conséquences pour la santé et l'environnement de la contamination radioactive ont été réévaluées sur de nombreux sites d'essais dans le monde entier. Ces études font état d'effets négatifs de la contamination radioactive sur les sites d'essais nucléaires, notamment ceux de Krasnoyarsk, en Sibérie [49], du Kazakhstan [50], des monts Altaï [51], de Semipalatinsk, au Kazakhstan [52], de la Techa, dans l'Oural [53], parmi le personnel du complexe nucléaire de Mayak [54], en République de Sakha (Yakutia) [55], sur l'île d'Amchitka, en Alaska [56], en Finlande et en Norvège [57]. Ces informations permettent d'évaluer convenablement les risques quand il s'agit de se préparer à réagir à une crise sanitaire extrême provoquée par l'usage d'armes nucléaires et radiologiques en cas de guerre ou d'attaque terroriste [58]. La connaissance actuelle de la dispersion de radionucléides [59] libérés dans la biosphère, dans le monde entier, dépasse de beaucoup le cadre de la recherche expérimentale et des soins à apporter aux victimes des radiations. Elle a des implications sur l'avenir de la planète [60].

- 40 Skorga P, Persell DJ, Arangie P, Gilbert-Palmer D, Winters R, Stokes EN, et al. « Caring for victims of nuclear and radiological terrorism ». *Nurse Pract* 2003 ; 28:24-41.
- 41 Little MP. « The proportion of thyroid cancers in the Japanese atomic bomb survivors associated with natural background radiation ». *J Radiol Prot* 2002 ; 22:279-91.
- 42 Sharp GB, Mizuno T, Cologne JB, Fukuhara T, Fujiwara S, Tokuoka S, et al. « Hepatocellular carcinoma among atomic bomb survivors : significant interaction of radiation with hepatitis C virus infections ». *Int J Cancer* 2003 ; 103:531-7.
- 43 Leenhouts HP, Brugmans MJ, Bijwaard H. « The implications of re-analysing radiation-induced leukaemia in atomic bomb survivors : risks for acute and chronic exposures are different ». *J Radiol Prot* 2002 ; 22:A163-7.
- 44 Fujikawa Y, Shizuma K, Endo S, Fukui M. « Anomalous 235U/238U ratios and metal elements detected in the black rain from the Hiroshima A-bomb ». *Health Phys* 2003 ; 84:155-62.
- 45 Baskaran M, Hong GH, Dayton S, Bodkin JL, Kelley JJ. « Temporal variations of natural and anthropogenic radionuclides in sea otter skull tissue in the North Pacific Ocean ». *J Environ Radioact* 2003 ; 64:1-18.
- 46 Yamada M, Izumi S. « Psychiatric sequelae in atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki two decades after the explosions. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol* 2002 ; 37:409-15.
- 47 Honda S, Shibata Y, Mine M, Imamura Y, Tagawa M, Nakane Y, et al. « Mental health conditions among atomic bomb survivors in Nagasaki ». *Psychiatry Clin Neurosci* 2002 ; 56:575-83.
- 48 Tatham LM, Bove FJ, Kaye WE, Spengler RF. « Population exposures to I-131 releases from Hanford Nuclear Reservation and preterm birth, infant mortality, and fetal Deaths ». *Int J Hyg Environ Health* 2002 ; 205:41-8.
- 49 Kisselev M, Kellere AM. « The potential for studies in other nuclear installations. On the possibility of creating medico-dosimetry registries of workers at the Siberian Chemical Industrial Complex (SCIC) and the Mountain Chemical Industrial Complex (MCIC) in Tomsk, Krasnoyarsk ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:81-3.
- 50 Grosche B, Land C, Bauer S, Pivina LM, Abylkassimova ZN, Gusev BI. « Fallout from nuclear tests : health effects in Kazakhstan ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:75-80.
- 51 Shoikhet YN, Kiselev VI, Algazin AI, Kolyado IB, Bauer S, Grosche B. « Fallout from nuclear tests : health effects in the Altai region ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:69-73.
- 52 Grosche B. « Semipalatinsk test site : introduction ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:53-5.
- 53 Kossenko MM, Ostroumova E, Granath F, Hall S. « Studies on the Techa river offspring cohort : health effects ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:49-52.
- 54 Romanov SA, Vasilenko EK, Khokhryakov VF, Jacob S. « Studies on the Mayak nuclear workers : dosimetry ». *Radiat Environ Biophys* 2002 ; 41:23-8.
- 55 Gedeonov AD, Petrov ER, Alexeev IN, Kuleshova VG, Savopulo ML, Burtsev IS, et al. « Residual radioactive contamination at the peaceful underground nuclear explosion sites "Cration-3" and "Crystal" in the Republic of Sakha (Yakutia) ». *J Environ Radioact* 2002 ; 60:221-34.
- 56 Dasher D, Hanson W, Read S, Faller S, Farmer D, Eford W, et al. « An assessment of the reported leakage of anthropogenic radionuclides from the underground nuclear test sites at Amchitka Island, Alaska, USA to the surface environment ». *J Environ Radioact* 2002 ; 60:165-87.
- 57 Cross MA, Smith JT, Saxen R, Timms D. « An analysis of the environmental mobility of radiostrontium from weapons testing and Chernobyl in Finnish river catchments ». *J Environ Radioact* 2002 ; 60:149-63.
- 58 Masella R. « Nuclear terrorism to cause ultimate health crisis. *Today's* » *FDA* 2002 ; 14:8-9.
- 59 Bennett BG. « Worldwide dispersion and deposition of radionuclides produced in atmospheric tests ». *Health Phys* 2002 ; 82:644-55.
- 60 Hoffman FO, Apostoaiei AI, Thomas BA. « A perspective on public concerns about exposure to fallout from the production and testing of nuclear weapons ». *Health Phys* 2002 ; 82:736-48.

Recherches actuelles sur les conséquences sanitaires des armes à l'uranium

La plus importante contamination aux radionucléides a eu lieu en 1991 lors de la première guerre du Golfe. L'uranium appauvri (UA) utilisé dans des armes antichars a contaminé le territoire de l'Irak en exposant chroniquement la population et les soldats à la poussière, aux vapeurs et aux aérosols d'UA. Un petit nombre de soldats des Forces de la coalition ont été blessés par des éclats d'obus à l'UA.

L'alliage des armes à l'UA contient 99,8 % d'U238 émettant 60 % des radiations alpha, bêta et gamma de l'uranium naturel. L'UA est un métal lourd, 1,6 fois plus dense que le plomb. Il est organotrope, c'est-à-dire qu'il se fixe sur les organes cibles, tels que les tissus squelettiques où il demeure longtemps. Se dissolvant peu à peu, les isotopes d'uranium sont éliminés. On en a détecté dans l'urine d'anciens combattants de la guerre du Golfe 10 ans après qu'ils aient été absorbés par inhalation ou blessures résultant d'éclats d'obus. Des études sur leur répartition dans les tissus font état d'accumulation d'UA dans les os, les reins, le système reproducteur, le cerveau, les poumons, ce qui entraîne des effets génotoxiques, mutagènes et cancérigènes, ainsi que des altérations reproductrices et tératogènes [61].

On a détecté une contamination interne par les isotopes d'UA chez des anciens combattants britanniques, canadiens et américains de la première guerre du Golfe encore 9 ans après leur exposition à la poussière radioactive. On a également identifié des isotopes d'UA dans les poumons, le foie, les reins et les os d'un ancien combattant canadien au cours de son autopsie. Ces organes contenaient de fortes concentrations d'uranium, les ratios isotopiques révélant la présence d'UA. Des études effectuées en 1991, année de la première guerre du Golfe, à partir de comptages corps entier suggèrent la présence d'uranium dans l'organisme et l'urine d'anciens combattants contaminés [62]. Des contraintes logistiques et la controverse sur l'UA ont retardé les études approfondies jusqu'en 1998, date où les vétérans de la première guerre du Golfe furent soumis à un dépistage par activation neutronique. Bien que cette méthode soit vouée à la détection de petites quantités d'uranium, son usage précoce a permis de constater une contamination importante. Ces études ont été présentées au Congrès international de la Radiation Research Society qui a eu lieu à Dublin en 1998.

Les recherches expérimentales se sont poursuivies grâce au recours à la méthode la plus moderne, la spectrographie de masse, à la Memorial University of Newfoundland (St John's, Terre-Neuve, Canada) et plus tard au British Geological Survey (Nottingham, Angleterre). Les deux séries d'études ont confirmé des concentrations et des ratios isotopiques d'UA plus élevés dans 67 % des échantillons. La première présentation, basée sur les données de la spectrométrie de masse, fut faite au Congrès européen de médecine nucléaire qui a eu lieu à Paris en 2000. Les recherches ont continuellement progressé, depuis la détection et la mesure de l'UA dans les organismes des anciens combattants jusqu'à l'évaluation actuelle des effets cliniques de la contamination par l'uranium chez des vétérans de la première guerre du Golfe, des civils irakiens, des soldats et des civils des Balkans, des civils afghans et, plus récemment, de la bande de Gaza et de Cisjordanie.

L'UA, déchet faiblement radioactif de l'enrichissement isotopique de l'uranium naturel, a été identifié comme un contaminant incontestable présent dans les zones de conflit militaire mentionnées. Son rôle étiologique dans la genèse du syndrome de la guerre du Golfe a fait l'objet de controverses continues depuis cette guerre. Les preuves bien documentées de la toxicité aussi bien chimique que radiologique des isotopes d'uranium ont fait l'objet récemment d'un grand nombre de recherches et de rapports scientifiques sur leurs effets organotoxiques, mutagènes, tératogènes et cancérigènes [63]. Des études récentes de biodistribution chez des animaux de laboratoire dans le corps desquels on avait implanté des boulettes d'UA ont confirmé les résultats d'études de biodistribution antérieures selon lesquelles les reins et les os sont des cibles visées par les isotopes d'uranium, de même que d'autres sites des systèmes lymphatique, respiratoire, reproducteur et nerveux central [64].

Depuis presque deux siècles, on connaît les effets toxiques de l'uranium en matière de chimiotoxicité rénale qui ont été confirmés par des études récentes sur des cellules rénales in vitro. Les études concernant les effets de l'UA sur le système nerveux central ont confirmé sa rétention dans des zones de l'hippocampe. De plus, on a observé des modifi cations électro-physiologiques du système nerveux de rats dans lesquels on avait implanté des boulettes d'UA [65]. Des effets mutagènes potentiels de la contamination interne par l'UA ont récemment été suggérés par la corrélation temporaire entre l'uranium implanté et l'expression oncogène des tissus [66], ainsi que par une instabilité génomique [67]. La transformation néoplastique des ostéoblastes humains dans une culture cellulaire contenant de l'UA confirme le risque de cancer provoqué par l'UA [68]. Cela correspond à ce que l'on sait des risques cancérigènes que fait courir l'UA aux cellules endobronchiales, de même qu'aux évaluations quantitatives récentes – déterminées par la charge pulmonaire lors de l'inhalation des aérosols [69] – des risques cancérigènes subis par les poumons des anciens combattants de la première guerre du Golfe. Le risque était évalué en appliquant la méthode de Battelle de simulation de liquide pulmonaire interstitiel et l'analyse de l'échantillon d'urine de 24 heures d'un vétéran contenant 0,150 mg d'UA 9 ans après l'exposition par inhalation [70]. Il s'est avéré que la charge pulmonaire correspondait à 1,54 mg d'UA au moment de l'exposition, avec une dose de radiations alpha de 4,4 millisieverts (mSv) pendant la première année et de 22,2 mSv 10 ans après l'exposition. Ces valeurs dépassent les doses d'inhalation maximales tolérables d'UA et justifient de nouvelles recherches sur la possibilité de modifi cations malignes des poumons.

-
- 61 Horan P, Dietz L, Durakovic A. « The quantitative analysis of depleted uranium isotopes in British, Canadian, and U.S. Gulf War veterans » [published erratum appears in Mil Med 2003 ; 168:474]. Mil Med 2002 ; 167:620–7.
- 62 Uranium Medical Research Centre. UMRC and research activities. Available from : www.umrc.net/umrcResearch.asp. Accessed : September 8, 2003.
- 63 McDiarmid MA, Keogh JP, Hooper FJ, McPhaul K, Squibb K, Kane R, et al. « Health effects of depleted uranium on exposed Gulf War veterans ». Environ Res 2000 ; 82:168–80.
- 64 Gu G, Zhu S, Wang L, Yang S. « Irradiation of 235 uranium on the growth, behavior and some biochemical changes of brain in neonatal rats » [in Chinese]. Wei Sheng Yan Jiu 2001 ; 30:257–9.
- 65 Pellmar TC, Keyser DO, Emery C, Hogan JB. « Electrophysiological changes in hippocampal slices isolated from rats embedded with depleted uranium fragments ». Neurotoxicology 1999 ; 20:785–92.
- 66 Miller AC, Fuciarelli AF, Jackson WE, Ejnik EJ, Emond C, Strocko S, et al. « Urinary and serum mutagenicity studies with rats implanted with depleted uranium or tantalum pellets ». Mutagenesis 1998 ; 13:643–8.
- 67 Miller AC, Brooks K, Stewart M, Anderson B, Shi L, McClain D, et al. « Genomic instability in human osteoblast cells after exposure to depleted uranium : delayed lethality and micronuclei formation ». J Environ Radioact 2003 ; 64:247–59.
- 68 Miller AC, Blakely WF, Livengood D, Whittaker T, Xu J, Ejnik JW, et al : « Transformation of human osteoblast cells to the tumorigenic phenotype by depleted uranium-uranyl chloride ». Environ Health Perspect 1998 ; 106:465–71.
- 69 Durakovic A, Dietz L, Zimmerman I. « Evaluation of the carcinogenic risk of depleted uranium in the lungs of Gulf War veterans ». In : Hansen HH, Demer B, editors. Proceedings of the 10th World Congress on Lung Cancer ; 2003 Aug 10-14 ; Vancouver, Canada. London : Elsevier ; 2003. S. S252 P-634.
- 70 Durakovic A, Horan P, Dietz LA, Zimmerman I. « Estimate of the time zero lung burden of depleted uranium in Persian Gulf War veterans by the 24-hour urinary excretion and exponential decay analysis ». Mil Med 2003 ; 168:600–5.

Ces données humaines sont très importantes lorsqu'on les envisage à la lumière des preuves récentes des effets mutagènes des particules alpha sur les cellules souches et les instabilités chromosomiques des cellules de la moelle osseuse humaine dues aux radiations alpha [71] [72]. L'instabilité chromosomique due aux particules alpha explique clairement les effets mutagènes observés chez les vétérans britanniques de la guerre du Golfe positifs à l'UA, comme l'a montré récemment l'étude des lymphocytes périphériques présentée à l'université de Brême [73]. Ce résultat correspond à celui d'études antérieures sur les instabilités chromosomiques provoquées par une faible dose de particules alpha comparées aux effets identiques de l'irradiation aux photons [74]. Les études sur les effets des particules alpha et les progrès récents de l'irradiation par microfaisceau des cellules de mammifères permettent d'évaluer précisément le parcours d'une particule unique à travers le noyau cellulaire et de mesurer son effet cancérigène [75].

Bien que les mécanismes de la mutagenité et des effets cancérigènes des particules alpha inhalées restent obscurs, on a observé que de faibles doses de particules alpha peuvent provoquer des modifications des chromatides soeurs dans des cellules humaines normales [76]. Les implications pratiques de ces études sont importantes, compte tenu du fait que plus de 10 % de tous les décès par cancer aux États-Unis sont dus à un dépôt pulmonaire de particules alpha [77]. Elles sont également importantes en raison de l'instabilité génomique des cellules bronchiques humaines provoquée par les particules alpha, qui est bien documentée [78]. Les cellules pulmonaires humaines se sont révélées plus sensibles aux effets nocifs des particules alpha que celles de la plupart des animaux de laboratoire. L'évaluation quantitative du risque radiologique consécutif à l'inhalation d'aérosols d'uranium doit prendre en compte à la fois les mécanismes de dépôt de particules et leur élimination par translocation dans les ganglions lymphatiques pulmonaires et trachéobronchiques au travers de la barrière alvéolo-capillaire ou par expectoration et translocation dans le système rhinopharyngé ou gastro-intestinal. Le modèle d'élimination des particules (ICRP-66) permet l'évaluation la plus moderne du dépôt de particules d'uranium et de leur élimination ainsi que l'évaluation des aérosols d'uranium inhalé et leur dosimétrie interne. L'étude situe l'incertitude maximum à une taille de particule de 0,5-0,6 µm [79].

Les poumons demeurent la principale porte d'entrée des isotopes d'uranium dans l'organisme, les tissus squelettiques étant la cible finale. Des études très récentes sur l'exposition chronique au minerai d'uranium naturel apportent des arguments probants en faveur des risques de tumeurs pulmonaires bénignes aussi bien que malignes [80]. Des études actuelles indiquent également que l'UA peut causer des dommages oxydatifs à l'ADN en catalysant le peroxyde d'hydrogène et en entraînant des réactions d'acide ascorbique [81]. La mort cellulaire provoquée par les radiations, les altérations chromosomiques, les transformations cellulaires, les mutations et la carcinogenèse sont essentiellement la conséquence des radiations déposées dans le noyau cellulaire. Les radiations de faible niveau pourraient provoquer une instabilité génomique sans effets de débit de dose évidents, rendant impossible une extrapolation aux effets de doses élevées et accentuant l'importance des effets de proximité dans les radiations de particules alpha de faible niveau [82] [83]. Des échanges de segments de chromosomes homologues à doses variables peuvent provoquer des modifications du noyau qui se traduisent par des mutations géniques en interagissant avec le cytoplasme cellulaire. Ces effets nocifs vont à l'encontre de l'idée selon laquelle de faibles doses ne peuvent pas provoquer d'altérations géniques.



Tous les calibres de munitions à l'uranium appauvri sont disponibles et couramment utilisés par les forces de l'OTAN sur les théâtres d'opération

Syndromes des guerres du Golfe et des Balkans

Au cours de la première guerre du Golfe, au moins 350 tonnes métriques d'UA se sont déposées dans l'environnement et entre 3 et 6 millions de grammes d'aérosols d'UA ont été libérés dans l'atmosphère. Le résultat, le syndrome du Golfe, est un trouble multiorganique invalidant complexe. À l'origine, on l'a cru provoqué par l'inhalation de sable du désert (maladie d'Al-Eskan). Depuis, il a fait l'objet de différentes descriptions et dénominations, dont le nombre semble inversement proportionnel aux connaissances réelles

que nous avons de la maladie.

- 71 Kadhim MA, Macdonald DA, Goodhead DT, Lorimore SA, Marsden SJ, Wright EG. « Transmission of chromosomal instability after plutonium alpha-particle irradiation ». *Nature* 1992 ; 355:738-40.
- 72 Kadhim MA, Lorimore SA, Hepburn MD, Goodhead DT, Buckle VJ, Wright EG. « Alpha-particle-induced chromosomal instability in human bone marrow cells ». *Lancet* 1994 ; 344:987-8.
- 73 Schroder H, Heimers A, Frentzel-Beyme R, Schott A, Hoffmann W. « Chromosome aberration analysis in peripheral lymphocytes of Gulf War and Balkans War veterans ». *Radiat Prot Dosimetry* 2003 ; 103:211-9.
- 74 Nagasawa H, Little JB. « Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha-particles ». *Cancer Res* 1992 ; 52:6394-6.
- 75 Miller RC, Randers-Pehrson G, Geard CR, Hall EJ, Brenner DJ. « The oncogenic transforming potential of the passage of single alpha particles through mammalian cell nuclei ». *Proc Natl Acad Sci USA* 1999 ; 96:19-22.
- 76 Lehnert BE, Goodwin EH, Deshpande A. « Extracellular factor(s) following exposure to alpha particles can cause sister chromatid exchanges in normal human cells ». *Cancer Res* 1997 ; 57:2164-71.
- 77 Kennedy CH, Mitchell CE, Fukushima NH, Neft RE, Lechner JF. « Induction of genomic instability in normal human bronchial epithelial cells by ²³⁸Pu alpha-particles ». *Carcinogenesis* 1996 ; 17:1671-6.
- 78 Yang ZH, Fan BX, Lu Y, Cao ZS, Yu S, Fan FY, et al. « Malignant transformation of human bronchial epithelial cell (BEAS-2B) induced by depleted uranium » [in Chinese]. *Ai Zheng* 2002 ; 21:944-8.
- 79 Farfan EB, Huston TE, Bolch WE, Vernetson WG, Bolch WE. « Influences of parameter uncertainties within the ICRP-66 respiratory tract model : regional tissue doses for ²³⁹PuO₂ and ²³⁸UO₂/²³⁸UO₃ ». *Health Phys* 2003 ; 84:436-50.
- 80 Simmons JA, Cohn P, Min T. « Survival and yields of chromosome aberrations in hamster and human lung cells irradiated by alpha particles ». *Radiat Res* 1996 ; 145:174-80.
- 81 Miller AC, Stewart M, Brooks K, Shi L, Page N « Depleted uranium-catalyzed oxidative DNA damage : absence of significant alpha particle decay ». *J Inorg Biochem* 2002 ; 91:246-52.
- 82 Busby C. Science on trial : on the biological effects and health risks following exposure to aerosols produced by the use of depleted uranium weapons. Available from : www.llrc.org/du/duframes.htm. Accessed : September 5, 2003.
- 83 Morgan WF. « Genomic instability and bystander effects : a paradigm shift in radiation biology ? » *Mil Med* 2002 ; 167 (2 Suppl):44-5.

Les symptômes de cette maladie progressive sont aussi nombreux que leurs noms. Il s'agit notamment de fatigue invalidante, de douleurs musculo-squelettiques et articulaires, de maux de tête, de troubles neuropsychiatriques, des sautes d'humeur, de confusion mentale, de troubles visuels, de troubles de la démarche, de pertes de mémoire, de lymphadénopathies, de déficience respiratoire, d'impuissance, d'altérations morphologiques et fonctionnelles du système urinaire. Ce syndrome a été tout d'abord sous-estimé, puis reconnu en tant que syndrome progressif. Parfois traité de maladie imaginaire, il a été successivement qualifié de variante chronique du syndrome de fatigue chronique, de stress post-traumatique, pour être finalement reconnu comme entité distincte par certains pays, mais non par d'autres.

On a découragé les recherches objectives en matière d'étiologie et de pathogénie du syndrome de la guerre du Golfe en retardant les études cliniques, en les orientant mal, voire en s'y opposant, ce qui a eu de nombreux effets néfastes sur des carrières scientifiques, parce qu'elles ne correspondaient pas aux intérêts industriels ou politiques. Notre compréhension actuelle de son étiologie est loin d'être satisfaisante. Certains auteurs supposent que les causes comprennent les marées noires et les incendies de puits de pétrole, d'autres mettent en cause les vaccins préventifs et d'autres encore songent à des agents biologiques ou chimiques, de même qu'à des modifications multifactorielles et non spécifiques du système immunitaire et à l'exposition aux aérosols d'UA [84]. Le manque de coordination des efforts de recherches interdisciplinaires font que ce syndrome complexe, appelé provisoirement « syndrome de la guerre du Golfe » et « syndrome des Balkans » entre dans sa seconde décennie de confusion. La question des critères permettant de le classer n'est toujours pas résolue [85]. Le meilleur exemple de la diversité de ses classifications est la diversité de ses noms. L'analyse factorielle de Haley aboutit à 6 catégories dominantes comprenant 3 syndromes importants et pas moins de 17 syndromes mineurs [86]. D'autres essais de classification comprennent des dénominations telles que, parmi beaucoup d'autres, syndrome neuro-immunitaire, syndrome mucocutané-intestinal-rhumatismal du désert, syndrome de stress post-traumatique, etc. [87]. Bien que quelques-unes des causes supposées, comme les marées noires, les incendies de puits de pétrole et les poussières de sable pourraient très bien s'appliquer à la première guerre du Golfe, elles ne peuvent guère être considérées comme des facteurs étiologiques dans le conflit des Balkans. Cependant des armes antichars ont été utilisées dans les deux conflits. Les preuves de plus en plus nombreuses, dans la littérature récente, d'une contamination interne des vétérans de la première guerre du Golfe par l'UA dans les deux cas vont à l'encontre des tentatives continues de minimiser leur existence. L'élimination d'isotopes d'UA chez les soldats contaminés et malades se poursuit au-delà de 10 ans après l'exposition lors de la première guerre du Golfe et de 7 ans après le conflit des Balkans. La plupart des autres facteurs suggérés devraient être réexaminés dans le cadre d'une estimation de la demi-vie biologique de l'UA et des possibles impacts sanitaires progressifs sur l'organisme [88]. Ces facteurs comprennent notamment des agents chimiques de faible intensité, les incendies de puits de pétrole, l'immunisation, le botulisme, les aflatoxines, les mycoplasmes. La longue demi-vie physique et biologique, la désintégration des particules alpha et la preuve bien établie de la toxicité radiologique somatique et génétique laissent supposer que l'UA joue un rôle important dans la genèse des syndromes de la guerre du Golfe et des Balkans.

On déplore l'absence flagrante de recherches sérieuses et exhaustives sur la corrélation entre ces syndromes et la contamination par l'UA. La plupart des études suggérant l'absence d'effets somatiques de l'UA dans les zones de conflit de Bosnie-Herzégovine [89] ne font pas état des taux réels d'isotopes d'uranium dans des échantillons environnementaux ou humains. Ainsi, leurs conclusions ne peuvent pas être évaluées de manière objective en l'absence de quantification de la concentration et du ratio d'isotopes d'uranium. De même, il n'existe pas d'explication crédible de la forte augmentation des taux de cancers chez les vétérans de la première guerre du Golfe [90]. Et il n'existe pas de programmes de recherches objectives et indépendantes sur ces questions autres que celles de l'Uranium Medical Research Center (UMRC). L'UMRC est la seule institution à avoir effectué continuellement des recherches concernant la contamination interne par l'UA sur lesquelles elle n'a cessé de communiquer de manière scientifique et professionnelle. Il a eu recours aux méthodes ultra-modernes d'ionisation thermique et de spectrographie de masse plasma. Ces méthodes ont permis d'identifier de 0,2 à 0,33 % d'U235 chez des vétérans de la première guerre du Golfe, ce qui indique une concentration urinaire d'uranium de 150 ng/l au moment de l'exposition, alors que la population non exposée du Golfe avait des taux situés entre 0,7 et 1,0% d'U235, ce qui indique une concentration urinaire d'uranium de 14 ng/l seulement [90].

Études menées en Afghanistan

Bien que les études de l'UMRC portant sur l'analyse de l'urine des anciens combattants de la première guerre du Golfe aient été effectuées plusieurs années après l'exposition, les recherches les plus récentes fondées sur l'examen d'échantillons biologiques et environnementaux ont coïncidé avec l'Opération Liberté immuable (OEF) menée en Afghanistan depuis 2001. Ce pays offrait une occasion de mener une étude à un moment proche de celui du conflit. L'Opération Anaconda prit fin juste au moment où la première équipe de l'UMRC entra à l'Est de l'Afghanistan (fig. 1). Elle a eu accès aux installations stationnaires car les équipements militaires mobiles n'avaient été ni déplacés ni mis en sécurité. Les études de l'UMRC portant sur la population des zones de Jalalabad, de Spin Gar, de Tora Bora et à l'aéroport de de Kaboul ont identifié des civils souffrant des mêmes symptômes multiorganiques non spécifiques observés pendant la première guerre du Golfe et celle des Balkans : faiblesse physique, maux de tête, douleurs musculaires et osseuses, modifications respiratoires, toux sèche persistante, douleurs thoraciques, troubles gastro-intestinaux, symptômes neurologiques, pertes de mémoire, anxiété et dépression. Des échantillons d'urine de 24 heures des sujets symptomatiques et de sujets témoins asymptomatiques ont été recueillis selon les critères suivants :



84 Sartin JS. « Gulf War illnesses : causes and controversies ». Mayo Clin Proc 2000 ; 75:811-9.

85 Jamal GA. « Gulf War syndrome – a model for the complexity of biological and environmental interaction with human health ». Adverse Drug React Toxicol Rev 1998 ; 17:1-17.

86 Haley RW, Kurt TL, Hom J. « Is there a Gulf War Syndrome ? Searching for syndromes by factor analysis of Symptoms » [published erratum appears in JAMA 1997 ; 278:388]. JAMA 1997 ; 277:215-22.

87 Murray-Leisure K, Daniels MO, Sees J, Suguitan E, Zangwill B, Bagheri S, et al. « Mucocutaneous-intestinal-rheumatic desert syndrome (MIRDS). Definition, histopathology, incubation period and clinical course and association with desert sand exposure ». The International Journal of Medicine 1977 ; 1:47-72.

88 Durakovic A, Dietz L, Zimmerman I. « Estimate of the pulmonary neoplastic hazard of inhaled depleted uranium in Gulf War veterans ». Proceedings of ECCO12, The European Cancer Conference ; 2003 Sept 21-25 ; Copenhagen, Denmark. Forthcoming 2003.

89 Sumanovic-Glamuzina D, Saraga-Karacic V, Roncevic, Milanov A, Bozic T, Boranic M. « Incidence of major congenital malformations in a region of Bosnia and Herzegovina allegedly polluted with depleted uranium ». Croat Med J 2003 ; 44:579-84.

90 Aitken M. « Gulf war leaves legacy of cancer ». BMJ 1999 ; 319:401.

- 1) Apparition des symptômes coïncidant avec les bombardements,
- 2) Sujets présents dans la zone des bombardements ;
- 3) Manifestations cliniques.

Les sujets du groupe témoin ont été choisis parmi les résidents asymptomatiques de zones non bombardées. Une estimation de la contamination environnementale avait été effectuée grâce à une analyse d'échantillons de sol, de poussière [91], de décombres et d'eau Potable [92] selon des critères établis pour l'évaluation de la dispersion, des dangers des actinides et de la collecte après impact d'échantillons environnementaux (fig. 2 et 3). Tous les sujets, y compris ceux du groupe témoin, ont été informés à propos du protocole et de la collecte d'échantillons dans les langues locales, le dari et le pachto, et ont signé un formulaire de consentement. Tous les échantillons ont fait l'objet d'une analyse de la concentration et du ratio de quatre isotopes d'uranium : U234, U235, U236 et U238 au moyen d'un spectromètre de masse multicollecteur à source d'ionisation par plasma à couplage inductif, dans les laboratoires du British Geological Survey de Nottingham (Angleterre).

Les premiers résultats concernant la province du Nangarhar ont révélé une augmentation significative d'élimination urinaire d'uranium totale chez la totalité des sujets, en moyenne plus de 20 fois plus élevée que chez les sujets non exposés. L'analyse des ratios isotopiques a révélé la présence d'UA [93]. Des analyses d'échantillons effectuées au cours d'un second voyage scientifique, en 2002, ont révélé des concentrations d'uranium jusqu'à 200 fois plus élevées que chez les sujets témoins. Ces taux élevés d'élimination d'uranium total ont été mesurés dans les districts de Tora Bora, de Yaka Toot, de Lal Mal, de Makam Khan Farm, d'Arda Farm, de Bibi Mahro, de Poli Cherki et à l'aéroport de Kaboul. Les deux voyages ont révélé des signatures identiques d'uranium non appauvri (UNA) dans toutes les zones de l'Est de l'Afghanistan étudiées (tableaux 2 et 3, figure 4). Les taux d'uranium enregistrés dans les échantillons de sol prélevés sur des sites bombardés au cours de l'Opération Liberté immuable étaient 2 à 3 fois plus élevés que les taux de concentration de 2-3 mg/kg observés dans le monde. Les concentrations dans l'eau étaient significativement plus élevées que les taux maximaux tolérés par l'OMS (cf. nos documents non publiés). Les recherches de l'UMRC s'étendent au Centre, à l'Ouest et au Nord de l'Afghanistan. Outre la poursuite des études sur l'analyse des urines pour mesurer les isotopes d'uranium, une collaboration interdisciplinaire consacrée à l'examen clinique approfondi des fonctions rénales et pulmonaires, des études cytogéniques des aberrations chromosomiques dans le sang périphérique de sujets contaminés, des études au microscope électronique et nanopathologiques d'échantillons de tissus provenant de biopsies et d'autopsies ont été mises en œuvre. Des études longitudinales d'anciens combattants de la première guerre du Golfe et de la population de l'Est de l'Afghanistan vont se poursuivre de même que des recherches sur les maladies inexplicables de vétérans de la seconde guerre du Golfe. Des études cliniques organisées dans des centres médicaux universitaires internationaux et des institutions de recherches vont évaluer les effets de l'UA et de l'UNA sur les systèmes rénal et respiratoire en recourant aux méthodes modernes de morphologie fonctionnelle et d'imagerie informatique. Les recherches porteront notamment sur la transformation néoplastique [94] l'apoptose cellulaire, la mutagénèse [95] et le risque cancérigène [96]. Des études de contamination environnementale et de biodistribution porteront sur les effets aigus et chroniques de composés d'isotopes d'uranium et évalueront les doses cumulatives de radiations et leurs effets biologiques depuis l'introduction de la guerre radioactive. Les études sur le terrain sont actuellement étendues à la population civile d'Irak, de la bande de Gaza, des Balkans et de nouvelles zones d'Afghanistan. Nos études confirment la découverte d'U236 dans des échantillons de sol des sites bombardés du Kosovo et la présence de particules d'UA. Ces échantillons contenaient des centaines de particules par milligramme de sol contaminé, dont 50 % de particules de diamètre inférieur à 1,5 µm et la plupart de diamètre inférieur à 5 µm [97]. Nous essayons d'évaluer ces résultats lors de nos voyages scientifiques dans les zones où des combats ont eu lieu.

Conclusion

La guerre CBRN moderne et la possibilité que des terroristes utilisent clandestinement des engins de dispersion de matières radioactives récents donnent une nouvelle dimension à la gestion de masses de victimes. Le rôle de la médecine dans la guerre nucléaire et radiologique est limité en raison du manque universel de capacités de réagir aux conséquences complexes du syndrome radiologique aigu, des blessures combinées ou de la contamination de la biosphère et de la population humaine. Des maladies récentes à l'étiologie inexplicée, la pathogénèse et les manifestations cliniques contraignent les médecins à intervenir alors que les modalités de traitement posent des problèmes non résolus. Les effets nocifs des radionucléides qui se sont déposés dans l'organisme à la suite des conflits militaires des dernières décennies, en particulier les effets des isotopes d'uranium, sont traités abondamment dans la littérature récente. Suscitant les progrès inévitables d'une recherche objective et non biaisée visant à faire toute la lumière sur les maladies inexplicées qui ont suivi les conflits, le besoin d'analyses interdisciplinaires bien préparées et coordonnées sur les conséquences environnementales et médicales de la guerre CBRN générera des connaissances approfondies dans ce chapitre exigeant de la science médicale.

Asaf Durakovic

-
- 91 Schmidt LJ. When the dust settles. Available from : <http://earthobservatory.nasa.gov/St...> Accessed : September 5, 2003.
 - 92 Hakonson-Hayes AC, Fresquez PR, Whicker FW. « Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well water ». *J Environ Radioact* 2002 ; 59:29–40.
 - 93 Durakovic A, Parrish R, Gerdes A, Zimmerman I. « The quantitative analysis of uranium isotopes in the urine of civilians after Operation Enduring Freedom in Jalalabad, Afghanistan » [abstract]. *Health Phys* 2003 ; 84 June Suppl : S. 198–9.
 - 94 Miller AC, Xu J, Stewart M, Prasanna PG, Page N. « Potential late health effects of depleted uranium and tungsten used in armor-piercing munitions : comparison of neoplastic transformation and genotoxicity with the known carcinogen nickel ». *Mil Med* 2002 ; 167 (2 Suppl):120–2.
 - 95 Miller AC, Xu J, Stewart M, McClain D. « Suppression of depleted uranium-induced neoplastic transformation of human cells by the phenyl fatty acid, phenyl acetate : chemoprevention by targeting the p21RAS protein pathway ». *Radiat Res* 2001 ; 155 (1 Pt 2):163–170.
 - 96 Durakovic A, Dietz L, Zimmerman I. « Differential decay analysis of the alpha dose of depleted uranium and the neoplastic risk in the lungs of Gulf War veterans » [abstract]. *J Nucl Med* 2003 ; 44 (suppl):326P.
 - 97 Danesi PR, Markowicz A, Chinea-Cano E, Burkart W, Salbu B, Donohue D, et al. « Depleted uranium particles in selected Kosovo samples ». *J Environ Radioact* 2003 ; 64:143–54.