



Effets des rayons ionisants sur la santé humaine

Par Jean-François Bornard

COLLECTIF CITOYEN DE MIONS

7-9 allée du Château, 69780 MIONS

PLAN

A) LES SUBSTANCES LIBÉRÉES LORS DES ACCIDENTS NUCLEAIRES

B) LES DIFFÉRENTS TYPES DE RADIATIONS OU RAYONNEMENTS

- 1) Le rayonnement alpha
- 2) Le rayonnement bêta
- 3) Le rayonnement gamma

C) LES RISQUES ENCOURUS

- 1) Les risques encourus dépendent du type d'irradiation et de la durée d'exposition.
- 2) Que se passe-t-il sur le plan clinique ?
- 3) Quelles sont les circonstances où l'on peut être irradié ?
- 4) Existe-il des possibilités de traitement et de protection ?

CONCLUSION

ANNEXES 1 à 13

EXPOSÉ

A) LES SUBSTANCES LIBÉRÉES LORS DES ACCIDENTS NUCLEAIRES

Lors d'un accident nucléaire du type TCHERNOBYL (26 avril 1986) ou FUKUSHIMA (11 mars 2011), des rayonnements et des substances radioactives ont été libérées dans l'atmosphère et dans l'eau. Ces substances radioactives sont constituées d'atomes dont les noyaux sont instables ou encore dits « radioactifs ». Ces noyaux radioactifs ont la propriété de se désintégrer spontanément en émettant diverses radiations. On appelle radioactivité ce phénomène spontané, le résultat en est une irradiation et souvent celle-ci entraîne la création de nouveaux noyaux radioactifs et ainsi de suite.

La liste de ces substances radioactives est longue et son énumération assez fastidieuse, car pour chaque atome cité, il peut exister des atomes à noyau stable (heureusement et c'est l'essentiel des éléments qui nous entourent), et aussi des atomes à noyau instable dit « radioactif ».

Si l'on veut faire rapide et dans un cadre de vulgarisation, lorsque l'on cite un atome à noyau radioactif, il faut donner au minimum un premier chiffre qui l'identifie sans ambiguïté dit « nombre de masse » (vulgairement sa masse) et un second qui correspond à sa demi-durée de vie radioactive, terme qui se comprend par lui-même mais que l'on veut expliquer un peu : au bout de cette demi-durée de vie, la moitié du nombre des atomes radioactifs s'est désintégrée.

Citons ainsi quelques éléments radioactifs qui peuvent se trouver libérés lors des accidents nucléaires dont nous parlons :

- **le césium 137** (ANNEXE 1) de demi-vie radioactive 30 ans. Précisons qu'il y a en général plusieurs processus de désintégration et que pour faire simple, on donne la demi-durée de vie de la réaction nucléaire la plus importante. On parle aussi de « période radioactive ».

- **l'iode 131** (ANNEXE 2) de période 8 jours.
- **le strontium 90** (ANNEXE 3) de période 28 ans.
- **le ruthénium 106** (ANNEXE 4) de période 374 jours.
- le tellure 132 de période 3,26 jours.
- le neptunium 237 de période 2,14 millions d'années et ses nombreux isotopes (explication de la notion d'isotope).
- **le plutonium 239** (ANNEXE 5) de période 24 000 ans et ses nombreux isotopes.
- le xénon et ses nombreux isotopes dont les périodes varient de quelques millions d'années à quelques heures
- **le zirconium 95** (ANNEXE 6)

B) LES DIFFÉRENTS TYPES DE RADIATIONS OU RAYONNEMENTS

Les radiations relatives à la radioactivité sont classées, pour faire simple, usuellement en trois catégories.

1) Le rayonnement alpha : (ANNEXE 7) ce sont des noyaux d'hélium, peu pénétrants dans les tissus (une feuille de papier de 3 millimètres les arrête) mais très agressifs. Tout tissu biologique touché est détruit.

2) Le rayonnement bêta : (ANNEXE 8) ce sont des électrons, plus pénétrants, environ 1 centimètre dans les tissus humains, et un peu moins agressifs. Une feuille d'aluminium de 3 millimètres les arrête.

3) Le rayonnement gamma : (ANNEXE 9) il s'agit d'un rayonnement électromagnétique (photons de haute énergie) de même nature que la lumière ou les rayons X, mais de longueur d'onde plus courte. Dans le même ordre d'idées, ce sont des ondes analogues à celles utilisées dans les télécommunications ou dans les fours à micro-ondes.

La dangerosité de ces rayonnements est d'autant plus grande que, sur le moment on ne sent rien. Tout se passe de façon inodore, indolore et invisible.

C) LES RISQUES ENCOURUS

1) Les risques encourus dépendent du type d'irradiation et de la durée d'exposition.

Deux cas peuvent se présenter :

- l'ingestion ou l'inhalation de particules radioactives,
- ou l'irradiation externe.

On mesure habituellement la dose reçue en MILLISIEVERTS (mSv) ou en SIEVERTS (Sv) pour les très fortes doses. (ANNEXE 10)

* Moins de 20 mSv : le risque est nul, ou pratiquement nul. Savoir que la dose reçue en moyenne en France, due à la radioactivité naturelle est de 2,4 mSv par an et par personne, nous vivons avec ces doses depuis toujours. Limite autorisée pour l'exposition de la *population aux rayonnements artificiels*, en France : 1 mSv/an/personne (Code de la santé publique, Article R1333-8).

* Au-delà de 100 mSv : le risque de développer un cancer est important, mais dans un avenir impossible à déterminer.

* Au-delà de 500 mSv : le risque de cancer est dans l'année à venir.

* Entre 4500 et 6000 mSv : nous sommes dans le cadre d'une « dose létale 50 ». C'est-à-dire, en bon français, qu'une victime sur deux va mourir dans les 30 jours.

* A partir de 10 Sv, la mort est certaine en quelques semaines, et au-delà de 50 Sv en quelques heures.

2) Que se passe-t-il sur le plan clinique ?

Lors d'une forte irradiation : apparaissent rapidement un œdème cérébral responsable de maux de tête intenses, une aplasie médullaire, c'est-à-dire une destruction de la moelle osseuse chargée de fabriquer nos globules sanguins, avec pour résultante une incapacité à nous défendre contre les infections, une chute des cheveux, diarrhée, vomissements, et des brûlures cutanées plus ou moins profondes.

Pour une irradiation moyenne : on retrouve le couple diarrhée-vomissements et l'atteinte cutanée allant du « coup de soleil » simple aux cloques de la brûlure du II^e degré. Les patients ayant subi une radiothérapie (cancer du sein, de la prostate ...) connaissent bien ce type d'effets secondaires. Puis tout rentre apparemment dans l'ordre en plus ou moins un mois.

Pour de plus faibles doses : sur le moment il ne se passe apparemment rien. Ce n'est qu'une illusion.

A terme peut apparaître une pathologie thyroïdienne liée à l'iode 131 : soit une insuffisance thyroïdienne, soit un cancer, surtout chez l'enfant. D'autres cancers peuvent se manifester : digestifs, pulmonaires, osseux ou des leucémies.

Il existe également une atteinte des organes génitaux sous formes de mutations des cellules reproductrices, spermatozoïdes et ovules. Ceci est particulièrement grave chez la femme, car les ovaires contiennent dès la naissance la totalité du stock d'ovules utilisés à l'âge adulte. Ainsi, des mutations chromosomiques (surtout si elles interviennent chez la petite fille), seront-elles définitives, sans espoir de récupération, et avec des risques énormes de malformations pour une descendance éventuelle. Chez le garçon, les choses sont moins terribles, car les spermatozoïdes sont fabriqués en permanence tout au long de la vie. Ainsi, en cas de lésions, au bout de quelques mois, tout rentre dans l'ordre.

Il faut noter l'effet cumulatif des doses reçues : l'organisme n'oublie jamais ce qui s'est passé. Ainsi, si l'on reçoit cinq fois 100 MSv dans sa vie, c'est comme si l'on avait reçu une fois 500 MSv, même si chaque dose était espacée de plusieurs années. Les mêmes précautions sont à prendre en ce qui concerne l'exposition au soleil, sachant que la peau des enfants capte beaucoup le rayonnement solaire.

3) Quelles sont les circonstances où l'on peut être irradié ?

Il existe une radioactivité naturelle liée à la nature des sols, pour les terrains datant de l'ère primaire, en particulier (Bretagne et Massif Central). Cela n'est pas toujours négligeable, notamment en cas de contamination de l'eau de source par du RADON, gaz très radioactif. Ce problème existe dans certains villages d'Auvergne. Rappelons que son intensité est en moyenne en France de 2,4 mSv par an et par personne.

Les irradiations médicales. La radiologie conventionnelle utilise les rayons X, et surtout la radiothérapie fait appel aux rayons gamma. Rappelons à ce propos l'effet cumulatif exposé plus haut. On ne peut impunément dépasser certaines doses. Des méthodes d'investigation et de diagnostic utilisent également des substances radioactives ; c'est le cas, entre autres, des scintigraphies : Iode 131 pour la thyroïde, Technétium, Strontium 89, Sodium 24, et Fluor 18 pour les tomographies par émission de positon. Les personnels manipulateurs de ces appareils ont de très strictes précautions à prendre. On peut également associer les intervenants sur les sites nucléaires civils ou militaires.

Les irradiations accidentelles, à l'occasion d'une fuite hors d'une centrale nucléaire et après l'explosion de bombes atomiques comme ce fut le cas dans le Pacifique après les essais nucléaires de Bikini et de Mururoa.

L'irradiation due aux rayons cosmiques lors d'un voyage en avion (ANNEXE 11) **ou d'un séjour en haute montagne** (ANNEXE 12)

4) Existe-il des possibilités de traitement et de protection ?

Disons le tout net, il n'existe aucun traitement en dehors des traitements symptomatiques. La meilleure des préventions reste d'éviter l'exposition. C'est tout le problème de la sécurité dans les centrales nucléaires.

Deux exceptions cependant sont à signaler :

L'absorption d'iode va saturer la glande thyroïde, qui de ce fait ne pourra plus fixer de l'iode radioactif, ce qui protégera cet organe.

Le Bleu de Prusse a un effet du même type sur l'intestin.

CONCLUSION

Pour conclure, il faut avouer que nous ne savons pas tout sur les effets biologiques de la radioactivité, en particulier sur les conséquences à long terme de doses faibles et répétées ainsi que sur la descendance des sujets atteints.

Beaucoup de recherches, sur ces sujets, sont du domaine « secret » ou « secret défense », dans un cadre plus général de la tentative de limiter le développement nucléaire militaire à la surface de la planète, pour éviter des catastrophes encore pires.

Les bombes atomiques lâchées le 6 août 1945 sur Hiroshima et le 9 août 1945 sur Nagasaki montrent bien ce qu'il ne faut plus faire. Les études sur les populations irradiées et leurs descendants se poursuivent encore de nos jours (ANNEXE 13).

Depuis ROENTGEN, Pierre et Marie CURIE, des avancées notables ont eu lieu, mais il reste du chemin à parcourir pour l'Humanité. Il est important que la connaissance progresse au niveau de chacun, pour essayer de comprendre le passé, mais surtout pour mieux préparer l'avenir de notre Planète.

ANNEXE 1 (source Wikipédia)

Pour le 137Cs, les effets des fortes doses ont été étudiés, mais les effets des faibles doses et des expositions chroniques sont mal documentés. L'étude des conséquences de Tchernobyl a permis de montrer que la charge corporelle en 137Cs est corrélée avec celle de l'alimentation.

En zone contaminée, le lait maternel contient du 137Cs, et celui-ci passe dans le sang et l'organisme du nouveau-né. En zone contaminée de Biélorussie, la part du 137Cs ingéré par une mère transférée au bébé allaité est d'environ 15 %.

Il existe une corrélation entre charge corporelle en césium et dérèglement de l'immunité humorale et cellulaire, selon une étude portant sur des enfants vivant en zone contaminée. Le césium peut contaminer le lait maternel et avoir des effets délétères chez l'enfant.

Y. I. Bandazhevsky et d'autres ont, plusieurs années après l'accident, détecté une augmentation des pathologies cardiovasculaires.

Une radio toxicité est démontrée pour le foie et le rein, ce qui explique probablement les troubles du métabolisme de la vitamine D associés à de faibles doses de 137Cs (également observé chez le rat exposé au 137Cs en laboratoire). Ces troubles pourraient augmenter le risque de rachitisme et de défaut de la minéralisation (problèmes osseux, dentaires...). Chez le rat, alors que les faibles doses semblent sans effet sur le squelette de l'adulte, une contamination in utero des embryons, via une exposition chronique de la mère (à de faibles doses) durant la grossesse semble perturber le métabolisme de la vitamine D, tant au niveau hormonal que moléculaire et contrairement à ce qui avait été observé chez le modèle adulte, des troubles de la calcification du squelette sont observés.

ANNEXE 2 (source Wikipédia)

L'iode 131 a une demi-vie de 8 jours. C'est un émetteur de rayons γ mais aussi de rayons β^- . Il est abondant parmi les produits de fission des réacteurs nucléaires. Lorsqu'il est utilisé médicalement, on l'administre à haute dose afin de détruire les tissus dans lesquels il s'accumule, qui sont prioritairement ceux du cancer de la thyroïde ; une dose insuffisante serait plus dangereuse en favorisant l'apparition d'un cancer sans tuer les cellules cancéreuses. L'iode 131 s'accumule dans la thyroïde de la même façon que tous les autres isotopes de l'iode, mais est particulièrement cancérigène même en petite quantité en raison de sa radioactivité β^- , dont le rayonnement ionisant provoque des mutations génétiques jusqu'à 0,6 à 2 mm du point d'émission, correspondant à la profondeur de pénétration de ce type de rayonnement.

L'iodure de potassium naturel, à base d'iode 127 stable, peut être utilisé sous diverses formes (en comprimés pour effet progressif, en solution saturée dite « SSKI » en cas d'urgence) pour saturer temporairement la capacité d'absorption d'iode de la thyroïde afin de bloquer pendant quelques heures la fixation éventuelle d'iode 131 dans cette glande ; c'est notamment le cas pour se prémunir des conséquences des retombées d'iode radioactif d'une bombe A ou d'un accident nucléaire.

Les doses d'iodure de potassium recommandées par l'OMS en cas d'émission d'iode radioactif ne dépassent pas 130 mg/jour au-dessus de l'âge de 12 ans et 65 mg/jour au-dessus de 3 ans; passé l'âge de 40 ans en revanche, l'utilisation préventive de comprimés d'iodure de potassium n'est pas recommandée — elle ne l'est qu'en cas de contamination effective justifiant la protection de la thyroïde — car les effets indésirables de l'iodure de potassium augmentent avec l'âge et peuvent dépasser les effets protecteurs de ce composé.

La protection offerte par les comprimés d'iodure de potassium est maximum environ deux heures après la prise et cesse après une journée.

ANNEXE 3 (source Wikipédia)

Le strontium radioactif (90Sr) a contaminé la biosphère suite aux essais nucléaires dans l'air, et suite à la catastrophe de Tchernobyl (le strontium a été le principal polluant distant avec l'iode et le césium).

Une partie de ce strontium a été concentrée à nouveau par la pyramide alimentaire, via certains champignons notamment. Une méthode analytique a été publiée pour standardiser l'analyse du strontium dans les champignons suite au passage du nuage.

Le lessivage du strontium ou sa bioconcentration dans la chaîne alimentaire, fait que la pollution de l'eau et de l'air a rapidement, selon l'UNSCAR, diminué (les eaux de boisson et d'irrigation ne dépassant plus 1 becquerel de césium et de strontium par litre).

Son isotope 90 est l'un des produits de fission (explosions atomiques, réacteur nucléaire) les plus dangereux. En effet, les expériences de Sydney Ringer ont montré, il y a plus de cent ans, que le strontium se substituait au calcium dans les os.

Les effets du strontium sur l'os peuvent se résumer ainsi : remplacement du calcium ou en plus grande quantité que le calcium, le strontium provoque des troubles osseux rappelant ceux du rachitisme et une hypocalcémie.

ANNEXE 4 (source Lenntech)

Le ruthénium 106 est un des radionucléides impliqués dans les essais atmosphériques des armes nucléaires, qui ont commencé en 1945, par un essai des USA, et fini en 1980 par un essai chinois. Il est parmi les radionucléides de grande demi-vie qui ont produit et continueront à produire un risque accru de cancers pendant les décennies et les siècles à venir.

Tous les composés de ruthénium devraient être considérés comme fortement toxiques et comme cancérogènes. Les composés du ruthénium souillent la peau très fortement. Il semble que le ruthénium ingéré soit fortement maintenu dans les os.

ANNEXE 5 (source Wikipédia)

Le plutonium répond aux définitions admises de « polluant ». Il fait partie des éléments présentant une « radio toxicité très élevée ».

Ce métal est normalement absent dans la nature à la surface du globe, mais il a été produit et diffusé en quantité significative et encore mesurable dans l'atmosphère et la biosphère, essentiellement dans les années de 1945 à 1970 par les essais et tirs nucléaires (et marginalement avec aussi des retombées plus locales ou régionales lors de la catastrophe de Tchernobyl).

L'isotope le plus dangereux est le Pu 238, utilisé dans des générateurs thermoélectriques à radio-isotope : un millionième de gramme (microgramme) ingéré et fixé dans l'organisme suffit à délivrer une dose équivalente calculée de quelques sieverts. Cependant, cette dose est délivrée sur toute une vie, et correspond à un débit de dose relativement faible (de l'ordre de quelques dizaines de $\mu\text{Sv/h}$) dont les effets sont très mal connus. Les isotopes utilisés dans l'industrie électronucléaire sont dix à cent fois moins radiotoxiques.

On estime qu'une quantité de l'ordre d'une dizaine de milligrammes provoque le décès d'une personne ayant inhalé en une seule fois des oxydes de plutonium. En effet les tests sur babouins et chiens montrent une mortalité de 50 %, au bout de 30 jours avec 0,009 g, au bout d'un an avec 0,0009 g et trois ans avec 0,0004 g.

L'apparition de tumeurs pulmonaires a été mise en évidence chez le chien et le rat après inhalation de composés peu solubles tels que les oxydes de plutonium : la relation dose-effet mise en évidence comporte un seuil d'apparition des tumeurs pour une dose au poumon autour de 1 Gy. Ce seuil d'apparition des tumeurs correspondrait chez l'homme à un dépôt pulmonaire d'environ 200 000 Bq (soit 87 μg) d'oxyde de ^{239}Pu . En cas d'ingestion par un individu sain, seul environ 0,05 % est absorbé par le tube digestif. Le plutonium franchit mal la barrière cutanée (si la peau est en bon état).

Par contre, une part importante du plutonium inhalé passe des poumons au sang qui le diffuse vers d'autres organes, plus ou moins vite et bien selon la taille des particules, et selon la nature et la solubilité du composé. Chez l'animal de laboratoire exposé à des taux élevés de plutonium, les tissus cibles ont été les poumons, les ganglions lymphatiques, le foie et les os (avec réduction de la durée de vie, cancers et pathologie pulmonaires).

On estime que chez l'Homme, 10 % du plutonium qui a franchi la barrière intestinale ou pulmonaire quitte le corps (via l'urine, et les excréments). Le reste après passage dans le sang se fixe pour moitié dans le foie et pour moitié dans le squelette, où il demeure très longtemps et pour partie à vie (Le DOE américain estime que la demi-vie dans l'organe est respectivement de 20 et 50 ans pour le foie et l'os, selon des modèles simplifiés ne tenant pas compte de redistributions intermédiaires (en cas de fracture et/ou de ménopause (cf. décalcification) et lors du recyclage normal de l'os, etc.). Le DOE précise que le taux accumulé dans le foie et le squelette dépend aussi de l'âge de l'individu (l'absorption dans le foie augmente avec l'âge), et qu'en fait, le plutonium se fixe d'abord sur la surface corticale et trabéculaire des os avant d'être lentement redistribué dans tout le volume minéral osseux.

ANNEXE 5 (source Wikipédia)

Le zirconium 95 est l'un des radionucléides résiduels des essais nucléaires atmosphériques des années 1950 et 60. Il compte parmi les radionucléides qui ont produit et continueront à produire un risque accru de cancers pour les décennies à venir.

Les bases de données de toxicologie ne contiennent que peu de références d'études sur les risques de sensibilisation avec le zirconium pur, mais la littérature scientifique cite des cas de sensibilisation pour certains composés (lactate de zirconium et de sodium, dioxyde de zirconium, tétrachlorure de zirconium) qui provoquent des granulomes cutanés. Les allergies ont été surtout constatées chez des patients ayant utilisé des sticks déodorants contenant du lactate de sodium et de zirconium) ou des crèmes topiques destinées à traiter des dermites et contenant du dioxyde de zirconium. Les lésions apparaissaient aux points de contacts et 4 à 6 semaines après l'utilisation de ces produits, aussi bien avec des sels solubles que qu'insolubles de zirconium.

Une alvéolite allergique a été signalée chez un travailleur du nucléaire après soudage de couvertures tubulaires contenant du zirconium (les granulomes trouvés dans les poumons du patient contenaient principalement du zirconium).

Sous forme de poussière en suspension, il peut provoquer une irritation mécanique des yeux avec « Risque d'atteinte pulmonaire lors d'une exposition répétée ou prolongée à la poussière ».

On suppose que : la pénétration dans la peau est facilitée par des actions tels que friction, rasage, ou des états physiologiques particuliers (sudation, inflammation dermatologique induite par une dermite).

Les granulomes se développent chez les personnes ayant acquis une hypersensibilité au zirconium. Ceux qui ont été formés par des sels solubles de zirconium disparaissent après quelques mois. Les autres (induites par des sels insolubles) persisteront plusieurs années, en résistant aux traitements dermatologiques.

ANNEXE 7 (source Wikipédia) Rayonnement alpha

http://fr.wikipedia.org/wiki/Radioactivit%C3%A9_%CE%B1

ANNEXE 8 (source Wikipédia) Rayonnement bêta

http://fr.wikipedia.org/wiki/Radioactivit%C3%A9_%CE%B2

ANNEXE 9 (source Wikipédia) Rayonnement gamma

http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_gamma

ANNEXE 10 (source Wikipédia)

Le sievert (symbole: Sv) est l'unité dérivée du système international pour l'équivalent de dose, et vise à évaluer quantitativement l'impact biologique d'une exposition à des rayonnements ionisants. La dose équivalente correspond à l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur de pondération du rayonnement qui prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré. Le sievert correspond donc à un Joule par kilogramme multiplié par un facteur de correction sans unité. Cette unité est nommée en hommage à Rolf Sievert, physicien suédois, célèbre pour ses travaux sur la mesure des doses de radiations et ses recherches sur les effets biologiques des radiations.

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Sievert>

ANNEXE 11 : Exposition aux radiations lors des voyages en avion

<http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/radiation/comsic-cosmique-fra.php>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Faibles_doses_d'irradiation

<http://www.pharmacie-principale.ch/themes-sante/stress-oxydatif/les-risques-pour-la-sante-des-voyages-en-avion/>

ANNEXE 12 : Mesure de radioactivité et protection civile

<http://www.astrosurf.com/luxorion/radioactivite-mesure-protection-civile.htm>

ANNEXE 13 : Hiroshima, Nagasaki et syndrome d'irradiation aiguë

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lesirradiesdhiroshimaetdenagasaki.htm>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Bombardements_atomiques_de_Hiroshima_et_Nagasaki

http://fr.wikipedia.org/wiki/Syndrome_d%27irradiation_aigu%C3%AB

Jean-François Bornard pour le CCM

