



## Le point de vue de la SFMN (Société Française de Médecine Nucléaire et imagerie moléculaire)

La Société Française de Médecine Nucléaire et imagerie moléculaire - SFMN, réunit des médecins spécialistes de Médecine Nucléaire, afin de faire connaître et développer cette spécialité médicale qui utilise des médicaments radioactifs (« marqués » par un isotope radioactif), les « médicaments radiopharmaceutiques ». Les médecins nucléaires ont l'expertise des effets de la radioactivité sur la santé.

Contact : Société Française de  
Médecine Nucléaire et imagerie  
moléculaire (SFMN)

Adresse  
5 rue Ponscarne 75013 PARIS  
Tél : + 33 1 44 75 88 16  
Email : [secretariat@sfmn.org](mailto:secretariat@sfmn.org)  
Site Internet : <https://www.cnp-mn.fr/sfmn-accueil/>

### EN BREF.

La Médecine Nucléaire, spécialité médicale qui utilise des médicaments radioactifs, « marqués » par un isotope radioactif (« médicaments radiopharmaceutiques », MRP) permet, en suivant la biodistribution de ces MRP dans l'organisme, l'étude des processus biologiques traduisant les mécanismes des maladies (« physiopathologie »). Elle apporte ainsi une aide précieuse pour le diagnostic et le suivi de nombreuses pathologies (Figure 1). Elle permet aussi des traitements efficaces de certains cancers (« radiothérapie interne vectorisée »).

Les médecins nucléaires ont ainsi une bonne connaissance des effets de la radioactivité à l'intérieur du corps humain, et une bonne expertise des conséquences possibles d'une contamination radioactive accidentelle ou fortuite. Si une exposition à une très forte radioactivité peut s'avérer très dangereuse, voire mortelle, en revanche les faibles quantités de radioactivité, provoquant une exposition du même ordre de grandeur que la radioactivité naturelle (c'est-à-dire spontanément présente dans l'environnement, dans les aliments et à l'intérieur même du corps humain), ne revêtent aucun danger particulier et ne représentent aucun risque.

Ceci permet, d'un point de vue médical, d'être totalement rassurant en affirmant l'absence totale de dangerosité des métaux recyclés tels qu'ils seront produits dans ce Technocentre, et qui pourront être considérés, après contrôle, comme ne relevant plus de la catégorie des « matières radioactives ».



## Les produits qui sortiront du Technocentre pour être utilisés seront sans danger pour la santé

La radioactivité résulte de la désintégration de certains atomes dont le noyau est instable du fait d'un déséquilibre entre neutrons et protons. Cette désintégration s'accompagne d'émissions de rayonnements, soit sous formes de photons (rayons X et gamma), soit sous forme de particules chargées (électrons et particules alpha). Les photons se propagent et peuvent agir à distance, tandis que les particules chargées n'ont d'effet qu'à très courte distance et n'entraîneront une exposition que si elles ont pénétré dans l'organisme du fait d'une incorporation (par voie respiratoire, digestive ou cutanée).

On quantifie la radioactivité présente dans un milieu par le nombre de désintégrations qui se produisent par unité de temps. L'unité de radioactivité est le becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde. Cette unité est très petite ; on utilise en pratique des multiples : le kilobecquerel (kBq), le mégabecquerel (MBq) et le gigabecquerel (GBq) soit respectivement mille, un million et un milliard de Bq.

Il faut bien comprendre que la quantité de Bq ne permet pas de prévoir les effets de la radioactivité sur la santé. Pour cela, ce n'est pas l'énergie émise sous forme de rayonnements qui importe, mais la quantité d'énergie absorbée par unité de poids dans les organismes qui sont exposés et reçoivent ces rayonnements, appelée « dose ».

Lorsqu'on s'intéresse aux effets de la radioactivité sur l'organisme dans son ensemble, l'unité de la dose de rayonnements reçue est le sievert (Sv), qui tient compte à la fois de l'énergie absorbée, du type de rayonnement et de la sensibilité des différents organes.

Bien sûr, plus la radioactivité présente est élevée, plus elle émettra d'énergie, ce qui majore l'exposition des sujets présents. Mais beaucoup d'énergie émise n'implique pas automatiquement beaucoup d'énergie reçue : tout dépend des conditions d'exposition au rayonnement, et des possibilités de contamination par les atomes radioactifs. Autrement dit, une forte radioactivité (en Bq) n'implique pas toujours des doses élevées (en Sv). En revanche, en aucun cas de faibles quantités de radioactivité (en Bq) ne peuvent être responsables de doses élevées (en Sv).

**Les effets sur la santé que l'on est en droit de redouter dépendent donc de la dose reçue**, par exposition externe ou par contamination interne, exprimée en Sv. Il faut donc s'intéresser aux conséquences en fonction de cette dose. Ces conséquences sont très différentes pour les fortes doses, les faibles doses, et les très faibles doses. L'UNSCEAR dans son rapport 2012 (<https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2012.html>) définit ainsi ces plages de dose :

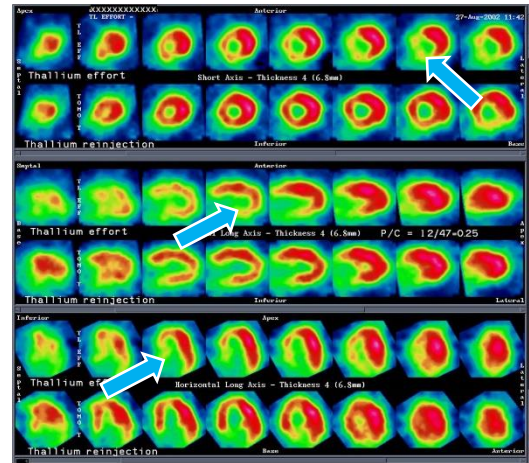


Figure 1 Coupes scintigraphiques du cœur montrant des zones d'ischémie (flèches) responsables d'un risque élevé d'infarctus (source : Images du service de médecine nucléaire du CHU Grenoble Alpes)

- Les fortes doses, très délétères car responsables d'effets déterministes graves (d'autant plus graves que la dose est élevée, pouvant aller jusqu'au décès), sont les doses supérieures à 1 Sv. De telles doses peuvent être délivrées par de forts flux de rayons X ou de neutrons, ou la proximité d'une source radioactive très intense. Mais en aucun cas de telles doses et effets ne peuvent être rencontrés à cause de la radioactivité dispersée dans l'environnement, ou de matières TFA.

- Les doses intermédiaires comprises entre 100 mSv (0,1 Sv) et 1 Sv, pour lesquelles on n'observe pas d'effet déterministe grave, mais qui sont responsables de cancers radioinduits dont la fréquence augmente avec la dose ; très rares entre 100 et 200 mSv, pouvant atteindre quelques cas à quelques dizaines de cas pour 100 000 individus au-dessus de 500 mSv et 5 % pour 1 Sv

- Les faibles doses comprises entre 10 et 100 mSv : aucun effet déterministe mais possibilité hypothétique de très rares cancers induits, impossibles à mettre en évidence car noyés dans le « bruit de fond » des cancers dus à de très nombreux autres facteurs.

- Les très faibles doses, inférieures à 10 mSv, pour lesquelles aucun effet n'a jamais été mis en évidence. Dans le présent dossier, seule cette gamme des très faibles doses est à considérer, que ce soit du fait des déchets à très faible activité (TFA) destinés au recyclage, et plus encore aux matières issues de ce recyclage, qui au terme de celui-ci et après contrôle, ne seront plus considérées comme des matières radioactives.

Une « matière non radioactive », au sens industriel, n'est pas totalement dépourvue de becquerels, car ceci est impossible : il faut comprendre que sa radioactivité est du même ordre de grandeur que la radioactivité naturelle présente absolument partout, y compris au sein même des organismes vivants. Le corps humain, très riche en potassium, en hydrogène

et en carbone, contient inévitablement une fraction de potassium 40, de tritium (hydrogène 3) et de carbone 14 tous trois radioactifs ; il faut y ajouter un peu (très peu !) de polonium 210, ainsi que des isotopes de l'uranium, du thorium, de l'actinium, du radium... tous apportés par l'alimentation car ces isotopes sont présents naturellement partout, y compris dans les aliments. La radioactivité du corps humain est ainsi de l'ordre de 120 Bq/kg (8 400 Bq pour une personne de 70 kg).

Au-delà, nous sommes en permanence exposés aux rayonnements cosmiques (venant de l'espace, dont une partie n'est pas arrêtée dans l'atmosphère et atteint le sol), et aux rayonnements d'origine tellurique, venant de la radioactivité contenue dans le sol et les matériaux qui nous entourent. Le radon 222, provenant de la désintégration du radium présent dans les roches et le sol, est un gaz radioactif présent partout en quantités variables.

**Tout ceci entraîne une dose d'origine naturelle qui en France varie selon les régions entre 2 et 5 mSv par an ;** dans certaines régions du monde (Kerala en Inde, Iran), cela peut être dix fois plus. Cette exposition aux rayonnements et à la radioactivité d'origine naturelle est-elle dangereuse ou nocive ? Tout porte à croire que non. Ceci est logique dans la mesure où les espèces vivantes, et les humains en particulier, ont toujours vécu dans un milieu où étaient présentes des radiations.

Pour s'en convaincre, il faut rappeler qu'un individu de 70 kg est constitué de quelques 30 à 40 000 milliards de cellules et en renouvelle environ 300 milliards chaque jour. Chacune de ces cellules est soumise chaque minute à de très nombreux facteurs chimiques et physiques responsables de nombreuses lésions,

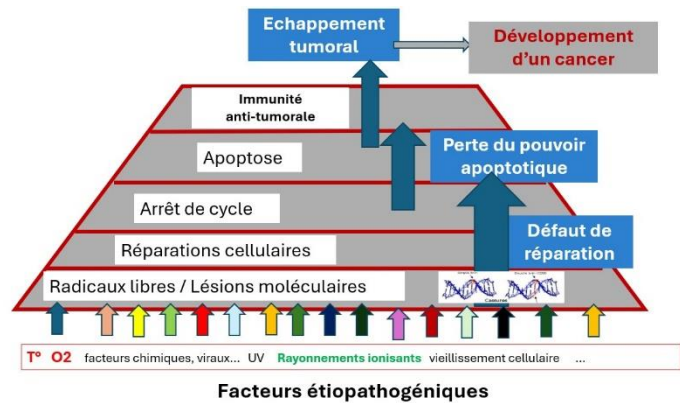


Figure 2. Pour qu'apparaisse un cancer, à partir des lésions générées en permanence dans les cellules, il faut que tous les mécanismes de défense soient dépassés : réparation des lésions, mort programmée de la cellule anormale (apoptose), et enfin défaillance du système immunitaire (Source : SFMN -Pr JP Vuillez).

notamment de l'ADN, responsables en permanence de l'apparition de cellules anormales. Ces lésions sont dues au premier chef à l'agitation thermique liée à la température, et au métabolisme oxydatif du fait de l'utilisation vitale du dioxygène pour la respiration cellulaire. La contribution des radiations d'origine naturelle est infime : moins d'un dix-millième de ces lésions leur sont imputables.

**Il existe fort heureusement des mécanismes de réparation et de défense cellulaires très efficaces qui évitent la persistance de ces cellules et leur évolution vers un cancer (figure 2).** Dans les conditions normales, les mécanismes de réparation l'emportent très largement et l'organisme se maintient en bonne santé. L'apparition d'un cancer est donc le résultat de lésions cellulaires anormalement abondantes, débordant les capacités de défense des cellules. Cela suppose que les facteurs responsables de ces lésions soient présents en quantité anormalement

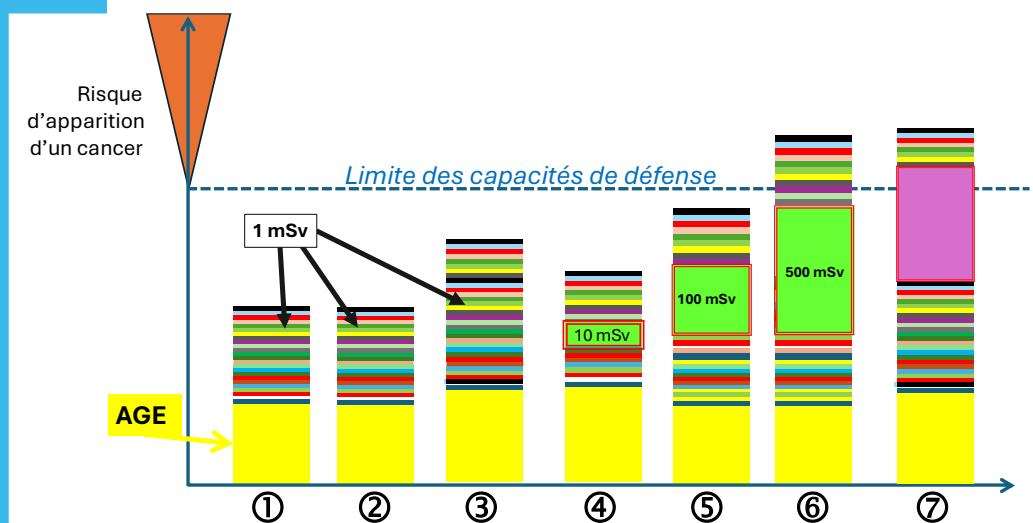


Figure 3 Les facteurs de cancérogenèse (l'âge étant l'un des principaux) sont normalement insuffisants pour excéder les mécanismes de défense de l'organisme, qui éliminent les cellules transformées au fur et à mesure (situations 1 à 5). L'augmentation d'un facteur, par exemple la dose d'irradiation (en vert) peut aboutir à un dépassement des capacités de défense et expliquer l'apparition d'un cancer, mais seulement pour des niveaux suffisamment élevés (situations 6 impliquant les rayonnements, et 7 impliquant un autre facteur figuré en mauve) (Source : SFMN -Pr JP Vuillez).

élevées. Les radiations peuvent être en cause, mais cela suppose donc qu'elles occasionnent une dose plus élevée que la dose d'origine naturelle, au moins d'un facteur 100. Ceci explique qu'on ne commence à constater une augmentation (très faible) de la fréquence des cancers que pour des doses supérieures à 100 mSv. En dessous, on ne peut pas exclure une participation des radiations à la cancérogenèse, mais elle est négligeable au sein de l'ensemble des autres facteurs. Quelques soient les ou les facteurs responsables de l'apparition d'un cancer, il faut qu'ils soient anormalement abondants, ceci est vrai aussi pour les rayonnements ionisants (figure 3).

Les examens de médecine nucléaire délivrent des doses de quelques mSv à quelques dizaines de mSv sans qu'on n'ait jamais observé d'effets délétères.

**Cependant, dans une démarche prudente de radioprotection de la population, la réglementation impose que les doses d'exposition aux rayonnements d'origine non naturelle ne puissent excéder 1 mSv par an (dose annuelle maximale admissible) pour le public. Ce mSv au maximum s'ajoute, rappelons-le, aux 3 à 5 mSv d'origine naturelle.**

Cette limite de 1 mSv exclut tout risque d'apparition de cancers supplémentaires liée aux rayonnements. Par conséquent, la **limite fixée et demandée pour les matériaux issus du technocentre de ne pas pouvoir générer une dose supérieure à 10 microsievert par an, soit 0,01 mSv c'est-à-dire 1% de la dose annuelle admissible pour le public**, est parfaitement raisonnable et autorise effectivement à ne plus considérer ces matériaux comme des « matières radioactives ».

Faisons une analogie pour aider à comprendre : il est impossible à un individu de parcourir 1 km avec un sac de 100 kg sur le dos. Avec un sac de 10 kg, c'est possible, mais difficile. En revanche, un individu en bonne santé n'aura aucun problème avec un sac de 1 kg. Mais afin de prévenir tout effet sur sa santé, une démarche similaire à celle appliquée pour la radioprotection consisterait à imposer que le poids du sac ne puisse excéder... 100 grammes ! On voit bien qu'il s'agit d'une protection très exigeante, garantie d'un risque totalement négligeable. A partir de là, l'équivalent de 10 microsievert, 1 % de 1 mSv, consisterait à augmenter le poids du sac de... 1 g ce qui ne sera

même pas ressenti par le porteur du sac, dont le poids sera passé de 100 à 101 g.

Tout ceci conduit à pouvoir affirmer que, dès lors que les traitements appliqués auront retiré la radioactivité pour garantir le respect cette limite de 10 microsievert, quel que soit l'usage des métaux valorisés, il n'y a plus lieu de considérer ces matériaux comme des matières radioactives, et leur banalisation ne pose aucun problème sur le plan médical.

## CONCLUSION

La dangerosité de la radioactivité dépend avant tout de l'énergie reçue par les individus exposés au rayonnement, qu'on appelle la dose et qui s'exprime en sievert (Sv).

La dose reçue est une fraction de l'énergie émise, laquelle dépend de la quantité de radioactivité présente. Une très faible radioactivité n'émet pas assez d'énergie pour pouvoir générer des doses élevées.

Pour les doses les plus faibles, il n'y a pas d'effets déterministes, mais une augmentation possible, très faible et proportionnelle à la dose, de la probabilité d'apparition de cancers. De l'ordre de 5 % pour 1 Sv, elle tombe à 0,01 % pour 100 mSv, à comparer à la fréquence de 25 % des cancers en général.

Pour les doses plus faibles, cette augmentation de probabilité de cancer devient théorique et impossible à mettre en évidence.

Les normes de radioprotection, extrêmement sévères, imposent une limite de 1 mSv par an pour l'exposition du public, à comparer à l'exposition aux rayonnements d'origine naturelle (2 à 5 mSv par an en France).

Les lingots métalliques issus du Technocentre, après traitement par fusion des métaux TFA, délivreront une dose annuelle inférieure à 0,01 mSv, quel que soit leur usage, et ne seront plus à considérer comme des « matières radioactives », car similaires aux matériaux en général, du fait de la radioactivité naturelle.

Du point de vue de la santé, ils seront totalement dépourvus de dangerosité, et pourront être utilisés sans aucune précaution particulière.

