

## L'impact potentiel de la radioactivité sur la santé de l'homme et de l'environnement

Frank De Geeter, spécialiste en médecine nucléaire, et Frank Deconinck, professeur émérite de physique médicale, n'ont aucune objection contre un stockage géologique en profondeur de déchets nucléaires qui serait situé sous leur maison. "C'est tout à fait sûr," affirment-ils, "à condition que les déchets soient enfouis dans la roche hôte appropriée."

Cependant, les deux experts ne nient pas les risques que les déchets radioactifs peuvent comporter pour la santé. Les rayonnements radioactifs endommagent l'ADN et provoquent, à doses élevées, une irradiation qui peut même être fatale. À doses plus faibles, il y a un risque de développer un cancer et des maladies héréditaires.

Mais ce risque n'existe que si on est effectivement exposé à des rayonnements radioactifs. "Grâce aux recherches scientifiques du siècle passé, nous avons élucidé les mystères des rayonnements radioactifs et mis au point des méthodes pour nous en protéger. Mieux encore, nous avons réussi à mettre la radioactivité à notre service dans les soins de santé. Les applications nucléaires médicales sont aujourd'hui un élément essentiel des soins de santé, tant au niveau du diagnostic que de la thérapie. La Belgique est même un leader mondial en matière de médecine nucléaire."

### Rayonnements radioactifs et radiotoxicité

#### Risques potentiels et perception

"Les rayonnements ionisants, un terme qui est en fait plus exact que celui de rayonnements radioactifs, constituent indéniablement un risque tant pour l'homme que pour la nature", affirme d'emblée Frank De Geeter. "C'est un fait irréfutable. Mais grâce à la recherche scientifique, nous avons acquis tant de connaissances sur la radioactivité que nous pouvons aujourd'hui gérer les substances radioactives de manière sûre."

"Certainement", confirme Frank Deconinck, "en fait il est préférable de parler de 'danger potentiel'. Les risques liés à la radioactivité sont déterminés par une combinaison du danger inhérent et de la probabilité d'être exposé à des substances radioactives ou à des sources de rayonnement. Hormis les rayonnements radioactifs naturels, auxquels chacun est exposé quotidiennement et tout au long de sa vie, nous contrôlons aujourd'hui très étroitement l'exposition aux sources radioactives artificielles."

## PRÉSENTS POUR LE FUTUR

Dialogue sur l'avenir  
des déchets radioactifs.



Frank De Geeter (g) est statisticien médical chez Styx, ancien chef de service de Médecine nucléaire et ancien chef de département au Centre d'Oncologie de l'AZ Sint-Jan Brugge-Oostende.

Frank Deconinck (r) est professeur émérite de Physique médicale à la VUB, co-directeur du Brussels Institute for Advanced Studies, président d'honneur du Centre belge d'étude de l'énergie nucléaire (SCK CEN), président d'honneur de la European Nuclear Society et coordinateur de Rad4Med.be.

“On ne peut pas ignorer le fait que l’image que la société se fait de la radioactivité trouve son origine dans les événements tragiques de 1945, lorsque les bombes atomiques ont eu des effets dévastateurs sur Hiroshima et Nagasaki”, poursuit Frank De Geeter. “Il est cependant essentiel de comprendre que la plus grande partie des dégâts humains et matériels a été causée à l’époque par les explosions elles-mêmes plutôt que par les rayonnements ionisants. Il n’empêche que subsiste dans la conscience du public l’idée fautive que la radioactivité a été le principal facteur du grand nombre de victimes japonaises.”

### **Un impact qui dépend de la dose**

Le médecin brugeois poursuit en expliquant le lien entre l’impact des rayonnements radioactifs et la dose. Il fait la comparaison avec les substances toxiques ou les toxines présentes dans notre alimentation. Prenons l’exemple des pommes de terre : elles contiennent également des toxines, mais en quantités si faibles qu’elles n’ont pas d’impact significatif sur notre santé. Un principe similaire s’applique aux rayonnements radioactifs. Il est donc très important que l’exposition aux rayonnements radioactifs puisse être mesurée et quantifiée avec précision. Les médecins et les physiciens utilisent le terme de ‘dose effective’ comme norme pour estimer l’impact potentiellement nocif des rayonnements ionisants sur l’ensemble du corps. Cette valeur calcule la dose absorbée par chaque organe ou tissu et tient compte de la sensibilité spécifique de chaque organe aux rayonnements.

L’unité du sievert (Sv) est utilisée pour exprimer cette dose effective. L’objectif est d’avoir une image claire des risques potentiels pour la santé liés à l’exposition à des rayonnements ionisants. “Cet indicateur est très précieux dans des domaines tels que la radiologie et la médecine nucléaire, car il aide à évaluer l’exposition aux rayonnements et à mettre en œuvre des mesures appropriées pour la minimiser”, selon Frank De Geeter.

“De plus, d’autres facteurs entrent en ligne de compte, comme la durée pendant laquelle quelqu’un est exposé aux rayonnements ionisants. Il y a une différence essentielle entre une dose aiguë élevée, comme celle à laquelle la population d’Hiroshima et de Nagasaki a été exposée, et la dose faible et chronique à laquelle nous sommes soumis quotidiennement du fait, entre autres, des sources naturelles de rayonnement dans notre cadre de vie.”

### **Effets déterministes et stochastiques**

“En cas d’exposition à des rayonnements radioactifs, on distingue deux types d’effets : les effets déterministes et les effets stochastiques”, poursuit Frank De Geeter. “Les effets déterministes se produisent à des doses élevées de rayonnement aigu. Des réactions tissulaires telles que des rougeurs, des brûlures et des pertes de cheveux sont des exemples d’effets déterministes. Une brève dose de rayonnement supérieure à 4 Gray<sup>1</sup> d’irradiation totale du corps est généralement mortelle”.

“Le cancer et les malformations génétiques sont des exemples de ce que nous appelons des effets stochastiques. Le risque d’effets stochastiques augmente également avec les doses, mais il n’y a pas de seuil spécifique. On suppose que le risque d’effets stochastiques subsiste, quoique limité, même en cas d’exposition à une faible dose de rayonnements radioactifs.”

---

<sup>1</sup> Le gray est une mesure de la quantité d’énergie qui est transmise au tissu alors que le sievert indique la dose effective de rayonnement en termes de dégâts biologiques.

Mais Frank De Geeter juge cette hypothèse assez spéculative. “Peut-on parler d’une dose sûre ?” s’interroge-t-il. “On ne trouve pas dans la littérature de preuves convaincantes qu’une faible dose de radioactivité provoque réellement le cancer chez l’homme. Des effets clairs sont observés à des doses supérieures à 100 millisieverts, mais à des doses inférieures, il n’y a pas de preuve épidémiologique concluante de nocivité. Dans la pratique, on extrapole aux doses inférieures les effets nocifs connus aux doses plus élevées. On suppose alors que toute dose, aussi faible soit-elle, comporte un certain risque”.

“Dans une optique de prudence, cette approche est valable, mais d’un point de vue scientifique, elle présente de graves défauts. Je n’exclus pas du tout qu’il existe une sorte de seuil sous lequel les rayonnements radioactifs n’entraînent aucun risque pour la santé. La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) chiffre à 5,9 % l’augmentation du risque de cancer par sievert d’irradiation et à 0,2 % l’augmentation du risque d’effets génétiques par sievert d’irradiation pour l’ensemble de la population, quel que soit l’âge. Pour la population active (de 18 à 65 ans), les chiffres sont légèrement inférieurs : 4,6 % pour l’augmentation du risque de cancer et 0,1 % pour les effets génétiques. Cette différence s’explique par la plus grande sensibilité des enfants aux rayonnements ionisants. Le fœtus est également plus sensible. En outre, il existe d’autres variations, notamment en fonction du sexe (les femmes sont plus sensibles que les hommes). Cependant, je rappelle toujours aux patients qu’à faible dose, il s’agit d’un ‘risque potentiel’.”

La CIRP et, en Belgique, l’AFCN/FANC<sup>2</sup> imposent des limites de doses maximales : 20 millisieverts par an pour les personnes qui sont exposées à la radioactivité dans un cadre professionnel et 1 millisievert par an pour le reste de la population.

Tous les organes n’ont pas la même sensibilité aux rayonnements : l’impact des rayonnements ionisants sur les ovaires et les testicules est par exemple 200 fois plus important que sur la peau et les tissus osseux. Les cellules de la moelle osseuse, qui se divisent rapidement et qui produisent les cellules sanguines, sont également parmi les plus sensibles. Toutefois, la dose de rayonnement exprimée en sievert tient déjà compte de ces différences de sensibilité entre les tissus.

### **Radiotoxicité**

“Outre les dangers des rayonnements radioactifs en tant que tels, nous devons également tenir compte du phénomène de la ‘radiotoxicité’”, ajoute Frank Deconinck. “La radiotoxicité désigne les effets nocifs des substances radioactives ingérées, par exemple dans les aliments ou dans l’air inhalé. Ces substances peuvent ensuite endommager des cellules et des tissus en les irradiant depuis l’intérieur de notre corps. Certains éléments radioactifs se répandent dans tout le corps ou sont rapidement éliminés, mais d’autres s’accumulent dans certains tissus. Le degré de radiotoxicité dépend de facteurs tels que la nature de la substance radioactive, la quantité absorbée et la durée d’exposition”.

---

<sup>2</sup> FANC / AFCN. Officiële dosislimieten, <https://fanc.fgov.be/nl/professionelen/bescherming-van-de-werknemers/verplichtingen-van-de-exploitanten/officialie>; Limites de doses officielles, <https://afcn.fgov.be/fr/professionnels/protection-des-travailleurs/obligations-des-exploitants-ou-chefs-dentreprise/limites>

Ces effets nocifs des substances radioactives constituent une préoccupation majeure en raison de leur impact potentiel à long terme. Tout comme pour une irradiation provenant d'une source externe, les substances radioactives absorbées par l'organisme peuvent entraîner des mutations génétiques, un risque accru de cancer et d'autres graves problèmes de santé. C'est pourquoi il est essentiel de comprendre et de gérer les risques liés à l'exposition à des substances radioactives, en particulier dans des secteurs tels que l'énergie nucléaire, les applications médicales et le traitement des déchets. Des protocoles de sécurité stricts, une dosimétrie précise et des mesures de protection sont nécessaires pour minimiser l'exposition aux substances radiotoxiques.

## Les déchets radioactifs enfouis sous terre

### Diffusion et intrusion

Dans le cadre d'un stockage en profondeur de déchets radioactifs, l'exposition potentielle des riverains aux rayonnements et à la radiotoxicité est réduite en principe à un niveau largement inférieur aux limites de sécurité, et ce pour une très longue période. Les déchets sont emballés dans des enveloppes en béton et en métal et enfouis à des centaines de mètres sous terre, entièrement isolés du monde extérieur.

Frank Deconinck indique néanmoins qu'il existe deux risques. "Un premier problème est que des éléments radioactifs peuvent être libérés dans la biosphère après une très longue période. Cela pourrait contaminer l'environnement, l'eau potable, les terres agricoles ou des zones d'habitat ou d'emploi. Les conteneurs en métal et en béton qui enveloppent les déchets sont importants pour éviter cela, mais la roche hôte dans laquelle l'installation de stockage est creusée l'est encore plus. Cette roche – par exemple de l'argile, du granit ou du sel – doit ralentir la diffusion des substances radioactives une fois que l'emballage a cédé. Les modèles mathématiques actuels indiquent que la libération d'éléments radioactifs n'aura lieu qu'après plusieurs centaines de milliers d'années, voire encore plus tard. À ce moment-là, la plupart des éléments radioactifs se seront déjà décomposés, la principale exception étant les isotopes radioactifs de l'iode. Mais ce processus sera si lent que les doses émises seront nettement inférieures à 0,1 millisievert, ce qui est largement sous les seuils actuels". À titre de comparaison, le Belge moyen est exposé à 3,5 à 4 millisieverts par an, dont 60% proviennent du rayonnement naturel et 30 à 40% d'applications médicales et radiologiques. La part des autres activités nucléaires humaines est négligeable.

"En ce qui concerne les fuites éventuelles d'éléments radioactifs, je ne vois personnellement aucun danger dans un stockage géologique bien conçu", conclut Frank Deconinck. "Mais une intrusion potentielle dans le stockage est une autre histoire : les générations futures pourraient creuser accidentellement ou intentionnellement sur le site du stockage et être exposées à des substances radioactives. Dans ce contexte, la profondeur du stockage est importante : plus il est profond, plus le risque d'intrusion est faible."

### Les réacteurs nucléaires naturels du Gabon

Selon Frank Deconinck, les réacteurs nucléaires naturels d'Oklo, dans le sud-est du Gabon, confirment la sécurité d'un stockage géologique dans des couches d'argile. Il y a environ 1,5 milliard d'années, des réactions spontanées de fission nucléaire de l'uranium 235 s'y sont produites pendant au moins 150.000 ans, comme dans les centrales nucléaires modernes.

L'accumulation d'uranium à des endroits spécifiques, combinée à des inondations régulières, a provoqué ces réactions spontanées. L'oxyde d'uranium s'est dissous dans l'eau et s'est accumulé jusqu'à atteindre une masse critique tandis que l'eau agissait comme un 'ralentisseur de neutrons'. Des réactions en chaîne spontanées ont été déclenchées parce que les neutrons rapides ont été freinés et qu'une concentration critique d'uranium 235 a été atteinte. La chaleur générée a vaporisé l'eau, ce qui a arrêté le réacteur et évité une fusion. Une nouvelle inondation a déclenché une nouvelle réaction de fission. Ce n'est que lorsque la quantité d'uranium 235 est tombée sous le niveau nécessaire pour maintenir une réaction en chaîne que les réacteurs se sont définitivement éteints.

“Mais les réactions de fission successives ont entraîné une accumulation de plutonium, d'actinides mineurs et de produits de fission, semblables aux éléments radioactifs que l'on trouve dans le combustible usé et dans les déchets retraités de nos réacteurs nucléaires. À Oklo, ces produits ont été encapsulés dans une substance argileuse. Aujourd'hui, après un milliard et demi d'années, il s'avère qu'aucun de ces éléments radioactifs ne s'est diffusé au-delà de quelques mètres. Cet exemple est une analogie naturelle au stockage en profondeur dans l'argile”, estime Frank Deconinck.

## Les défis pour la santé publique

### Effets imprévus

En termes de santé publique et de perception par la société, la sécurité nucléaire occupe une place particulière. Frank Deconinck se réfère à divers rapports sur les conséquences de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima à la suite du tremblement de terre et du tsunami de décembre 2011. Une étude du 'UN Scientific Committee on the Effects of Radiation' a ainsi conclu que l'exposition aux rayonnements ou aux substances radioactives n'a pas eu d'effets directs sur la santé de la population locale et des travailleurs de la centrale. Le Comité a également estimé qu'il était peu probable que de futurs effets sur la santé puissent être imputés à l'incident, ni pour le grand public, ni pour la grande majorité des travailleurs.

Il n'empêche que, dans les jours qui ont suivi l'incident, plus de 100.000 personnes ont été évacuées de chez elles par mesure de précaution contre la contamination radioactive. Une étude britannique récente montre que cette évacuation a entraîné en fin de compte une augmentation considérable des suicides parmi les personnes âgées et les adultes japonais. Des centaines de cas ont été signalés. Les mesures de protection décrétées par les autorités japonaises ont donc coûté beaucoup plus cher en vies humaines que l'incident nucléaire lui-même – même si Frank Deconinck n'exclut pas que l'impact des rayonnements radioactifs ou de la contamination aurait pu être plus grand si ces personnes avaient continué à vivre à proximité de la centrale.

### Rechercher le bon équilibre

Avec cet exemple, les deux experts illustrent les défis de santé publique auxquels sont confrontés les décideurs politiques. Alors que la plupart des gens ont une notion de leur santé individuelle et des soins de santé, la santé publique s'occupe des préoccupations sanitaires de populations entières. Les décideurs politiques doivent constamment rechercher un équilibre entre les soins prodigués aux patients individuels et le bien-être de toute la communauté. Trouver cet équilibre est aussi une tâche complexe dans le secteur de la sécurité nucléaire.

“Tout est lié à la subjectivité de l'évaluation des risques, au déploiement des moyens et à la perception de la société”, estiment Frank De Geeter et Frank Deconinck. “Un exemple : lorsque le premier scanner PET a été installé à l'UZ Brussel, on a calculé quelle serait la dose de radiation d'une personne travaillant à un bureau dans une pièce voisine. Ce calcul a montré que l'exposition s'élevait à environ 1,1 millisievert par an, juste au-dessus du seuil pour la population en général. Il a été décidé d'installer une protection en plomb dans la salle où se trouve le scanner TEP. Le coût de cette opération, de l'ordre de 200.000 euros, a eu pour effet qu'il n'y a pas eu de budget pendant deux ans pour engager un médecin supplémentaire. Cette paroi en plomb a potentiellement sauvé une fraction de vie. Si l'on tient compte du coût, on a sans doute investi plusieurs milliards pour sauver une seule vie. En investissant ces 200.000 euros ailleurs dans le système de santé, par exemple dans le salaire d'un médecin, on aurait pu sauver beaucoup plus de vies. C'est ce genre d'arbitrage que les décideurs doivent faire en permanence”.

## **La Belgique, un leader mondial en médecine nucléaire**

### **Les rayonnements ionisants ont également un impact positif sur la société**

Pour conclure, les deux experts tiennent néanmoins à souligner le côté positif de la radioactivité. “Nous parlons de risques et de dangers, mais il est indiscutable qu'il y a aussi un impact positif sur la société. La Belgique s'est intéressée très tôt aux activités nucléaires. Dès le début, celles-ci ont aussi été axées sur des applications dans le domaine des soins de santé. Cela a permis à la Belgique d'atteindre un niveau de développement très élevé dans le domaine de la production d'isotopes, de la radiopharmacie, de la dosimétrie et des applications cliniques.”

### **Diagnostic et suivi**

L'impact social positif de la médecine nucléaire sur les soins de santé est indéniable. Nombreux sont ceux qui ont personnellement vu comment des examens radiologiques ont aidé à détecter une fracture osseuse, à diagnostiquer une pneumonie, à découvrir une tumeur, etc. De plus, le recours à des techniques d'imagerie innovantes joue un rôle croissant dans l'identification, le diagnostic et le suivi d'innombrables maladies ainsi que dans l'évaluation de l'efficacité des méthodes de traitement. Ces progrès ont indirectement apporté une contribution significative à la recherche médicale et au développement de médicaments, ouvrant la voie à des interventions thérapeutiques plus ciblées et plus efficaces.

### **Radiothérapie**

Par ailleurs, l'utilisation de moyens radiothérapeutiques en médecine nucléaire a conduit à des avancées dans le traitement de certaines formes de cancers et d'autres maladies, avec un impact positif sur les résultats pour les patients et un nouvel espoir pour des personnes qui n'avaient auparavant que des options de traitement limitées. Grâce à l'irradiation ciblée des tumeurs malignes, ce traitement permet souvent de tuer les cellules cancéreuses et de maîtriser la taille et la croissance de la tumeur, tout en épargnant autant que possible les tissus sains. Une autre importante technique émergente est la radiothérapie interne, qui consiste à placer des sources radioactives directement à l'intérieur ou à proximité de la tumeur. Il est ainsi possible de délivrer avec précision de fortes doses de radiations à la tumeur, sans toucher aux tissus normaux qui l'entourent.

Depuis la fin des années 1990, la Belgique est, avec l'Allemagne, en tête du peloton européen en termes de densité d'équipements de médecine nucléaire par habitant et d'expertise des physiciens et des médecins spécialisés en médecine nucléaire, selon un rapport de Rad4Med.be, le réseau belge pour les applications nucléaires dans les soins de santé. Grâce en partie à la présence du SCK CEN, le Centre belge d'études de l'énergie nucléaire, et de l'IRE, l'Institut des radioéléments, la Belgique est devenue un acteur majeur dans la production mondiale de radionucléides pour les applications médicales. Chaque année, plus de 10 millions de patients dans le monde peuvent bénéficier de procédures avancées en médecine nucléaire, notamment grâce aux radio-isotopes médicaux produits en Belgique.

“La Belgique joue un rôle de premier plan dans tous les aspects importants pour les applications cliniques de la médecine nucléaire et plus largement pour le déploiement de la science et de la technologie nucléaires dans les soins de santé”, conclut Frank Deconinck : “de la production et du raffinement des radio-isotopes aux études précliniques et cliniques, en passant par l'utilisation quotidienne. Pour une fois, cet aspect moins connu du 'secteur nucléaire' peut également être mis en lumière.”

En savoir plus :

UN SCEAR et UNEP/PNUE, Straling, effecten en bronnen / Radiation, effets et sources, <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/radiation-effects-and-sources.html>

Rad4Med.be, The Belgian expertise in nuclear science and technology applications for healthcare. <https://rad4med.be/>