



## Faibles et très faibles doses de rayonnements ionisants

### DES EFFETS SANITAIRES À LA FOIS MÉCONNUS ET SOUS-ÉVALUÉS

*Les promoteurs de la « libération » des matériaux contaminés par des produits radioactifs affirment de façon péremptoire que cette pratique n'aura pas d'impact sanitaire, ou en tout cas un impact sanitaire négligeable. C'est une chose de l'affirmer, une autre de le démontrer. Il faudrait en effet apporter 3 niveaux de garanties qui font actuellement défaut : 1/ s'assurer que les seuils de libération, c'est-à-dire les limites de contamination à ne pas dépasser, seront effectivement respectés (cf. fiche n°6); 2/ vérifier que les valeurs retenues (en Bq/kg) correspondent effectivement à la dose de rayonnement annoncée, soit 10  $\mu\text{Sv}/\text{an}^1$  (cf. fiche n°4) ; 3/ disposer d'une quantification précise et fiable des risques sanitaires associés aux faibles et très faibles doses de rayonnement. Ce troisième volet est traité ci-dessous. Un exposé complet sur l'impact sanitaire des faibles doses dépasse évidemment le cadre de cette fiche. Il s'agit avant tout de laisser entrevoir la nature des problèmes à résoudre.*

#### 1/ Une désinformation intense

La question de l'impact sanitaire des faibles doses de rayonnement est cruciale pour l'industrie nucléaire, bien plus que celle des fortes doses, car le nombre de personnes concernées est sans commune mesure. Elle impacte presque toutes les décisions de gestion : la fixation des limites de dose pour le public et les travailleurs, les autorisations de rejets dans l'environnement, la gestion des sites pollués, les décisions de relogement en cas d'accident, etc. L'importance des enjeux explique l'omniprésence de la désinformation. Le débat sur la gestion des déchets nucléaires TFA n'a pas fait exception.

Un exemple éloquent figure dans « [Quelques repères sur le nucléaire](#) », un document de référence mis en ligne dans le cadre du débat public<sup>2</sup>. Sur la question des faibles doses, le discours est plus que rassurant : « Même s'il existe une relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants et l'apparition de cancers, cette relation n'a pas été démontrée pour de très faibles doses. À l'heure actuelle, les effets sur la santé humaine d'une exposition à des doses inférieures à 100 mSv/an font l'objet de débats scientifiques. » Une contre-vérité manifeste, mais récurrente, qui traduit soit l'incompétence, soit la malhonnêteté des auteurs.

Des études ont en effet démontré l'impact cancérogène d'expositions nettement inférieures, de l'ordre de quelques dizaines de mSv/an, et même **de quelques mSv/an**. Il est vrai que la plupart des études n'ont pas la puissance statistique nécessaire pour permettre d'établir un lien de causalité entre l'excès de risque et les très faibles doses de rayonnement. Mais ce n'est pas parce qu'une étude n'a pas la capacité de voir, qu'il n'y a rien à voir. Les études conduites sur des cohortes suffisamment nombreuses (étude INWORKS pour les travailleurs du nucléaire ou étude multi-cohortes pour l'exposition au radon) ont démontré l'impact des faibles doses bien en deçà de 100 mSv/an !

Parmi les techniques de désinformation les plus utilisées, figure la transformation d'une dose d'exposition **cumulée** (par ex. 50 mSv reçus sur 25 ans de vie professionnelle, soit 2 mSv/an en moyenne) en une dose d'exposition **annuelle** (50 mSv/an, soit une multiplication par 25 de l'exposition !) ou encore la confusion savamment entretenue entre dose **à l'organe** et dose **efficace** : la dose absorbée par un organe est utilisée dans les études expérimentales et épidémiologiques, alors que la dose efficace, généralement utilisée pour l'établissement des normes de radioprotection, est une dose au corps entier obtenue après conversion et cumul des doses reçues par les différents organes. Pour convertir les doses à l'organe en dose efficace (au corps entier), ont été définis des facteurs de pondération tissulaire (notés  $w_T$ ). Pour le cerveau, par exemple, le facteur de pondération est de 0,01 (soit une division par 100 de la dose absorbée par l'organe)<sup>3</sup> : après

<sup>1</sup> Il s'agit plus précisément de la dose efficace ajoutée (ajoutée par la libération des matériaux contaminés au bruit de fond radiologique normal).

<sup>2</sup> Document publié par les maîtres d'ouvrage, la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) et l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN), dans le cadre du débat public sur le 5<sup>ème</sup> PNGMDR.

<sup>3</sup> Ce coefficient s'applique aussi aux surfaces osseuses ou à la peau mais il est par exemple de 0,12 pour la moelle osseuse rouge ou les poumons, de 0,04 pour le foie ou la thyroïde. Une analyse critique du dispositif sort du cadre de ce document.

conversion en dose efficace, une dose au cerveau de 90 mSv, n'est plus que de 0,9 mSv. En conséquence, si une étude ne décèle pas d'effet parmi les membres d'une cohorte qui ont reçu une dose **au cerveau** de 90 mSv, il serait donc malhonnête d'en déduire qu'une dose **efficace** de 90 mSv est inoffensive, a fortiori qu'une dose **efficace** de 90 mSv **par an** est sans effet. Ce type de glissement est pourtant habituel dans la propagande du lobby nucléaire<sup>4</sup>.

Diverses études épidémiologiques<sup>5</sup> ont montré l'augmentation de l'incidence des cancers chez les patients de 0 à 18 ans exposés lors de tomodensitométries de la tête. Les doses de rayonnements délivrées lors d'un scanner cérébral sont variables (selon l'équipement, le protocole, l'âge et le sexe du patient, etc.) mais on peut retenir, comme ordre de grandeur, une **dose efficace** (cumulant les doses pondérées reçues par les différents organes) de **quelques mSv** (typiquement entre 1 et 5 mSv). Les études effectuées sur des cohortes d'enfants (beaucoup plus sensibles et vulnérables que les adultes) montrent que l'incidence des cancers augmente avec le nombre de scanners et que le risque augmente dès le premier examen. On est donc très loin de l'absence de preuve en dessous de 100 mSv par an !

NB : le surcroît de risque induit par l'examen doit évidemment être mis en rapport avec son intérêt diagnostique<sup>6</sup>. La logique n'est pas du tout la même en matière de « libération » des déchets radioactifs : pour la population, le surcroît de risque n'a pas vraiment de contrepartie positive.

L'impact des très faibles doses n'est pas forcément accessible à l'épidémiologie mais ce n'est pas parce que les études ne peuvent pas être conduites que le risque ne persiste pas. De très nombreuses données, aussi bien expérimentales que théoriques, viennent d'ailleurs conforter le **modèle sans seuil** (l'absence de seuil en-deçà duquel l'exposition aux rayonnements ionisants serait sans effet).

## 2. La stratégie du doute

En matière de faibles doses de rayonnement, le système officiel de radioprotection ne prend en compte que deux types d'effets : **les cancers et les effets héréditaires** (et, pour ces derniers, ne sont désormais comptabilisés que les effets sur les deux premières générations). Des études – portant notamment sur les habitants de territoires contaminés par Tchernobyl – ont pourtant montré qu'une exposition prolongée aux rayonnements ionisants, notamment par voie interne, pouvait entraîner **l'atteinte de presque tous les systèmes physiologiques** : cardio-vasculaire, neurologique, digestif, endocrinien, urinaire, etc.

Le niveau de certitude très élevé exigé pour pouvoir conclure à un lien de causalité incontestable permet à l'establishment d'entretenir le doute. C'est d'autant plus facile que tout a été fait, dans les périodes cruciales, pour ne pas disposer de données fiables, que ce soit sur les niveaux d'exposition ou sur les pathologies. L'UNSCEAR<sup>7</sup> et l'AIEA<sup>8</sup> sont ainsi parvenues à maintenir un bilan sanitaire dérisoire pour la catastrophe de Tchernobyl.

Dans certains cas, la réalité des pathologies n'est plus contestée mais elles ne sont toujours pas intégrées au détriment officiel, faute de modèle explicatif ou parce que la quantification aux faibles doses est jugée trop incertaine. Dans sa publication 103, la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) reconnaît par exemple les preuves d'un lien de causalité entre les rayonnements ionisants et les cardiopathies, les accidents cérébraux-vasculaires, les maladies digestives et respiratoires mais souligne que « *la lumière n'a pas encore été faite sur les types de mécanismes cellulaires et tissulaires qui pourraient être à l'origine d'une telle variété d'affections non cancéreuses* ». Il ne s'agit pas d'un point de détail car ces effets pourraient être, au total, comparables aux effets cancérogènes, voire plus importants.

---

<sup>4</sup> À l'opposé, pour déterminer la dose efficace, il faut tenir compte de la contribution de tous les organes (il est en effet assez rare qu'un seul organe soit impacté par les rayonnements).

<sup>5</sup> Cf. notamment études de Pearce MS et al., 2012 (Grande-Bretagne), de Mathews JD et al., 2013 (Australie), de Huang WY et al. 2014 (Taiwan).

<sup>6</sup> La justification des examens irradiants est impérieuse. L'étude réalisée sur la Grande Bretagne conclut que, pour les enfants de moins de 15 ans, les doses cumulées de 2 ou 3 scanners cérébraux (environ 60 mSv en dose au cerveau) pourraient presque tripler le risque de tumeur cérébrale ; avec 5 à 10 scanners cérébraux (environ 50 mSv en dose à la moelle osseuse rouge), le risque de leucémie est multiplié par 3.

<sup>7</sup> Seuls 27 pays (dont les 24 États nucléarisés) sont autorisés à déléguer leurs experts à ce Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

<sup>8</sup> Agence Internationale de l'Énergie Atomique qui a pour double mission (largement contradictoire) de contrôler le nucléaire militaire et de développer le nucléaire civil.

Dès lors qu'il s'agit de décider de la dissémination volontaire de substances radioactives, il faut réexaminer l'ensemble des données et inverser la logique de la preuve, en imposant que le doute bénéficie aux victimes potentielles de la pollution et non plus aux pollueurs. On peut en effet exiger une quasi-certitude pour des recherches scientifiques mais pas pour des décisions susceptibles de porter atteinte au capital santé et au patrimoine génétique de la population. Le niveau de protection requis devrait par ailleurs être dimensionné pour l'enfant et le fœtus car, dans presque tous les cas, l'impact est maximal lorsque l'exposition se produit in utero ou pendant l'enfance.

### 3. Des risques sous-estimés

Si on limite l'examen aux effets reconnus des faibles doses, il faut d'abord souligner que l'évolution progressive des connaissances a conduit à revoir à la hausse les coefficients de risque et à abaisser en conséquence les normes de protection. En quelques décennies, il a fallu abaisser la limite de dose du public de 15 mSv/an à 5 mSv/an, puis à 1 mSv/an, le risque de cancer s'avérant chaque fois plus élevé que prévu.

Et il est aujourd'hui impossible de considérer que la situation est stabilisée.

C'est notamment le cas pour l'évaluation du **risque cancérigène**. Dans les années 80, afin de ménager les responsables d'activités nucléaires, la CIPR avait choisi de diviser par 2 le coefficient de risque issu du suivi des survivants d'Hiroshima et Nagasaki, affirmant que les faibles doses et faibles débits de dose étaient moins dangereux, par unité de dose, que les fortes doses délivrées sur un temps bref. Ce **facteur 2 de réduction** est encore utilisé aujourd'hui alors que des études épidémiologiques de référence ont mis en évidence, chez des travailleurs du nucléaire exposés à de faibles doses de rayonnement, un niveau de risque au moins équivalent à celui des survivants des bombardements atomiques, confirmant les critiques anciennes de nombreux chercheurs indépendants. D'autres travaux ont abouti au même constat. En 2012, par exemple, une vaste étude cas-témoins, portant sur le lien entre les cancers des enfants et l'exposition de la mère aux faibles doses et débits de dose du rayonnement gamma naturel, a mis en évidence un excès de risque de leucémie infantile cohérent avec le coefficient de risque établi pour les débits de dose élevés<sup>9</sup>. Il est certes possible de trouver des études aux résultats divergents mais ce qui est certain c'est que l'affirmation répétée selon laquelle le système de radioprotection officiel est très (voire trop) protecteur est totalement erronée.

Au cours des années 2000, il a également été démontré que le risque de développer un cancer du poumon du fait de l'inhalation du radon, un gaz radioactif naturel, était sous-évalué de près d'un facteur 2 (et des études portant sur les sous-cohortes dont les expositions étaient le mieux documentées montrent que le risque réel pourrait être plus élevé).

Au-delà de l'évaluation du risque cancérigène, ce sont des connaissances que l'on croyait gravées dans le marbre qui sont actuellement remises en question. En voici quelques exemples non exhaustifs :

1/ / Tous les manuels de radioprotection ont affirmé, des décennies durant, que la cataracte ne pouvait pas être induite que par des doses de rayonnement très élevées : le seuil d'apparition était fixé à plusieurs Grays pour le cristallin, la CIPR retenant par exemple un seuil de 5 Gy en dose unique et de 2 Gy en doses fractionnées). Plusieurs études ont démontré des effets à des doses très inférieures et certains chercheurs remettent désormais en question l'existence même d'un seuil. En Europe, la limite de dose au cristallin pour les travailleurs exposés est ainsi passée en 2013 de 150 mSv/an à 20 mSv/an<sup>10</sup>.

2/ Autre certitude aujourd'hui ébranlée, le fait que seules des doses élevées peuvent altérer les capacités cognitives (baisse de QI, perte de capacités d'apprentissage, de mémorisation, d'expression orale, etc.). Un nombre croissant d'études suggère des effets dès les faibles doses, en particulier chez les jeunes enfants.<sup>11</sup>

3/ Un autre précepte de la radioprotection commence à être questionné : le fait que les radiations puissent induire toutes sortes de leucémies à l'exception de la leucémie lymphoïde chronique. Une revue critique des données existantes a conduit à réévaluer le risque et de nouvelles études épidémiologiques suggèrent un excès imputable aux radiations. Rien n'est établi mais le débat est désormais ouvert.

<sup>9</sup> Étude de Kendall et al. qui conclut pour la leucémie infantile à un excès de risque relatif de 12% (IC à 95% 3, 22; P bilatéral = 0,01) par millisievert (en dose  $\gamma$  cumulée à la moelle osseuse rouge).

<sup>10</sup> Une dose 100 mSv est tolérée sur une période de 5 ans, avec une limite annuelle de 50 mSv sur une année.

<sup>11</sup> Il importe de prêter attention aux unités de dose utilisées (dose à l'organe ou dose efficace). Une étude suédoise publiée en 2004 a montré, chez des enfants traités par radiothérapie pour des hémangiomes avant l'âge de 18 mois, une baisse significative et dose-dépendante des capacités cognitives à partir d'une dose au cerveau de 100 milligrays (ce qui correspond à une dose efficace de 1 mSv). Cette étude a conduit à revoir l'utilisation du scanner cérébral chez les enfants.

Il faudrait également intégrer à ce tableau les connaissances qui questionnent les bases mêmes de l'actuel système de radioprotection. C'est notamment le cas de l'instabilité génomique (un niveau anormalement élevé de mutations dans la descendance des cellules irradiées et sur des dizaines de générations) ou encore des effets de proximité (des lésions dans des cellules qui n'ont pas été touchées par les radiations mais qui sont voisines de cellules irradiées) qui pourraient expliquer une efficacité des faibles doses de rayonnement non pas inférieure mais supérieure à celle des fortes doses (par unité de dose évidemment). La relation linéaire sans seuil, longtemps présentée par les experts officiels comme un modèle conduisant à une estimation exagérément prudente du risque (du fait de l'existence d'un seuil), pourrait ainsi le sous-évaluer.

**Lorsque des mécanismes de base ne sont pas compris, que les évaluations de risque ne sont pas stabilisées, que des observations défient le modèle conceptuel qui sert à définir les normes, l'heure n'est pas à généraliser la contamination, mais au contraire à la prudence.**

Dans les années 90, de nombreux responsables français<sup>12</sup> défendaient l'instauration de seuils de libération génériques : 10 000 Bq/kg pour les radionucléides émetteurs bêta et de 1 000 Bq/kg pour les émetteurs de rayonnements alpha. Ces limites sont de l'ordre de 10 fois à 100 fois supérieures aux seuils de libération retenus aujourd'hui pour les radionucléides les plus importants sur le plan de la radioprotection<sup>13</sup>. La CRIIRAD s'était mobilisée contre ce projet qui a finalement été abandonné. Dans le cas contraire, il serait aujourd'hui impossible de récupérer les déchets indument « libérés ». Qui peut garantir que dans 20 ou 30 ans, il ne faudra pas abaisser les seuils de libération qui sont proposés aujourd'hui ?

**Il est irresponsable de prendre des décisions en grande partie irréversibles alors que l'impact sanitaire réel reste à établir (et que d'autres options existent).**

---

<sup>12</sup> Ainsi Jean-Yves Le Déault, alors président de l'OPECST, dans un rapport sur la gestion des déchets TFA.

<sup>13</sup> Par exemple 100 Bq/kg pour le cobalt 60 (100 fois moins) ou pour le plutonium 239 (10 fois moins).