



- **Texte du médecin Suisse Henri Paul Deshusses**

H.P. Deshusses écrit dans son livre « *La radioactivité dans tous ses états* » :
« *dans la matière, le choc des particules contre les atomes constituant les tissus exerce un puissant effet déstabilisateur et destructeur par sa violence.*

Il s'y rajoute un dégagement de chaleur et l'enclenchement de réactions en chaîne à de très hautes vitesses.

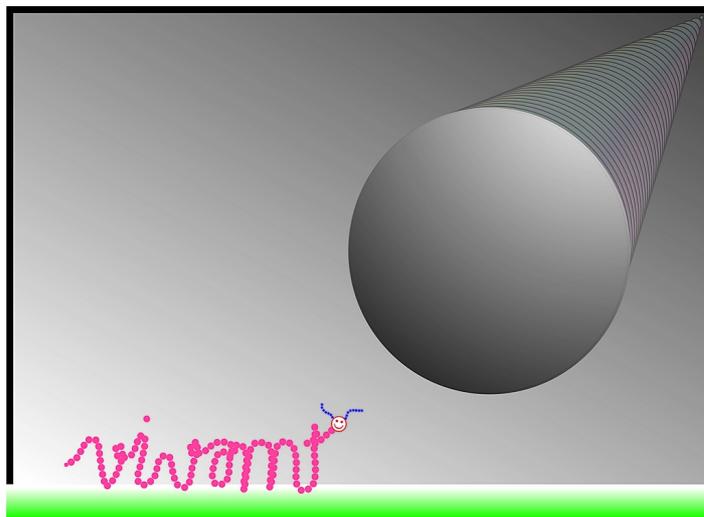
Le facteur clé est l'action des radiations sur les molécules d'eau (70à 80 % de la matière organique) entraîne la formation de radicaux libres (H+, à très haute réactivité chimique) et d'eau oxygénée (qui entraîne des perturbations dans les métabolismes et les fonctions multiples) »

- **Précisions de M. André Paris**

Les "crochets" énergétiques qui permettent au vivant d'exister, de courir, de sauter, de se reproduire, de penser...

- "crochets" énergétiques permettant donc au vivant de vivre - ont une grandeur d'environ 1 (un) électronvolt. Le rayon gamma qui déboule porte une grandeur énergétique qui peut être par exemple de :

- 661 700 électronvolts s'il dérive du césium137 artificiel,
- 1 311 000 électronvolts s'il provient du potassium40 naturel et constituant du vivant.
- Les grandeurs énergétiques en jeu entre, celles permettant au vivant de vivre, et entre celles de la radioactivité, appartiennent à des mondes inconciliables.



Représentation du photon arrivant sur le
« vivant » par M. André Paris

• **Précisions de M. André Paris - suite -**

Les conséquences suivantes en découlent.

Le vivant ne peut se protéger de valeurs énergétiques qui le surplombent de cinq à six ordres de grandeur (Des centaines de mille à des millions de fois). Il en subit donc les dégâts.

Déjà la radioactivité naturelle étant non négligeable et constituante du vivant, ce dernier a donc dû apprendre à réparer les dégâts. Ce qu'il fait.

On comprend aisément que moins il y a de dégâts à réparer et mieux le vivant se porte.

Car les dégâts peuvent être pas ou mal réparés, donc persistants et durables, voire capables d'amplifications funestes quand ils sont de nature génétique.

On peut, à partir de là, comprendre ce que signifie la "dangerosité sans seuil" de la radioactivité (maintenant admise).

Si on reçoit une dose de radioactivité de 5 Sieverts (c'est beaucoup), je vais probablement mourir. Avec des délabrements internes et externes caractéristiques (lire "La supplication" de S. Alexievitch - prix Nobel 2015).

Dans ce cas la relation entre la dose de radioactivité et ses effets néfastes est dite déterministe.

Si la même dose de radioactivité de 5 Sieverts est partagée équitablement entre 5 000 personnes, chacun recevra donc 1 millisievert, une augmentation de dose de radioactivité légalement admissible.

Néanmoins, il est admis qu'il y aura aussi une victime. Mais dans ce dernier cas, la cause sera dite "de hasard", non déterministe, non prouvable au niveau cause/effet.

Nous voyons que la dose légalement admissible (*) distribuée à une population importante provoque des dégâts très conséquents.

(*) Dose légalement admissible extensible et en cours de TRÈS forte inflation. Passée de 1 à 20 millisieverts autour de Fukushima.

Consommation alimentaire de radioactivité en moyenne doublée récemment (2016) par vote de la Commission européenne.

Toute situation pouvant être sujette à improvisation : documents envoyés aux administrations françaises (2014-2016) pour la gestion d'un accident nucléaire majeur...

Nouvelles données de M. André Paris

LES QUATRE STADES

ou les *quatre peines* infligées par une contamination radioactive
de type *Tchernobyl*

STADE 1 - *Peine 1* - : LES LIQUIDATEURS.

Intervenant dans l'urgence, d'abord à l'aveugle et en méconnaissance des paramètres radioactifs.

Ensuite, ils ont pu être engagés malgré des niveaux de radioactivité qui auraient dû dissuader de tout engagement. Les mesures ont pu être falsifiées pour disculper les ordres d'engagement suicidaire.

Officiellement, 40 à 50 victimes.

Un décompte plus réaliste identifie de 600.000 à 900.000 victimes.

STADE 2 - *Peine 2* - : LE FLASH À CHAUD.

Dû aux éléments radioactifs de courte période.

C'est l'intensité de la contamination de la chaîne alimentaire qui est surtout en cause avec principalement les effets redoutés des iodes radioactifs.

Le niveau de contamination abattue au sol par les précipitations n'est pas complètement déterminant. Une brume peut suffire à déposer de fortes quantités de contamination sur les végétaux et ainsi fortement affecter la chaîne alimentaire tandis que le sol sera très modestement contaminé (*c'est par exemple le cas de la Balagne dans le nord de la Corse avec des denrées et des thyroïdes analysées très contaminées malgré un marquage du sol modeste*). Tandis que, dans cette phase précoce, une très forte contamination, abattue par des pluies intenses délavant les végétaux, n'aura pas d'effet proportionnel à la forte contamination du sol.

C'est une phase qui peut être considérée comme à «*dégâts sanitaires relativement égalitaires*».

STADE 3 - *Peine 3* - : LA CONTAMINATION DURABLE.

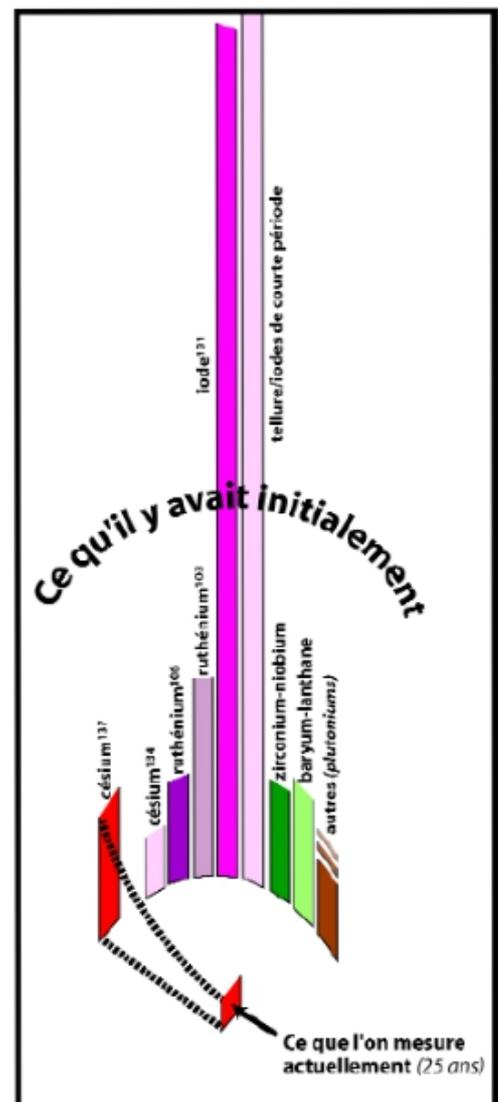
Elle est particulièrement redoutable dans les zones fortement contaminées.

Il est connu que les dégâts de la radioactivité sont le produit de son intensité par le temps d'exposition.

C'est le facteur temps qui entre en ligne de compte à ce stade. Césium¹³⁷ surtout et strontium⁹⁰ sont les éléments radioactifs responsables.

Les décennies passent et la contamination reste. La chaîne alimentaire reste durablement contaminée. Les habitants et consommateurs également.

Une remarque majeure : **malgré la décroissance de la contamination de l'environnement, la contamination corporelle des humains** (*cf. hôpital de Novozybkov*) **et particulièrement celle des enfants** (*cf. Hôpital de*



Nouvelles donnée de M. André Paris - suite -

Novozybkov, résultats des mesures corporelles par «Les Enfants de Tchernobyl») augmente année après année : 2008-2009-2010.

Face à face inégal sur le long terme : la contamination baisse, certes, mais l'attitude de précaution faiblit encore plus vite. D'où ces augmentations générales des contaminations corporelles - aux conséquences lourdes chez les enfants.

STADE 4 - Peine 4 - : LA DÉPRESSION ET L'ENSAUVAGEMENT DÛS À LA CONTAMINATION.

Dans les vastes régions affectées - jusqu'à 300 km dans certaines directions et où survivent environ 8 à 9 millions d'habitants - la contamination déprime toutes les activités.

La pauvreté sévit, les ressources s'étiolent.

Les produits sauvages, particulièrement les produits de la forêt, viennent pallier le manque de ressources. Ce sont les produits les plus contaminés et les plus durablement contaminés, tant les milieux forestiers sont d'excellents conservateurs du stock de contaminants.

AUTRES FACTEURS AGGRAVANTS.

- La déminéralisation dans les environnements très contaminés. C'est le cas des sols du nord de l'Ukraine, de Biélorussie et de Russie concernés. Il s'agit de sables très lessivés, très pauvres, particulièrement dans les forêts, l'acidité de l'humus augmentant le lessivage (*podzols des pédologues*). Le spectromètre enregistre des valeurs extrêmement basses des teneurs en potassium. Une valeur enregistrée inférieure à 5 coups par seconde (c/s) pour le potassium est signe de faible présence de cet élément. Les enregistrements montrent des valeurs toujours très, très inférieures à 5 c/s.

Cette déminéralisation naturelle laisse le champ libre au césium¹³⁷ pour contaminer plus aisément la chaîne alimentaire.

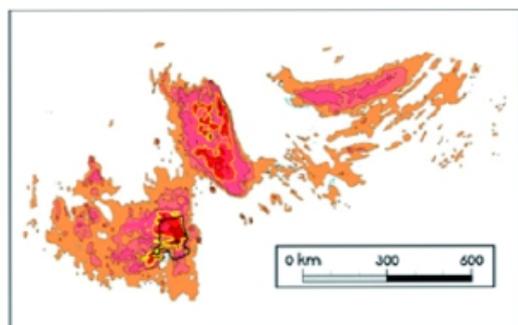
- La très grande étendue des zones très fortement contaminées ne facilite pas la prise en charge par des voisinages qui ont été épargnés. Les victimes des zones contaminées, déplacées ou non, sont rarement l'objet de compassion et d'aide.

Dans tous les cas, l'absence institutionnelle et internationale de toute aide alimentaire aux régions fortement contaminées reste incompréhensible.

Il faudra en produire une explication devant l'Histoire.



L'étendue des fortes contaminations autour de Tchernobyl à l'échelle de l'Europe occidentale



Informations de la CRII-Rad - 1 sur 4 -

NOTIONS DE BASE

Les Effets des Fortes Doses

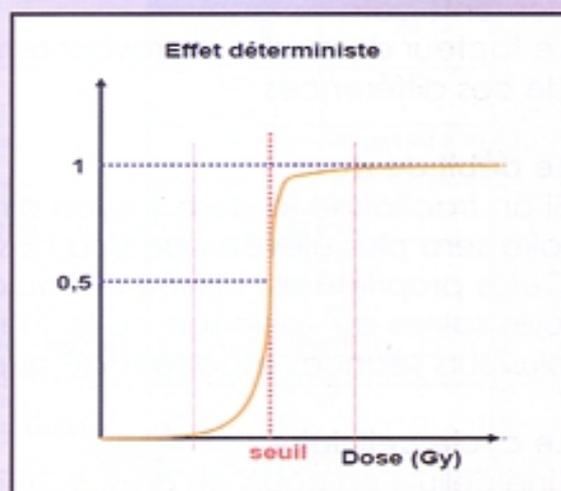
Les rayonnements ionisants, en perdant leur très grande énergie, induisent des modifications profondes dans le milieu vivant.

Impact des rayonnements

Un seul rayonnement est suffisant pour provoquer des milliers d'ionisations et endommager un très grand nombre de cellules :

- si la cellule survit, des mutations peuvent entraîner des cancers ou des malformations génétiques. Il n'y a alors pas de seuil d'innocuité : la probabilité d'effets néfastes existe quelle que soit la dose.

- si la cellule meurt, tout dépend du nombre de cellules tuées. Aux fortes doses, classiquement au delà de 200 à 300 milliGray (mGy), le nombre de cellules détruites par le rayonnement est tel que des dysfonctionnements apparaissent au niveau du tissu ou de l'organe. Ces effets (anciennement qualifiés de « déterministes », et désormais de « tissulaires ») sont d'autant plus graves que la dose de rayonnement est importante. Les seuils d'apparition sont assez bien connus même s'ils varient sensiblement d'un individu à l'autre. On peut représenter cela par le graphe qui exprime le pourcentage des personnes exposées qui présenteront des symptômes en fonction de la dose. (1 = 100 %, 0,5 = 50 %).



(réf : Jean-Philippe Vuillez)

Les effets moléculaires

On peut schématiser la matière vivante en deux sortes de molécules : les macromolécules (ex : ADN) et l'eau libre ou liée aux tissus. L'effet direct sur les macromolécules est assez rare statistiquement. L'effet le plus fréquent (80 %) est indirect, via l'ionisation (ou radiolyse) de l'eau : les molécules H₂O sont transformées en radicaux libres (HO. et H.), très instables donc fugaces et très réactifs, capables de provoquer d'importantes lésions dans les cellules.

Schématiquement, il existe trois possibilités d'impact :

- recombinaison en composés inertes (H₂O et H₂), qui vu leur faible quantité en masse ne produiront pratiquement pas d'effets néfastes ;

Informations de la Crie-Rad - 2 sur 4 -

NOTIONS DE BASE

Effets tissulaires des fortes doses de rayonnement

Les effets diffèrent selon que l'exposition aux rayonnements est globale (l'organisme entier) ou partielle, affectant seulement certains organes. A la différence des faibles doses, les effets cliniques sont généralement précoces : sauf exception (cataracte par exemple), ils se manifestent dans un délai de quelques heures à 1 mois après l'exposition.

Irradiation partielle

(réf : Jean-Philippe Vuillez)

Pour certains organes, le seuil d'apparition est plus élevé si la dose est étalée dans le temps. C'est particulièrement vrai dans le cas du tube digestif, organe très radiosensible du fait des cellules souches épithéliales qui tapissent sa paroi. Pour les testicules, l'azoospermie sera transitoire ou définitive en fonction de la dose et du débit de dose.

Organe	Effet	Dose (Sv)	
		Aiguë	Étalée
Encéphale et tronc cérébral	Œdème	10 à 12	50
Tissu hématopoïétique	Leucopénie réversible Aplasie	0,25 2 à 5	
Tube digestif	Radiomucite, ulcérations...	5	30 (grêle) à 50 (colon)
Testicules	Azoospermie	0,3 à 6	
Ovaires	Arrêt ovulatoire et endocrine	12 à 15	
Peau	Erythème Dermite exsudative Atteinte chronique du derme	4 à 8 12 à 20 > 20	
Œil	Cataracte (après plusieurs années)	10 à 20	
Poumon	Fibrose ("poumon radique")	25	
Reins	Radionéphrite (6 à 12 mois) -> hypertension artérielle (HTA)	30	
Moelle épinière	Myélite -> tétraplégie	40	
Foie	Hépatite radique	40	
Cœur	Péricardite, myocardite	50	
Os	Fractures pathologiques, radionécroses, Troubles de la croissance chez l'enfant	70	
Lymphatiques	Sclérose -> lymphoedème	?	

L'effet « débit de dose » intervient dans d'autres cas que ceux mentionnés dans ce tableau, par exemple la cataracte. Différentes études ont montré que le seuil d'apparition des effets était bien plus bas que ce qui était retenu pour la fixation des limites de dose. Sur la base de ces éléments, la directive Euratom de 2013 a abaissé la limite d'exposition pour les travailleurs de 150 mGy à 20 mGy/an (mais sans revoir à la baisse la limite définie pour le public). A noter que la manifestation clinique est assez tardive (délai d'environ 5 ans après l'irradiation) et que la cataracte n'est pas réversible.

Informations de la CRII-Rad - 3 sur 4 -

NOTIONS DE BASE

- diffusion et altération moléculaire (oxydations et ruptures de liaisons), phénomène le plus fréquent ;
- fabrication d'oxydants très puissants et à vie longue (oxydes et peroxydes)

Les effets cellulaires

On peut globalement considérer que les effets des fortes doses sont proportionnels à la dose.

Paramètres influant sur les effets

La nature du rayonnement

Les particules alpha, qui provoquent une forte densité d'ionisation sur leur parcours, ont le plus souvent une action létale, entraînant la mort directe de la cellule.

La mort peut également survenir du fait de l'accumulation de plusieurs atteintes non létales : ce sera le plus souvent le cas si l'irradiation provient de rayonnements bêta ou gamma.

Le facteur de qualité du rayonnement (W_r) rend compte, assez grossièrement, de ces différences.

Le débit de dose

Si on fractionne la dose (ou on diminue son débit instantané), la survie cellulaire sera plus élevée que si la dose est délivrée en une fois (ou à fort débit). Cette propriété est utilisée en radiothérapie : pour préserver au mieux les cellules saines au voisinage de la tumeur à traiter, on délivre la dose requise en plusieurs séances espacées de quelques jours à un mois.

Le cycle cellulaire

Une cellule en cours de division (mitose) est plus radiosensible et survivra moins bien. Cette propriété est utilisée pour traiter une tumeur cancéreuse, qui est justement le siège de divisions cellulaires plus fréquentes. Cela explique également la vulnérabilité des enfants et des fœtus, chez qui l'augmentation de masse cellulaire entraîne une fréquence de divisions plus élevée que chez un adulte ou une personne âgée. Cela explique également que certains organes dont le taux de renouvellement cellulaire est plus important sont particulièrement radiosensibles.

A dose égale, le taux de survie des cellules en division est très inférieur à celui des cellules au repos.

Le milieu

Si le milieu est plus richement oxygéné, la toxicité exprimée sera plus élevée. C'est ainsi que le rayonnement a plus d'effet sur les zones bien vascularisées.

Informations de la Crie-Rad - 4 sur 4 -

NOTIONS DE BASE

Irradiation du corps entier

Les manifestations cliniques de cette irradiation sont généralement caractérisées par 3 phases : phase initiale (ou prodromique), phase de latence (dont la durée est fonction de la durée de vie des cellules irradiées) et phase critique.

Trois grands syndromes sont identifiés : hématopoïétique (à partir de 1 Gy : atteinte des cellules souches de la moelle osseuse qui assurent la production des cellules sanguines), gastro-intestinal (à partir de 7 Gy : atteinte des cellules souches de la muqueuse du tube digestif) et neurologique (à partir de 10-15 Gy : atteinte des parois vasculaires). Les seuils d'apparition varient quelque peu selon les auteurs.

Valeur de la dose D en Gray	Symptômes
D < 0,25 Gy	aucun symptôme
1Gy < D < 1Gy	chute des lymphocytes, réversible
1Gy < D < 2 Gy	nausées, vomissements, céphalées, chute des lymphocytes, thrombopénie, leucopénie
2Gy < D < 5Gy	nausées, vomissements, asthénie, fièvre, chute rapide et sévère des lymphocytes, pan-cytopénie retardée (diminution des globules blancs, plaquettes et globules rouges), aplasie médullaire
5Gy < D < 15 Gy	troubles digestifs, troubles neurologiques, aplasie médullaire profonde
D > 15 Gy	état de choc, manifestations neurologiques immédiates (convulsions), réactions cutanées, le sujet est condamné

Malgré ces effets précoces et graves, il n'y a aucun effet thermique susceptible d'alerter la victime au moment de l'exposition, celle-ci relevant le plus souvent de situations accidentelles. Heureusement ces accidents sont relativement rares, mais ont pu faire un certain nombre de victimes comme à Tchernobyl, Goiânia (Brésil), Forbach ou encore Epinal.

Si la dose est assez élevée, les premiers signes cliniques peuvent permettre de donner l'alerte et de prendre en charge la personne exposée. Etant donné que les effets cliniques sont caractéristiques et que des analyses peuvent permettre d'évaluer la dose, le lien de causalité peut être établi et le statut de victime est normalement reconnu.

Pour en savoir plus sur les accidents connus :

http://www.dissident-media.org/infonucleaire/nuc_accident_travail.html

Roland Desbordes

La revue scientifique La Recherche n°255 de juin 1993, produit un document de l'IPSN mettant en cause la violence de l'agression de divers type d'iodes à vie courte dans la survenue de problèmes thyroïdiens

L'après-Tchernobyl : des cancers en excès

Daniel ROBEAU
Martin SCHLUMBERGER
Bernard AUBERT
Jean-Claude NÉNOT
Nicole PARMENTIER

L'APRÈS-TCHERNOBYL : DES CANCERS EN EXCÈS

DANS LA RÉGION DE GOMEL, À 140 KILOMÈTRES DE TCHERNOBYL, LE BILAN SANITAIRE DE LA CATASTROPHE NUCLÉAIRE DE 1986 SE PRÉCISE : LE TAUX DE CANCERS DE LA THYROÏDE A AUGMENTÉ CHEZ LES ENFANTS.

POUR 1 MBq FIXÉ DANS LA GLANDE THYROÏDE		
	dose totale à l'organe (mGy)	débit de dose à l'organe (mGy/h)
iode 131	350	3,2
iode 132	3,5	92,1
iode 133	6,5	11,3

inhalation d'aérosols	0,4 (0,8) Gy
inhalation externe due au dépôt de césium 137 (1986-1991)	0,4 (0,8) Gy
consommation de lait contaminé (avant les mesures de protection)	0 (0) Gy
consommation de denrées alimentaires	0 (0,7) Gy 0 (0,2) Gy
	● l'année suivant l'accident ● les années suivantes
dose reçue par la thyroïde	0,8 (8,4) Gy dont un pourcentage non négligeable a été délivré par des iodés radioactifs à vie courte

En septembre dernier, deux chercheurs français de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) de Fontenay-aux-Roses publiaient le bilan des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur l'environnement et la population (voir « La catastrophe de Tchernobyl : un bilan inattendu » dans *La Recherche* de septembre 1992). Un bilan sanitaire restait très difficile à établir, en raison du manque de données. Or deux rapports récents, l'un publié par le ministre de la Santé biélorusse, V.S. Kazarov, et des médecins de Biélorussie, l'autre par une équipe de médecins européens de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), laissent à penser que dans la région de Gomel, à 140 kilomètres de Tchernobyl, les ef-

fets de la contamination de l'air et du sol seraient graves, en particulier au niveau du taux d'incidence des cancers de la thyroïde chez l'enfant^(1,2).

Les Biélorusses ont recensé, dans leur pays, depuis 1986, 131 enfants porteurs d'un cancer de la thyroïde. L'augmentation de l'incidence de la maladie est particulièrement marquée dans la région de Gomel : alors que la moyenne annuelle est de 1,5 cas entre 1986 et 1989, les chiffres passent à 14 cas en 1990 et 38 en 1991. Le ministre et ses collègues biélorusses s'interrogent : cette augmentation de cancers doit-elle être imputée aux isotopes radioactifs qui se sont échappés du quatrième réacteur de Tchernobyl ? L'équipe de spécialistes européens de l'OMS confirme

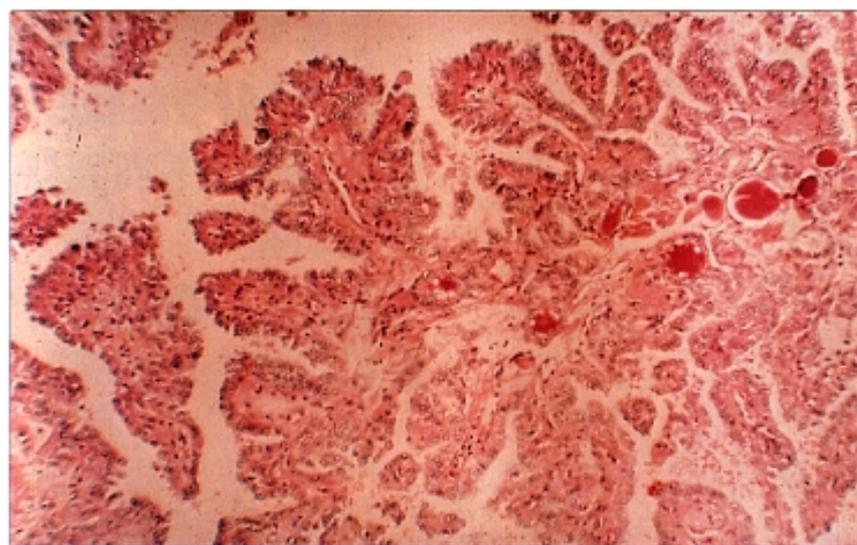
Les cancers de la thyroïde développés par les enfants de la région de Gomel sont de type papillaire. Ainsi que le montre le cliché, ils sont caractérisés au niveau microscopique par des végétations arborescentes du tissu thyroïdien. Ce type de cancers est le plus fréquent dans la population mondiale infantile et son apparition peut être spontanée ou induite par des radionucléides. Il ne peut donc être, par sa seule nature, directement relié à la catastrophe de Tchernobyl. En revanche, d'autres arguments, comme la fréquence de ces cancers, ne laissent pratiquement plus de doute sur la responsabilité des radionucléides émis lors de l'accident. (Cliché OMS)

Tableau 1. Les effets cancérogènes de l'iodé 132 et 133 à vie courte sont connus depuis longtemps. En revanche, dans tous les accidents et toutes les situations thérapeutiques où l'iodé 131 a été seul incriminé, aucun effet cancérogène n'a été constaté. Cette différence proviendrait du débit de dose plus élevé pour ces isotopes à périodes courtes. Quant à la dose totale, délivrée à la thyroïde par ces mêmes isotopes, son évaluation est très difficile en raison de l'absence à ce jour de données précises sur la composition du panache. Les résultats présentés dans ce tableau ont été établis à partir des documents du ICRP (Medical Internal Radiation Dose Committee). Ils sont valables pour un adulte ayant fixé 25 % de l'activité en iode qui lui a été administrée. Ces valeurs sont acceptables pour l'enfant et l'adolescent. On remarque que le débit de dose dû aux iodés à demi-vie courte est effectivement plus élevé que celui dû à l'iodé 131, mais que la différence n'excède pas un facteur trois.

Tableau 2. En se fondant sur des mesures de radioactivité du sol, de l'eau et des denrées alimentaires, des spécialistes de l'IPSN ont pu estimer la dose d'irradiation reçue par les enfants de la région de Gomel depuis l'accident de Tchernobyl. Les chiffres présentés étant des estimations, deux valeurs — moyenne et maximale (entre parenthèses) — sont fournies. Jusqu'à aujourd'hui, aucun effet cancérogène n'a pu être établi pour une dose de 8,4 grays due à l'iodé 131. Il faut noter que le calcul a été fait en admettant une consommation de lait de un litre par jour pendant trois jours avant les mesures de protection.

l'apparition d'un excès de cancers à Gomel depuis la catastrophe de Tchernobyl, mais se déclare surprise de leur précocité d'apparition. Autre motif de doute, quant à la responsabilité des radiations dans la genèse de ces cancers : la nature de l'isotope radioactif majoritaire dans la contamination, l'iodé 131, notoirement peu cancérogène. A l'Institut Gustave Roussy, à Villejuif, et à l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN), nous nous sommes proposés d'aller plus loin dans l'analyse et de discuter ici le rôle de la radioactivité dans la genèse de ces cancers.

Rappelons les faits. La fréquence d'apparition des cancers de la thyroïde est passée en Biélorussie de un par million d'habitants et par an, avant 1990, à



quatre-vingts par million d'habitants et par an en 1992. Ces cancers frappent des enfants âgés de moins de 15 ans, dont huit sur cent quatorze ont été irradiés *in utero*, après le troisième mois de gestation. Les médecins de l'OMS insistent sur le caractère agressif de ces cancers, qui développent des métastases témoignant de la dissémination de la maladie dans l'organisme. Cette agressivité est cependant une caractéristique des cancers thyroïdiens spontanés de l'enfant⁽³⁾, et ne démontre rien quant à leur étiologie. De plus, ces cancers sont papillaires, leur architecture microscopique se traduisant par des végétations arborescentes du tissu thyroïdien (voir la figure). Or ce sont les plus fréquents chez l'enfant et, là encore, les caractères microscopiques sont les mêmes que leur origine soit spontanée ou due aux radiations ; ils ne peuvent donc servir à identifier la cause de l'apparition de la maladie.

D'après les Biélorusses et l'équipe de l'OMS, le premier cancer de la thyroïde recensé dans la région de Gomel est apparu moins de quatre ans après l'accident de Tchernobyl. Or selon les connaissances radiobiologiques établies, la période de latence admise, avant l'apparition d'un cancer de la thyroïde induit par des rayonnements, est d'au moins cinq ans⁽⁴⁾. Ainsi, le premier cas de cancer de la thyroïde radio-induit a été découvert huit ans après l'accident nucléaire américain des îles Marshall de 1954⁽⁵⁾. Cette explosion peut, à certains égards, être comparée à celle de Tchernobyl. Dans les deux cas, en effet, il y a eu libération dans l'atmosphère d'isotopes de l'iode à période courte (¹³²I, ¹³⁵I) et longue (¹³¹I). Après l'explosion des bombes atomiques larguées sur Nagasaki et Hiroshima, en 1945, la situation n'était pas comparable puisqu'il s'est agit, es-

sentiellement, d'une irradiation « en flash » ; les premiers cancers de la thyroïde ont été observés cinq ans après⁽⁴⁾. Cependant, au début des années 1960, deux chercheurs américains, S.A. Beach et G.W. Dolphin, ont montré que l'étude épidémiologique de 660 cas de cancers de la thyroïde chez des enfants, conséquence d'une radiothérapie aux rayons X ou par une bombe au cobalt, donnait un délai moyen d'apparition de 10,5 années⁽⁶⁾. Un calcul statistique montre que ces données conduisent à des limites inférieure et supérieure de 3,6 et 30,8 années respectivement.

LES ISOTOPES A VIE COURTE DE L'IODE À L'ORIGINE D'EFFETS CANCÉRIGÈNES

De son côté, l'Américain R.E. Shore, a rassemblé en 1992 toutes les données relatives aux cancers de la thyroïde qui surviennent chez des sujets ayant subi une irradiation thérapeutique pendant l'enfance ; il trouve ainsi une période de latence de trois à sept ans⁽⁷⁾. Une période de latence de quatre ans n'est donc pas surprenante et ne peut être considérée comme un argument qui innocente les rayonnements ionisants.

La région de Gomel a été directement sous le vent de Tchernobyl à deux reprises : dès l'accident du 26 avril 1986 jusqu'au 27 avril à 12 h puis, ensuite, du 30 avril 1986 à 0 h jusqu'au 4 mai⁽⁸⁾. Les vents ont soufflé à 20 km/h en moyenne pendant ces deux périodes. Le panache radioactif pouvait donc, à partir de Tchernobyl, atteindre Gomel en sept heures, et les régions les plus méridionales du district en deux heures. A côté de l'iode 131 (période de 8,021 jours), d'importantes activités de tellure 132 (période de 3,26 jours) en équilibre avec son descendant l'iode 132 (période de 2,3 heures) ont été

émises par le cœur du réacteur numéro quatre de Tchernobyl⁽⁹⁾.

Le risque de contamination par l'iode 132, bien que sa période soit courte, ne peut être négligé. Il était en effet à l'équilibre avec un tellure 132 de période assez longue (3,26 jours). La majeure partie du tellure 132-iode 132 est parvenue dans la région de Gomel. Dans l'organisme, le métabolisme du tellure n'interfère pas avec la thyroïde ; mais son descendant l'iode 132 rejoint le métabolisme des iodures et peut se fixer, au même titre que l'iode 131, sur la thyroïde qui l'incorpore dans les hormones thyroïdiennes. Compte tenu de sa période relativement longue, l'iode 133 (période de 20,8 heures) doit également être pris en compte⁽¹⁰⁾ (tableau 1). Pendant la vie *in utero*, le fœtus peut concentrer l'iode dans la thyroïde à partir du troisième mois. Il a été calculé que la dose reçue par le fœtus en cas de contamination de la mère par l'iode radioactif augmentait du troisième au cinquième mois, restait stationnaire du cinquième au septième mois, puis diminuait à la naissance. Les six derniers mois de la gestation constituent donc une période critique pour le risque d'irradiation de la thyroïde⁽¹¹⁾.

La distribution des retombées d'aérosols radioactifs dans cette région ne peut faire l'objet que d'estimations approximatives à partir des retombées en césium 137. La cartographie de la contamination (voir « La catastrophe de Tchernobyl : un bilan inattendu » dans *La Recherche* de septembre 1992) montre à quel point cette partie de la Biélorussie a été contaminée, puisqu'au nord-est de Gomel subsistent des régions de contamination égale à 40 Ci/km² avec, dans certaines zones, une contamination en césium égale à 50, voire à 80 Ci/km²⁽¹²⁾. Or une activité déposée de 50 Ci/km² de césium 137 expose un individu à une irradiation de 5 000 nGy par heure environ, ce qui est cinquante fois supérieur à l'irradiation naturelle moyenne en France.

Compte tenu des informations dont nous disposons par l'intermédiaire des sources scientifiques de la Communauté des Etats Indépendants (CEI) et des organisations internationales, on peut évaluer les composantes de la dose susceptible d'avoir été reçue, à ce jour, par la thyroïde d'un enfant biélorusse de moins de cinq ans (tableau 2). Les composantes de cette dose sont liées à l'inhalation d'aérosols radioactifs pendant le passage du panache les jours suivant les premiers rejets, à la consommation de lait contaminé avant que les premières mesures de protection n'aient été prises, à l'irradiation externe provoquée par le césium 137 déposé au sol depuis 1986, à la consommation des denrées alimentaires

(1) V.S. Kozakov, *Nature*, 359, 21, 1992.
 (2) K. Baverstok, *Nature*, 359, 21, 1992.
 (3) M. Schlumberger, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 65, 1088, 1987.
 (4) NCRP report n° 80 : 1985.
 (5) R.A. Conard, *Radiation carcinogenesis : Epidemiology and biologic significance*, Raven Press, 1984.
 (6) S.A. Beach et G.W. Dolphin, *Phys. Med. Biol.*, 6, 583, 1962.
 (7) R.E. Shore, *Radiation Res.*, 131, 98, 1992.
 (8) Yu A. Izrael, *Journal of Meteorology and Hydrology*, 7, 38, 1986.
 (9) S.A. Kohn, *Nuclear Safety*, 31, 3, 1990.
 (10) M. Berman, *MIRD report n°5*, *J. Nucl. Med.*, 16, 857, 1975.
 (11) J.R. Johnson, *Health Physics*, 43, 573, 1982.
 (12) E.T. Belyayer et A.A. Borovoy, *Conférence internationale sur les accidents nucléaires et le futur de l'énergie*, Paris, 15-17 avril 1991, SFEN.
 (13) Conférence de presse du Gouvernement biélorusse à Vienne, 7 mars 1990.
 (14) W. Burkart, *Bulletin ASPEA*, n° 15-16, 1990.
 (15) Tchernobyl 3 ans après, *Gazette Nucléaire*, 96, 3, 1989.
 (16) L.E. Holm et al., *N. Engl. J. Med.*, 303, 188, 1980.

Les unités de la radioactivité

Le curie (Ci) est l'ancienne unité d'activité des radio-isotopes. Il est égal au nombre de désintégrations d'un gramme de radium 226 par seconde. Dans le système international de métrologie, il est remplacé aujourd'hui par le becquerel (Bq). Celui-ci équivaut à une désintégration par seconde, quelle que soit l'énergie de cette désintégration (1 Ci équivaut à 37.10^9 Bq). Le curie reste cependant une unité mieux adaptée, à la radioprotection.

La dose de radioactivité absorbée par les tissus s'exprime en gray (Gy). L'ancienne unité de dose absorbée, le rad (*radiation admitted dose*), équivaut à 0,01 Gy. Elle est encore employée dans certains pays. Le calcul de la dose absorbée par un tissu contaminé tient compte de l'activité du radionucléide contenu dans le tissu et de l'énergie ou des énergies de l'émission de ce radionucléide.

La radioactivité d'un élément décroît avec le temps selon un mode exponentiel. Cette décroissance se caractérise par la « période » ou demi-vie, qui est le temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs présents se sont désintégrés. Ainsi, au bout de deux périodes, il en reste un quart, etc.

contaminées au cours des années qui ont suivi l'accident. D'après les valeurs communiquées par le gouvernement biélorusse à Vienne en 1990⁽¹³⁾, l'irradiation externe due au passage du panache radioactif et à la consommation d'eau contaminée s'est révélée négligeable (tableau 2). La dose de radiations reçue par les enfants a été estimée à un maximum de 8,6 Gy. Ces valeurs concordent avec les estimations du Suisse W. Burkart⁽¹⁴⁾. Elles supposent qu'aucun traitement à l'iode stable n'a été pratiqué, ce que confirment les interrogatoires et les recoupements effectués⁽¹⁵⁾. Ce traitement, par saturation du compartiment intrathyroïdien des iodures, aurait limité la pénétration des atomes d'iode radioactif dans la thyroïde et ainsi son irradiation.

Dans tous les accidents et toutes les situations thérapeutiques où l'iode 131 a été seul incriminé, aucun effet cancérigène n'a été constaté. Si l'effet cancérigène de l'iode 131 (principal agent contaminant, pour des doses de l'ordre de 10 Gy⁽¹⁶⁾) n'a jamais été établi, même chez l'enfant, en revanche, la présence d'isotopes de l'iode à vie courte à côté de l'iode 131 est un argument en faveur de l'action cancérigène de la contamination sur la thyroïde. L'effet cancérigène de ces radionucléides à vie courte est connu depuis longtemps expérimentalement et a été observé par exemple à la suite de l'accident des îles Marshall.

L'absence d'une cartographie de la contamination en iode, ainsi que le petit nombre de recensements de cancers dans les hôpitaux biélorusses ne permettent pas de démontrer de façon ab-

solue que les radio-isotopes libérés par la centrale de Tchernobyl sont responsables de l'excès de cancers de la thyroïde infantiles constaté en Biélorussie. Cela reste cependant très fortement probable, car dans les sites de Biélorussie peu touchés par le panache (la ville de Minsk par exemple), l'incidence des cancers thyroïdiens n'a pas augmenté⁽¹⁾.

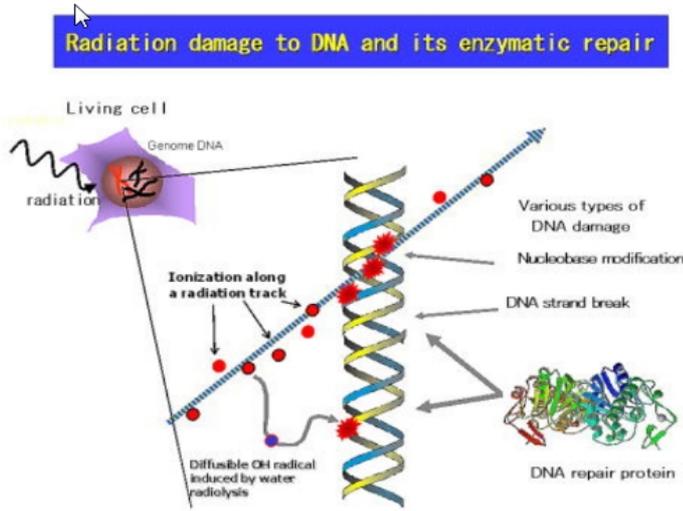
L'absence d'augmentation de la fréquence des leucémies aiguës chez les enfants de la région de Gomel est parfois mise en avant par la communauté scientifique pour réfuter la responsabilité des radiations ionisantes dans la genèse de cancers, dont celui de la thyroïde⁽²⁾. En fait, d'après les données d'un groupe américain du Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD)⁽⁹⁾ on montre que l'iode radioactif fixé dans la thyroïde ne délivre au reste de l'organisme, et en particulier à la moelle osseuse, que le cinq millièmes (1/5 000) de la dose délivrée à la thyroïde⁽¹⁰⁾. Les leucémies aiguës sont essentiellement induites par les irradiations externes, or l'irradiation externe par le panache a été faible. En revanche, les irradiations induites par les dépôts de césium 137 sur le sol peuvent être, de ce point de vue, très dangereuses et l'apparition, dans le futur, de leucémies aiguës n'est en rien exclue. Des études épidémiologiques systématiques seraient nécessaires en Biélorussie comme en Ukraine et en Russie, dans la région de Bryansk, afin de préciser aussi exactement que possible les conséquences sanitaires d'un accident nucléaire tel que celui de Tchernobyl. Aucun organisme de la CEI ou international n'a encore entrepris une telle démarche. Il n'existe à l'heure actuelle que des expériences ponctuelles, telles que celles décrites par Kazarov et par les médecins de l'OMS, qui doivent absolument être élargies au plan international.

Par ailleurs, après un accident nucléaire avec rejet d'iodes, l'absolue nécessité de prévenir les risques thyroïdiens radioactifs par l'administration précoce d'iode stable paraît s'imposer. Ce traitement est particulièrement important pour les femmes enceintes, car le fœtus commence à concentrer l'iode reçu par sa mère et à synthétiser des hormones thyroïdiennes dès le troisième mois de gestation. Une telle mesure préventive, qui comporte de rarissimes contre-indications de type allergique, devrait être étendue en priorité aux enfants. Cette administration d'iode stable devrait être pratiquée dans toutes les zones susceptibles d'être contaminées.

CLAUDE PARMENTIER, DANIEL ROBEAU,
MARTIN SCHLUMBERGER, BERNARD AUBERT,
JEAN-CLAUDE NENOT, NICOLE PARMENTIER

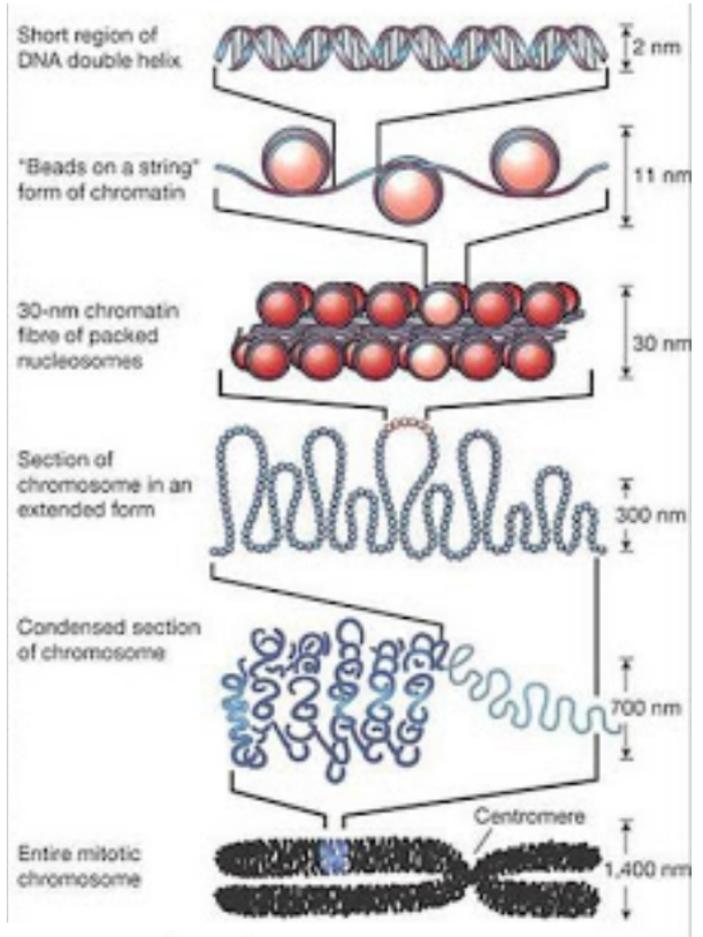
Quelques représentations sur les impacts des rayonnements ionisants

Schematic figure of radiation damage to DNA

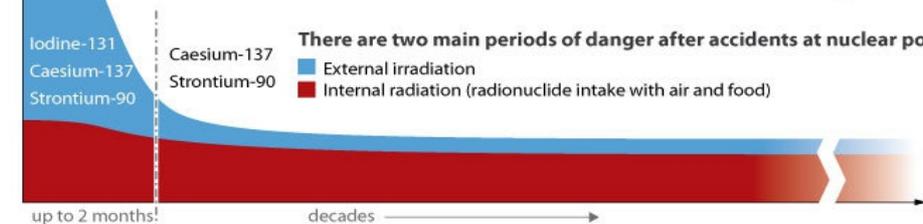
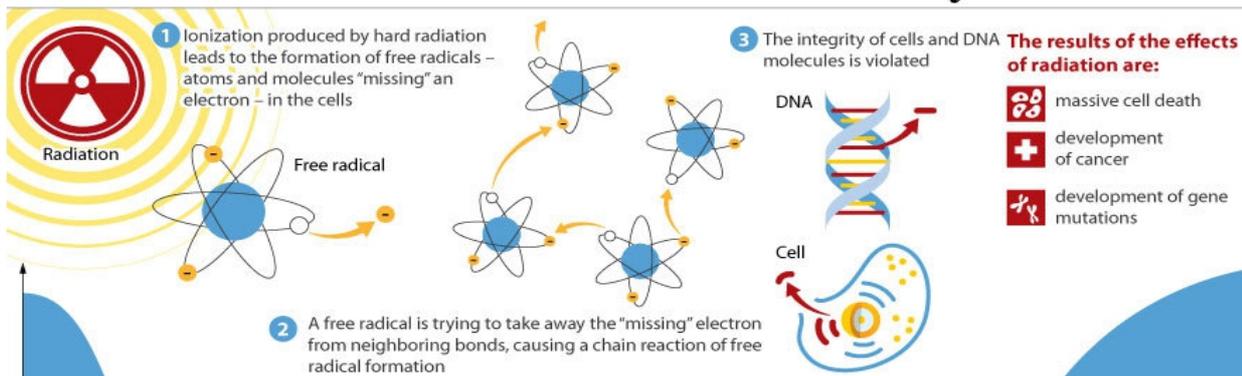


<http://asrc.jaea.go.jp/soshiki/gr/eng/mysite6/index.html>

Échelles



Effects of radiation on the human body



100
Death occurs within hours or days due to damage to the central nervous system

10-50
Death occurs within one to two weeks mainly due to injuries to the gastrointestinal tract

* - Unit of absorbed radiation dose - Gray (Gy)

Effects of various doses of radiation

Dose, Gy*	0,0007-0,002	0,05	0,1	0,25	1,0	3-5
Dose received per year under normal conditions	Maximum acceptable dose of occupational exposure per year	The level of doubling the probability of gene mutations	A single dose associated with justified risk in an emergency	Dose causing acute radiation sickness	Without treatment, 50% of the exposed die within one to two months due to bone marrow cell disorders	

Étude sur plus de 300 000 travailleurs de l'industrie nucléaire publiée le 25 octobre 2015 dans le British Medical Journal

L'exposition aux faibles doses de radioactivité des travailleurs de l'industrie nucléaire augmente le risque de cancers solides

Par Pascal Hingamp

Après avoir montré une augmentation des risques de leucémie chez les travailleurs du nucléaire, des nouveaux résultats de l'étude épidémiologique à très grande échelle INWORKS (**plus de 300 000 travailleurs en France, USA & GB**) publiés le 20 octobre 2015 suggèrent que l'exposition aux faibles doses de radioactivité est aussi accompagnée d'une augmentation du nombre de cancers solides.

Basé sur le plus grand jeu de données d'expositions aux faibles doses jamais analysé, cette étude publiée en libre accès dans la revue British Medical Journal [<http://www.bmj.com/content/351/bmj.h5359>](http://www.bmj.com/content/351/bmj.h5359) renforce la pertinence du modèle "linear no-threshold model (LNT)".

Ce modèle, initialement essentiellement basé sur les expositions aux fortes doses des survivants de Hiroshima, suppose qu'il n'y a pas de dose limite en dessous de laquelle les radiations n'ont plus d'impact sur la santé (l'impact peut être faible, mais non nul). En effet, dans cette dernière étude INWORKS, le risque de cancer solide chez les travailleurs du nucléaire semble proportionnel aux doses de radioactivité reçues et enregistrées par les dosimètres des travailleurs, et ce quelque soit la dose (alors que le principal modèle alternatif propose que les risques ne commencent qu'à partir de fortes doses).

Voir la note de l'IRSN

[<http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20151021_INWORKS-etude-epidemiologique-risque-cancer-travailleurs-nucleaires.aspx>](http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20151021_INWORKS-etude-epidemiologique-risque-cancer-travailleurs-nucleaires.aspx) , ainsi que le post précédent "Augmentation du risque de leucémies chez les travailleurs du nucléaire [<https://blogs.mediapart.fr/edition/nucleaire-lenjeu-en-vaut-il-la-chandelle-pour-lhumanite/article/230615/augmentation-du-risque-de-leucemies-chez-les>](https://blogs.mediapart.fr/edition/nucleaire-lenjeu-en-vaut-il-la-chandelle-pour-lhumanite/article/230615/augmentation-du-risque-de-leucemies-chez-les) ".

Source : Médiapart / Les blogs - 5/1/2015 -

<https://blogs.mediapart.fr/edition/nucleaire-lenjeu-en-vaut-il-la-chandelle-pour-lhumanite/article/050116/lexposition-aux-faibles-doses-de-radioactivit>