

# PROSINFO

PROTECTION SANITAIRE CONTRE LES RAYONNEMENTS IONISANTS ET LES TOXIQUES NUCLÉAIRES

LETTRE D'INFORMATION DE L'UNITÉ

INFO+ PAGE 2 / AGENDA PAGE 14



INFO+

## HIROSHIMA NAGASAKI 70 ANS APRÈS

VOLUME I

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



### ÉDITO

70 ans après les bombardements atomiques sur les villes de Hiroshima et Nagasaki, les 6 et 9 août 1945 respectivement, les connaissances continuent d'évoluer tant dans le domaine de la dosimétrie que dans celui des effets sanitaires à long terme des rayonnements ionisants. Les calculs des doses reçues par la cohorte des survivants se sont affinés au cours du temps pour tenir compte à la fois de la localisation des personnes par rapport à l'hypocentre et de la présence d'éléments protecteurs. Le suivi épidémiologique, incluant un suivi médical, toujours actif des *hibakusha*, nom japonais des survivants des bombardements, et de leurs descendants permet d'identifier le développement de cancers, mais également de maladies non cancéreuses. L'équipe Prositon a ainsi décidé de faire la synthèse des conséquences sanitaires de ces bombardements qui ont provoqué la mort immédiate de plusieurs dizaines de milliers de personnes, causée par des lésions d'origine traumatique, thermique ou radiologique, ainsi que des décès par cancer sur le long terme.

De par l'importance du sujet et des nombreuses données à analyser, les différentes thématiques seront présentées dans deux numéros de Prosinfo. Dans ce premier numéro seront synthétisés les données sur la dosimétrie, les pathologies non cancéreuses survenant à court et à long terme chez les survivants, et les résultats du suivi de la cohorte des personnes exposées *in utero*. Le prochain Prosinfo traitera des cancers développés chez les survivants, des effets sur la descendance et abordera l'impact psychologique et sociétal.

**Margot TIRMARCHE**

Épidémiologiste  
Commissaire à l'ASN



## HIROSHIMA NAGASAKI 70 ANS APRÈS

### **Les bombardements**

Les 6 et 9 août 1945 explosaient deux bombes atomiques respectivement au-dessus de Hiroshima et de Nagasaki au Japon (population totale d'environ 610 000 personnes). Le nombre de décès causés par l'explosion, la chaleur, l'irradiation et l'incendie géant consécutif, reste difficile à déterminer : seules des estimations sont disponibles. Le **tableau I** précise les caractéristiques des deux événements. À Nagasaki, les dommages proches du point d'impact de la bombe furent plus graves en raison de la puissance plus élevée de l'arme utilisée et de la contribution de ses émissions en termes de rayonnement gamma et neutrons. Cependant, grâce aux collines situées aux environs de la

ville et à un habitat plus dispersé, les dégâts furent moins étendus, la violence des incendies plus limitée et l'embrasement moins généralisé.

Le rayonnement thermique fut la cause directe d'environ 20 à 30 % des décès à Hiroshima et Nagasaki, suivi de l'irradiation instantanée par exposition externe aux neutrons et au rayonnement gamma émis à partir des réactions nucléaires au sein de la bombe. Les bâtiments, en particulier ceux en béton, ont apporté une certaine protection. Le bombardement par les neutrons a rendu les matériaux radioactifs près de l'hypocentre, appelé point zéro. L'irradiation induite représentait le premier jour, au maximum, une dose cumulée de 0,6 Gy au point zéro. Du deuxième au cinquième jour, elle représentait moins de 0,1 Gy. L'exposition consécutive aux retombées radioactives sous forme de poussières ou de pluie noire a entraîné une dose cumulée totale maximum au sol de 0,4 Gy, la première semaine. Enfin, aucune relation dose-effet n'a été mise en évidence au-delà de 2,4 km de l'hypocentre.

74 % des victimes décédèrent le jour du bombardement, 11 % avant la fin de la première semaine, et 3 % au cours

de la deuxième semaine. 89 % des décès survinrent les deux premières semaines. D'autres victimes moururent majoritairement après trois à huit semaines (10 %), et enfin les dernières après trois à quatre mois (1 %). À l'époque, le Département de l'Énergie américain (DOE) avait annoncé le décès de 70 000 personnes pour Hiroshima et 40 000 personnes pour Nagasaki. Au 31 décembre 1945, les dernières estimations retenues étaient de 140 000 morts pour Hiroshima et de 70 000 morts pour Nagasaki.

Par la suite, un recensement des blessés et des survivants a été réalisé en fonction de l'endroit où ils se situaient au moment des explosions, mais aussi de la durée de l'exposition et la présence d'écrans éventuels. 159 000 survivants ont été dénombrés à Hiroshima et 125 000 à Nagasaki.

### Le suivi médical des survivants

L'ABCC (Atomic Bomb Casualty Commission) en 1950, puis la Radiation Effects Research Foundation (RERF) à partir de 1975 furent chargées du suivi médical des populations exposées aux rayonnements ionisants lors des bombardements.

Ainsi, plusieurs cohortes furent mises en place. **La cohorte des survivants des deux bombardements atomiques**, la LSS (Life Span Study), regroupe 120 321 résidents des deux villes présents ou non au moment des bombardements et en vie au 1<sup>er</sup> octobre 1950. 93 741 se trouvaient à moins de 10 km des hypocentres et 26 580 étaient hors de la ville. Il fut impossible de reconstituer la dose reçue pour 7 044 personnes dont la localisation n'a pas pu être déterminée avec précision. L' "Adult Health Study", une

**Tableau I**

### Caractéristiques des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki.

	Hiroshima	Nagasaki
Population estimée avant l'explosion de la bombe	360 000	250 000
Date de l'explosion	6 août 1945	9 août 1945
Nature de la bombe	Uranium enrichi	Plutonium
Puissance de la bombe	16 kT	21 kT
Explosion	En altitude	En altitude
Hauteur de l'explosion	580 m	503 m
Lieu de l'explosion	Centre-ville	En périphérie et zone vallonnée 1,5 km du centre-ville
Nombre de morts au 31 décembre 1945	90 000 - 140 000	60 000 - 80 000
	Morts dus au souffle, à la chaleur, aux brûlures et au syndrome aigu d'irradiation	

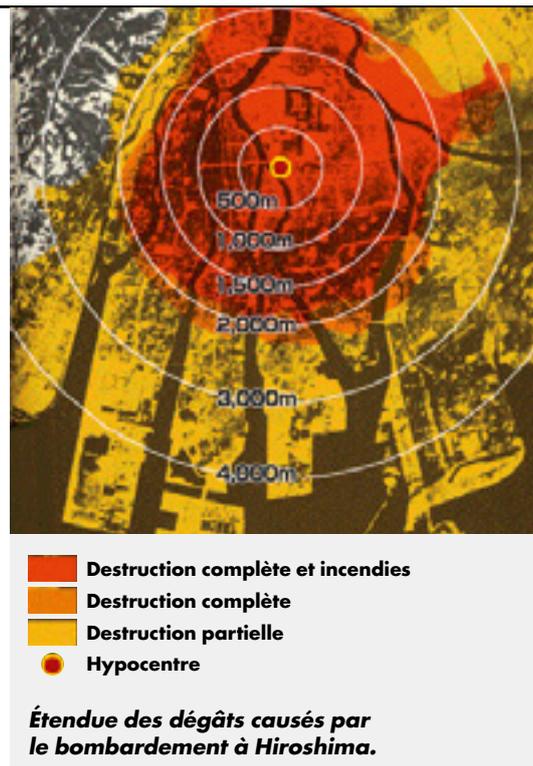
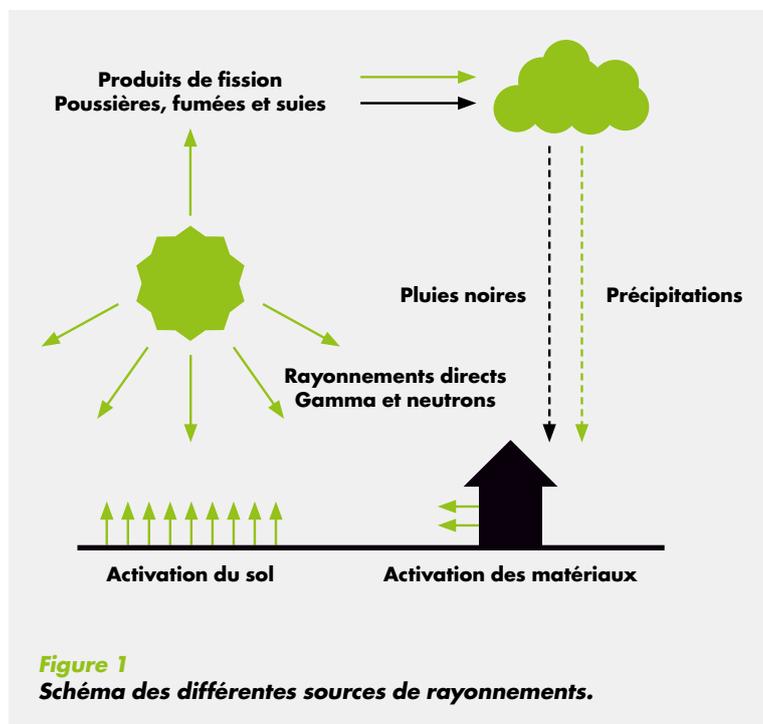
sous-cohorte de la LSS, est une étude clinique. Tous les deux ans, les participants réalisent des analyses biologiques et des examens médicaux. Les **personnes exposées in utero** font l'objet d'un suivi particulier dans une étude dédiée (*In Utero Study*), de même que les **enfants des survivants** (F1 Cohort Study).

La répartition de la cohorte (LSS) en termes de sexe et d'âge au moment des événements est précisée dans le **tableau II**. Ont été exclues 96 personnes perdues de vue et 8 273 personnes décédées avant le 1<sup>er</sup> janvier 1958. 52 % des participants à la LSS étaient en vie au 1<sup>er</sup> janvier 1999.

**Tableau II**

### Répartition des participants à la LSS en termes de sexe et d'âge au moment des bombardements, et pourcentage de personnes en vie au 1<sup>er</sup> janvier 1999 (d'après Douple, 2011).

Age au moment des bombardements (ans)	Hommes		Femmes		Total	
	Nombre	En vie (%)	Nombre	En vie (%)	Nombre	En vie (%)
< 10	11 618	89	11 917	94	23 535	91
10 - 19	11 202	73	14 243	87	25 445	81
20 - 29	3 686	47	11 680	72	15 366	66
30 - 39	5 716	17	10 928	36	16 644	29
40 - 49	7 421	2	9 469	5	16 890	3
>50	6 237	0	7 835	0	14 072	0
Tous les âges	45 880	46	66 072	55	111 952	52



Des estimations dosimétriques ont ainsi pu être réalisées en tenant compte de certains paramètres :

- l'irradiation instantanée au moment de l'explosion (<1 minute);
- les contributions respectives de la composante neutronique (thermique, fortes énergies) et des rayons gamma ;
- l'exposition résiduelle induite par la radioactivité des sols, des matériaux, et des retombées atmosphériques ;
- la topographie des lieux, comprenant la présence d'éventuels écrans naturels (collines...) ou de bâtiments et autres constructions.

Le **premier système dosimétrique (DS86)** a permis d'estimer, par le calcul, les doses gamma et neutrons dans l'air, et liées à l'activation des sols. La dose d'exposition externe maximale au niveau de l'hypocentre a été estimée à environ 700 mGy (air) à Hiroshima et 260–350 mGy (air) à Nagasaki. Par ailleurs, la dose due aux pluies noires était de 9–26 mGy à Hiroshima et de 170–350 mGy à Nagasaki.

### Les reconstitutions dosimétriques

Comme les doses ne purent pas être directement mesurées au moment des explosions, des investigations rétrospectives (en termes de fluence et de contributions aux doses) ont été réalisées à l'aide des valeurs mesurées au niveau des différents matériaux présents en ville.

Les rayonnements directs émis par les bombes sont ionisants et pénétrants (gamma et neutrons). Il est possible d'estimer leur impact en termes de dose individuelle en fonction de la distance au point zéro, des écrans présents (bâtiments, géographie des terrains, etc.) et de certaines données liées aux survivants (âge, orientation et activités physiques). La connaissance du terme source, que plusieurs équipes ont tenté de modéliser, est essentielle.

**Tableau III**

**Doses sans écran (en Gy) en fonction de la distance à l'hypocentre selon DS02 (d'après Young et al., 2005).**

Distance (m)	Hiroshima			Nagasaki		
	Neutrons	Gamma	Total (neutrons x10)	Neutrons	Gamma	Total (neutrons x10)
1 000	0,260	4,22	6,82	0,125	8,62	9,87
1 200	0,067	1,81	2,48	0,034	3,49	3,83
1 500	0,0090	0,527	0,617	0,0051	0,983	1,03
1 800	0,0013	0,165	0,178	0,0008	0,299	0,307
2 000	0,0004	0,076	0,080	0,0002	0,138	0,140
2 500	0,0000	0,013	0,013	0,0000	0,023	0,023

Ces résultats ont ensuite été réévalués grâce à une meilleure identification des produits d'activation présents et induits par l'exposition aux neutrons des sols, des bâtiments et des écrans. Des mesures ont alors permis d'affiner les données utiles aux reconstitutions dosimétriques :

- des mesures de cobalt et d'euprium indiquant la présence de neutrons thermiques ;
- et des mesures d'activation de soufre et de cuivre, produisant des traces de nickel ( $^{63}\text{Ni}$ ) en présence de neutrons de forte énergie.

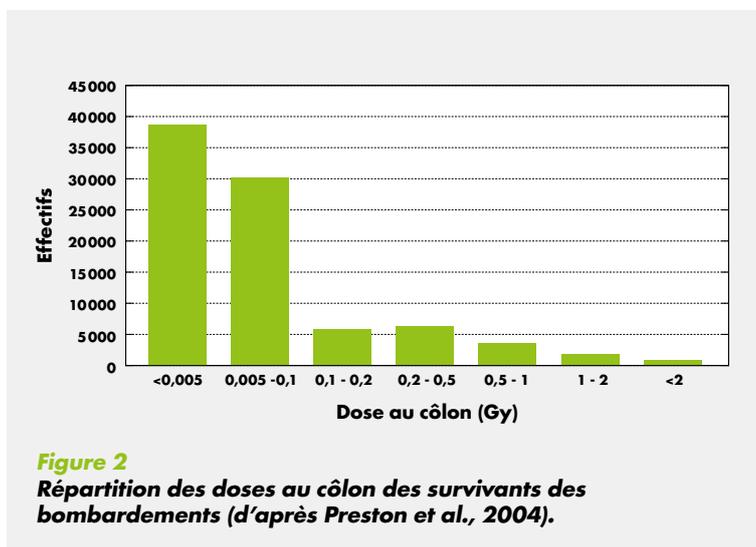
Grâce à des méthodes plus récentes, un **nouveau système de calcul des doses (DS02)** a été mis au point. Les estimations de dose sont reportées dans le **tableau III**. Les mesures d'activation et l'intégration de la géométrie et de la composition des bâtiments ont permis de réduire l'incertitude au niveau des doses de rayonnement gamma. Néanmoins, la prise en compte du nouveau système dosimétrique DS02 ne devrait pas entraîner de modification significative des estimations de risque par rapport aux estimations actuelles (Preston *et al.*, 2012).

La prise en compte des différentes composantes de l'irradiation directe et radio-induite (contributions alpha, bêta, gamma et neutrons) permet de calculer les doses équivalentes au côlon. Aucune différence entre les hommes et les femmes n'a été mise en évidence. L'histogramme (figure 2) représente la répartition des doses au côlon de l'ensemble des personnes ayant été exposées après les bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. 80 % des doses sont inférieures à 0,1 Gy.

Quant aux personnes exposées *in utero* ou très jeunes, après reconstitution de la géolocalisation des femmes enceintes et des jeunes enfants, le **tableau IV** montre leur répartition selon la ville de résidence, le sexe, et la dose estimée avec le système DS02.

### Les effets non cancéreux

Nos connaissances actuelles sur les effets non cancéreux reposent principalement sur ceux observés suite aux bombardements des villes d'Hiroshima et Nagasaki. Le décès des victimes fut le plus souvent lié à des lésions d'origine thermique, mécanique ou radiologique, apparues précocement après les bombardements.



**Figure 2**  
Répartition des doses au côlon des survivants des bombardements (d'après Preston *et al.*, 2004).

**Tableau IV**  
Répartition des participants selon la cohorte, la ville, le sexe et la dose (d'après Preston *et al.*, 2008).

Caractéristiques	Nombre de personnes (%)		
	<i>In utero</i>	Enfant de 0 à 5 ans	
Total	3 268 (100)	15 899 (100)	
Hiroshima	2 654 (81)	10 488 (66)	
Nagasaki	614 (19)	5 411 (34)	
Homme	1 612 (49)	7 783 (49)	
Femme	1 656 (51)	8 116 (51)	
Doses en Gy*	Hors de villes	586 (18)	3 384 (21)
	0 à <0,005	961 (29)	5 165 (32)
	0,005 à <0,1	435 (13)	4 528 (28)
	0,1 à <0,5	330 (10)	1 712 (11)
	0,5 à <1,0	92 (3)	325 (2)
	>1	48 (1)	274 (2)
	Dose inconnue	816 (25)	511 (3)

\* Ont été utilisées la dose à l'utérus de la mère pour les expositions *in utero*, et la dose au côlon pour les jeunes enfants.

## NOTES

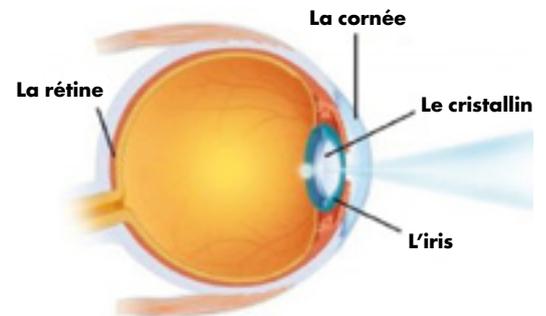
Apparues dans les jours et les semaines suivant cette tragédie, ont ainsi été décrites les différentes composantes du syndrome aigu d'irradiation (SAI), appelé aussi 'fièvre des radiations' ou encore 'maladie des rayons' résultant d'une exposition aux rayonnements ionisants à dose élevée, corps entier ou d'une grande partie du corps. Après une phase initiale (dite prodromique) dans les heures suivant l'irradiation au cours de laquelle sont observés des symptômes non spécifiques (nausées, vomissements, hyperthermie...), suit une phase de latence d'autant plus courte que la dose est élevée. Puis, survient la phase d'état caractérisée par l'apparition de symptômes pouvant conduire à la mort. Selon la dose peuvent survenir des troubles des systèmes hématopoïétique, gastro-intestinal, respiratoire et cérébro-vasculaire, mais aussi des brûlures cutanées et une dépilation. La phase prodromique peut durer quelques heures à quelques jours, la phase de latence de quelques jours à quelques semaines.

Les effets non cancéreux survenant après une exposition aux rayonnements ionisants sont habituellement considérés comme des effets déterministes ou dits tissulaires par la CIPR. Ils surviennent au-dessus d'un seuil de dose et dépendent de l'effet nocif et du tissu considérés; leur gravité augmente avec la dose. Leurs délais de survenue varient en fonction de la dose, de l'effet et du tissu exposé. Jusqu'à présent les études disponibles font état d'un seuil d'apparition de ces effets supérieur à 100 mSv, c'est-à-dire non situé dans le domaine des faibles doses. Cependant, comme le suivi de la cohorte des survivants se poursuit, il pourrait remettre en cause les seuils identifiés par le passé à partir desquels sont apparues une cataracte ou des maladies cardiovasculaires. Par ailleurs, les effets immunitaires ou inflammatoires sont encore mal connus quant à leurs mécanismes et leurs conséquences sur la santé des survivants.

Si dès la fin des années 1940, une augmentation du risque de décès par leucémie fut recensée parmi les survivants, une augmentation du nombre de décès par maladie non-cancéreuse, distincte du syndrome aigu d'irradiation, fut ensuite suggérée dans le milieu des années 1960 (voir **figure 3**) (Douple et al, 2011).

### Cataracte et opacifications du cristallin

Les premières cataractes furent observées chez les survivants 3 à 4 ans après les bombardements. La cataracte postérieure subcapsulaire (CPS) est la plus connue; elle est causée par une dose supérieure à 1,5-2 Gy (Choshi et al., 1983 – Otake et al., 1996). Les rayonnements ionisants pourraient également être à l'origine de la cataracte corticale (CC) comme le suggèrent des études sur les



survivants d'Hiroshima et Nagasaki (Little, 2013). Dans le cas de la CPS radio-induite, des cellules de la couche épithéliale frontale migrent anormalement vers le pôle postérieur du cristallin constituant ainsi une zone opaque. Des études récentes tendent à mettre en évidence un seuil d'apparition plus faible, qui pourrait être inférieur à 0,8 Gy (Nakashima et al., 2013).

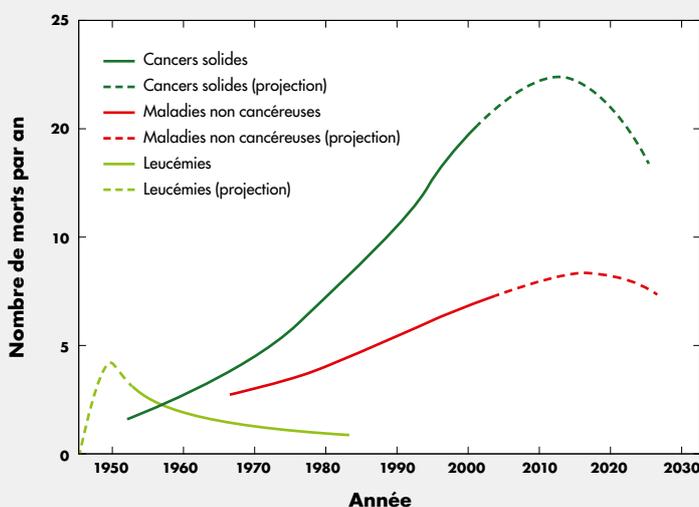
### Maladies cardiovasculaires

Les études épidémiologiques de mortalité réalisées sur la cohorte des survivants des bombardements ont montré une augmentation dose-dépendante significative de l'incidence des accidents vasculaires cérébraux et des maladies cardiaques, pour la période allant de 1968 à 1997.

L'étude de Shimizu et al. (2010) a bénéficié des doses individuelles calculées (doses au côlon) et permis un suivi plus long (entre 5 et 58 ans après les bombardements) que celui d'études précédentes, incluant ainsi davantage de cas de décès, ce qui a renforcé sa robustesse. Un excès de risque significatif de décès par maladies cardiaques ou accident vasculaire cérébral (AVC) a été mis en évidence dans la cohorte des survivants pour des doses comprises entre 0,5 et 2 Gy (estimation des doses selon DS02). En revanche, pour des doses inférieures à 0,5 Gy l'augmentation n'est pas significative. Les auteurs ont en outre montré que cette association positive reste significative même après la prise en compte de facteurs confondants comme le tabac, l'alcool, l'obésité, le diabète, le milieu professionnel et le niveau d'études, ou bien lorsqu'une maladie cardio-vasculaire a été diagnostiquée à la place d'un cancer.

Les résultats montrent que le risque d'AVC associé à une exposition aux rayonnements ionisants est plus élevé en cas d'exposition chez un sujet jeune; cependant l'excès de risque (ERR) n'est pas significatif: l'ERR par Gy est de 36%, 9%, 15% et 5% pour une exposition chez les moins de 10 ans, de 10 à 19 ans, de 20 à 39 ans et chez les plus de 40 ans respectivement.

Depuis 1958, l'acquisition de données cliniques et de morbidité dans le cadre de l'étude réalisée au sein d'un sous-ensemble de la cohorte des survivants désignée



**Figure 3**  
Mortalité par leucémies, par cancers solides ou par maladies non-cancéreuses chez les participants à la LSS.

comme l' "Adult Health Study" (AHS) a mis en évidence une augmentation dose-dépendante significative de l'incidence de l'infarctus du myocarde, de la tension artérielle, du taux plasmatique de cholestérol et de la calcification de la crosse aortique uniquement chez les victimes exposées avant l'âge de 40 ans (*Yamada 2004-2005, Robertson 1979, Sasaki 2002, Kasagi 1992, Wong 1999, UNSCEAR2006 – annexe B*).

Par ailleurs, l'étude de *Tatsukawa et al. (2008)*, s'est intéressée à la morbidité chez des survivants exposés pendant l'enfance (âgés de moins de 10 ans au moment des bombardements). Les résultats mettent en évidence une incidence accrue statistiquement significative en termes d'infarctus du myocarde et d'accident vasculaire cérébral, en revanche pas pour l'hypertension artérielle. La dose médiane d'exposition (au côlon) était de 0,13 Gy. Par ailleurs, une incidence accrue de l'hypertension et de l'infarctus du myocarde chez des survivants de la cohorte exposés *in utero* a été mise en évidence en lien avec l'exposition aux rayonnements ionisants ; cependant cette association n'est pas statistiquement significative, la dose médiane (à l'utérus de la mère) est de 1 mGy.

Les circonstances (chaleur, souffle, rayonnements...) des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki pourraient expliquer que les risques observés dans la cohorte des survivants ne soient pas transposables à d'autres populations. Ces derniers ont ainsi souffert de brûlures, de dépilation et de nombreuses autres agressions aiguës différentes de celles observées au sein des autres cohortes étudiées. De plus, cette cohorte de survivants présentait également des carences alimentaires causées par la guerre. S'il est connu que la malnutrition, dans les stades précoces de la vie est associée au développement de maladies cardiovasculaires à l'âge adulte, elle ne semble pas avoir d'effet sur la relation dose-réponse dans le cas des victimes des bombardements (*Little, 2013*).

### Effets sur le rein

*Sera et al. (2013)* se sont intéressés à la présence éventuelle d'atteintes rénales chroniques chez les survivants et ont cherché à évaluer si ces pathologies pouvaient augmenter le risque de maladies cardio-vasculaires. Leur diagnostic a été établi en fonction de la valeur de la filtration glomérulaire : lorsque celle-ci était inférieure à 59 mL/min, l'atteinte de la fonction rénale était considérée comme modérée à sévère. Après ajustement sur l'âge, le sexe, le tabac et l'alcool, les auteurs ont examiné l'association éventuelle entre un dysfonctionnement rénal et diverses pathologies (hypertension, diabète...) d'une part, et entre un dysfonctionnement rénal et l'exposition aux rayonnements ionisants, d'autre part. Les résultats font état d'une association positive statistiquement significative entre les pathologies comme l'hypertension, le diabète, l'hyperlipidémie, un syndrome métabolique (MetS) et un

dysfonctionnement rénal modéré à sévère. Par ailleurs, hyperlipidémie et MetS peuvent être associés à un dysfonctionnement léger. Les maladies chroniques rénales et les troubles rénaux sévères apparaissent associés de façon significative à une exposition aux rayonnements ionisants avec des risques relatifs de 1,26 (intervalle de confiance (IC) à 95 % : 1,01-1,57) et 2,25 (IC 95 % : 1,36-3,78) respectivement.

Ces auteurs comme ceux de l'étude d'*Adams et al. (2012)*, concluent que des atteintes rénales chroniques (imputées à l'exposition aux rayonnements ionisants) pourraient jouer un rôle dans les mécanismes liant exposition aux rayonnements ionisants à certains facteurs de risque cardiovasculaires. Toutefois, aucun mécanisme n'est démontré entre une exposition aux rayonnements ionisants et le développement de pathologies cardiovasculaires. Certaines études suggèrent le rôle de facteurs inflammatoires ou de modifications fonctionnelles de l'endothélium apparues après une irradiation (*Shimizu et al., 2010*).

Par ailleurs, *Yamada et al. (2004)* ont mis en évidence une augmentation significative de l'incidence d'apparition de calculs rénaux et urétéraux après exposition aux rayonnements ionisants chez les hommes jeunes essentiellement, avec un risque relatif de 1,47 (IC 95 % : 1,13-1,96). Chez les femmes, il n'existe pas de relation significative d'après ces auteurs. Le mécanisme de formation de ces calculs ne semble pas lié à une hyperparathyroïdie ou à une concentration élevée de calcium sérique, compte tenu du faible nombre de personnes concernées par ce type de pathologies.

### Effets immunitaires et inflammatoires

Quelques mois après les bombardements, de nombreux survivants avaient retrouvé un fonctionnement quasiment normal de leur système hématopoïétique. Cependant, plusieurs décennies après, il est encore possible de détecter des anomalies du système immunitaire chez certains survivants exposés (*Kusunoki et al., 2008*).

*Kamiya et al., 2015* rapportent que les survivants exposés à de fortes doses de rayonnements ionisants présentent les symptômes d'un affaiblissement de leur système immunitaire, similaires à ce qui est observé lors du vieillissement naturel. Nombre d'entre eux présentent également des réactions inflammatoires modérées, exposées ci-après, qui pourraient être à l'origine de lésions athérosclérotiques\*, voire de maladies cardiovasculaires.

Un état inflammatoire durable pourrait être un des facteurs contribuant au développement de certaines maladies recensées chez les survivants comme des cancers, certaines maladies du système cardiovasculaire, de la thyroïde ou du foie.

Parmi les réactions inflammatoires évoquant celles mises en jeu dans le vieillissement, ont été décrites une atteinte

---

### NOTES

\* Athérosclérotiques : Provoquées par le dépôt d'un athérome, plaque se formant sur la paroi interne lésée d'une artère pouvant entraîner la diminution de son diamètre.

---

## NOTES

\* Prévalence :  
Correspond au nombre de personnes atteintes par une maladie à un moment donné.

fonctionnelle des cellules T se traduisant par une diminution de la prolifération en présence de produits mitogènes et de la production d'interleukine-2 (IL-2), une diminution de la population des cellules T-auxiliaires et une augmentation de la concentration sanguine en cytokines inflammatoires. Une augmentation de la concentration plasmatique des espèces réactives de l'oxygène, de l'interleukine 6 (IL-6), de la protéine C-réactive (CRP), et de la sédimentation des érythrocytes en fonction de la dose reçue et de l'âge au moment de l'étude a été rapportée chez les survivants. L'élévation de la concentration plasmatique de CRP et d'IL-6 est associée à une diminution du nombre de lymphocytes T CD4+ au sein de la population lymphocytaire. D'après les observations faites chez les survivants ayant eu un infarctus du myocarde, les auteurs émettent l'hypothèse qu'une atteinte radio-induite de la population des cellules T pourrait entraîner des réactions inflammatoires, telles qu'une augmentation de la CRP et de l'IL-6, et ainsi jouer un rôle dans l'augmentation du risque de maladie cardiovasculaire parmi les survivants d'Hiroshima et Nagasaki (*Kusunoki et al., 2008 et 2010 – Hayashi et al., 2012 – Kamiya et al., 2015 – Unscear2006, Annexe D*).

Chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki exposés à des doses supérieures à 1 Gy, les études commencées 20 ans après les bombardements ont mis en évidence des anomalies quantitatives et fonctionnelles des lymphocytes T et B (*Unscear2006, Annexe D*).

Les principaux troubles observés chez les survivants révèlent :

- des anomalies de la fonction des lymphocytes T montrant une diminution de la proportion des cellules CD4+ auxiliaires, des CD4+ naïves et des CD8+ cytotoxiques ;
- une augmentation dose-dépendante de la proportion de lymphocytes B et de la production d'immunoglobulines ;
- des anomalies de l'immunité virale et d'autres fonctions des cellules T (comme la capacité à produire de l'IL-2, les réponses aux allo-antigènes...).

L'hypothèse d'un lien entre maladies non-cancéreuses et altérations radio-induites du système immunitaire a été avancée sans que le mécanisme n'ait été élucidé. Cependant, le Comité des Nations-Unies étudiant les sources et les effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) conclut à l'absence de stimulation ou d'affaiblissement de la réponse immunitaire suite à une exposition à de faibles doses de rayonnements ionisants. (*Unscear2006 - Annexe D*).

## Modifications cytogénétiques

Une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques dans les lymphocytes est encore observée chez les survivants plusieurs décennies après les bombardements. Une relation dose-réponse non linéaire a été établie grâce aux estimations de dose DS86 (*Kodama et al., 2001*).

## Maladies de la thyroïde

Si les données disponibles font état d'une relation dose-réponse linéaire significative entre l'exposition aux rayonnements ionisants et la prévalence\* de nodules (malins et bénins) thyroïdiens chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki avec un excès de risque de 2,01 pour 1 Gy (IC 95 % : 1,33-2,94), en revanche aucune réaction auto-immune au niveau de la thyroïde liée à l'exposition aux rayonnements ionisants n'a été observée (*Imaizumi et al. (2006), Unscear2006 - Annexe D*).

## Maladies respiratoires

Le risque de mortalité par pathologie respiratoire non-cancéreuse chez les survivants de Hiroshima et Nagasaki a été réexaminé dans le cadre de l'étude de *Pham et al. (2013)* pour la période 1950-2005. Les auteurs se sont intéressés à certaines maladies telles que les infections aiguës des voies respiratoires supérieures et la bronchite aiguë, les pneumonies à influenza, l'asthme, la broncho-pneumopathie chronique obstructive. L'étude de ces types de maladies nécessite d'identifier les facteurs de risque et de décrire correctement leur déroulement, afin de ne pas les confondre et de discerner le risque spécifiquement lié à l'exposition aux rayonnements ionisants. Par exemple, une pathologie respiratoire non-cancéreuse peut souvent être l'aboutissement fatal d'une autre maladie (type cancer ou maladie cardio-vasculaire), d'où le risque d'erreur de diagnostic noté sur le certificat de décès. Les auteurs se sont également attachés à prendre en compte les facteurs de confusion possibles tels que le mode de vie ou les conditions socio-économiques.

Les résultats montrent l'existence d'une augmentation dose-dépendante statistiquement significative du nombre de décès par maladies respiratoires non-cancéreuses considérées dans leur ensemble. Cependant, des différences existent selon le type de pathologie, le sexe et la période calendaire de suivi par rapport aux bombardements. Les résultats sont ainsi significatifs pour la pneumonie à *Haemophilus influenzae* (notamment chez les femmes) et l'asthme à partir de 1980 seulement. En revanche, la relation dose-réponse n'est pas significative pour les autres maladies respiratoires étudiées. L'ajustement par rapport au risque d'erreur de diagnostic de décès, même incomplet, montre que les associations positives décrites entre une exposition aux rayonnements ionisants et une maladie respiratoire non-cancéreuse devraient dans certains cas être plutôt attribuées à un cancer ou une maladie cardiovasculaire.

### Autres effets

• Des données cliniques acquises dans le cadre de l' 'Adult Health Study' (AHS) ont mis en évidence une augmentation de la tension artérielle, de la calcification de la crosse aortique, de la présence de stéatose hépatique et de maladies cardiaques ischémiques (voir paragraphe maladies cardiovasculaires). Des différences entre personnes exposées et non-exposées au niveau du métabolisme lipidique (comme par exemple, l'augmentation du taux plasmatique de cholestérol total et de triglycérides, et de la diminution de celui des lipoprotéines de haute densité) suggèrent un lien entre l'irradiation et ces effets infracliniques ou certaines maladies cardiovasculaires observés (Yamada et al., 2004 – Wong et al., 1999).

• La présence de myomes ou fibromes\* utérins ont également été décrits chez certaines survivantes. Le risque relatif significatif d'une association positive entre une exposition aux rayonnements ionisants et l'incidence d'apparition de fibromes est de 1,46 pour 1 Gy (IC 95 % : 1,27-1,67) (Yamada et al., 2004).

• Aucune diminution de la fertilité n'a été recensée chez les survivants des bombardements de Hiroshima et Nagasaki exposés à environ 1 Gy (Blot et al., 1972).

• L'exposition aux rayonnements ionisants pourrait perturber les taux sériques de calcium, d'hormones parathyroïdiennes et de calcitonine plusieurs années après les bombardements, mais le mécanisme en cause n'est pas expliqué (Fujivara et al., 1994).

• Une diminution de l'espérance de vie des survivants d'Hiroshima et Nagasaki a été observée avec une valeur médiane de 1,3 ans pour une exposition à 1 Gy. Les auteurs ont par ailleurs estimé qu'une dose supérieure à 1 Gy entraînait une diminution de 2,6 ans de l'espérance de vie, alors qu'une dose inférieure à 1 Gy une diminution de 2 mois (Cologne et al., 2000).

• Curieusement, Yamada et al. (2004) font état d'une association négative entre exposition aux rayonnements ionisants et incidence d'apparition d'un glaucome avec un risque relatif pour 1 Gy égal à 0,82 (IC 95 % : 0,80-0,97).

### L'étude *in utero*

Une cohorte particulièrement sensible parmi les survivants fut celle des embryons et des fœtus exposés *in utero* au moment des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, représentant environ 3 600 individus. Cette cohorte a été suivie en termes d'incidence et de mortalité de pathologies potentiellement radio-induites.

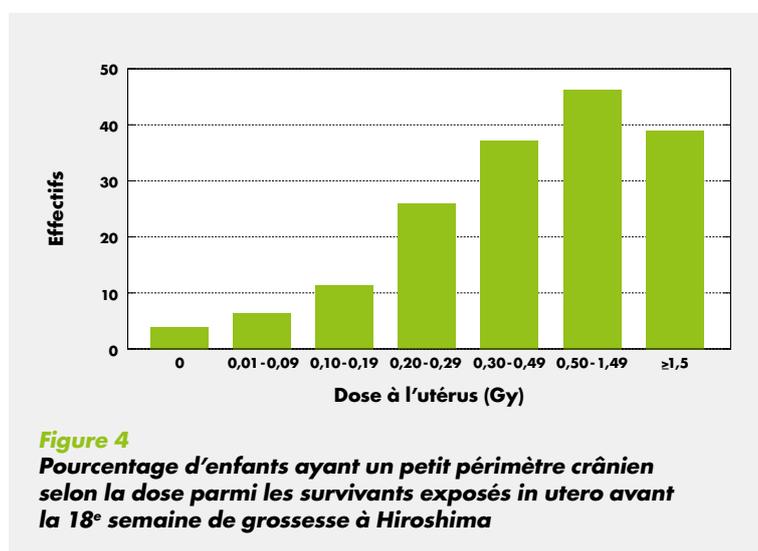
### Microcéphalie et retard mental

Dans les années 70 a été établi un lien entre la dose à l'utérus, l'âge gestationnel et certains effets tératogènes

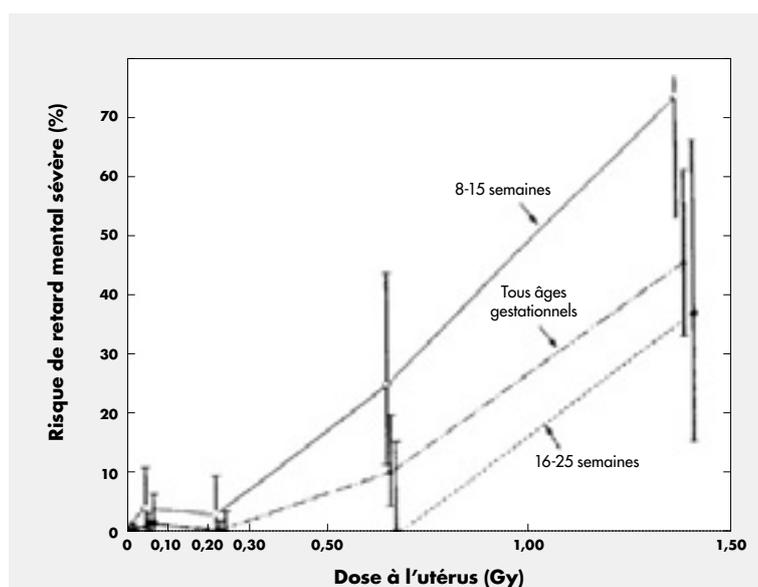
comme la microcéphalie ou le retard mental. Un excès de handicap mental a été mis en évidence pour les expositions survenues entre la 8<sup>e</sup> et la 15<sup>e</sup> semaine de grossesse, période critique de l'organogenèse du système nerveux central, et dans une moindre mesure pour les expositions entre la 16<sup>e</sup> et la 25<sup>e</sup> semaine (voir figures 4 et 5). Dans ces deux groupes, a été observée une baisse des performances scolaires et des scores de QI (Yamazaki, 1990).

### NOTES

\* Fibromes : Tumeur bénigne du tissu musculaire de l'utérus.



**Figure 4**  
Pourcentage d'enfants ayant un petit périmètre crânien selon la dose parmi les survivants exposés *in utero* avant la 18<sup>e</sup> semaine de grossesse à Hiroshima



**Figure 5**  
Retard mental sévère selon la dose à l'utérus (DS86) et l'âge gestationnel chez les survivants exposés *in utero*.



## Croissance

Le suivi annuel a révélé une réduction de la taille et du poids à l'âge adulte (mesuré à 18 ans) dans le groupe ayant reçu la dose la plus élevée, c'est-à-dire pour une dose à l'utérus  $\geq 295$  mGy. Cet effet semble indépendant du sexe et de l'âge gestationnel lors de l'exposition (Nakashima, 1994). Il faut cependant noter que le statut socio-économique, qui influe sur l'alimentation, est un cofacteur important qui n'a pas été pris en compte dans l'étude.

### Tableau V

**Incidence des cancers dans la cohorte *in utero* (d'après Yoshimoto, 1994).**

	Période de suivi	
	1950-1984	1985-1989
Nombre de participants	1 413	1 348
Personnes-ans		
0 Gy	18 671	2 913
$\geq 0,01$ Gy	25 764	3 796
Total	44 435	6 709
Cas de cancer		
0 Gy	5	4
$\geq 0,01$ Gy	12*	3
Total	17	7
ERR par Gy (IC 90%)	2,06 (0,10 - 7,55)	<0 (<0 - 1,39)

\* Dont 2 cas de leucémie.

## Cancer

À partir de 1950, l'étude de la mortalité due au cancer est rendue possible grâce aux certificats de décès. Les registres de cancer permettant l'étude de l'incidence des cancers ont été opérationnels en 1958 à Hiroshima et Nagasaki. Sur la période 1950-1989, 24 cas de cancer ont été diagnostiqués dans une cohorte d'environ 1 400 personnes exposées *in utero* à plus de 10 mGy ou non exposées : 17 cas sur la période 1950-1984, soit un ERR par Gy de 2,06 (IC 90 % : 0,10 - 7,55) et 7 supplémentaires entre 1985-1989, soit un ERR par Gy < 0 (IC 90 % : <0 - 1,39) (voir tableau V). Avec les années, l'ERR diminue avec l'augmentation du taux naturel de cancers. Ces résultats ne permettent pas d'exclure une augmentation du risque absolu de cancer chez ces personnes. Parmi ces cas, seuls 2 sont survenus pendant l'enfance (à 6 et 14 ans).

Le manque de données sur la survenue de cancers pour la période 1945 à 1957 ne permet pas l'étude de l'effet de l'exposition *in utero* sur l'incidence des cancers pendant l'enfance. En revanche, une étude s'est intéressée aux cancers solides chez les sujets âgés de 12 à 55 ans. Un excès de risque significatif de développer un cancer solide de 1,3 /Sv (IC 95 % : 0,2-2,8) a été observé chez ces derniers. Ce risque n'est pas plus élevé qu'après une exposition dans la petite enfance (0-5 ans, ERR = 2,0 /Sv, IC 95 % : 1,4-2,8). Pour les deux groupes, les ERRs diminuent avec l'âge. 2 452 survivants de la cohorte *in utero* et 15 388 exposés avant 6 ans ont été inclus dans cette étude. Il n'a pas été montré

**Tableau VI**  
**Morbi-mortalité des enfants exposés in utero lors du bombardement de Nagasaki selon la distance de la mère à l'hypocentre.**

Distance à l'hypocentre (m)	Grossesses	Avortements	Mortinatalité	Mortalité néonatale	Mortalité post-néonatale	Mortalité totale	Morbidité infantile	Survivants en bonne santé
<2 000 avec signes majeurs d'irradiation <sup>1</sup>	30	3	4	3	3	13 <sup>2</sup> (43,3%)	5 (16,7%)	12 (40%)
<2000 sans signe majeur d'irradiation	68	1	2	3	0	6 (8,8%)	1 (1,5%)	61 (89,7%)
4000-5000	113	2	1	1	3	7 (6,2%)	1 (0,9%)	105 (92,9%)
Total	211	6	7	7	6	26	7	178

<sup>1</sup> Présente un ou plusieurs signes : épilation, lésions oropharyngées, purpura ou pétéchies.

<sup>2</sup> Différence significative par rapport au groupe situé à moins de 2000 m de l'hypocentre sans signe majeur d'irradiation.

d'effet de l'âge gestationnel ou de l'âge lors de l'exposition sur le risque de cancer. Le faible nombre de personnes exposées *in utero* limite la puissance statistique des études sur cette cohorte, et rend impossible des analyses par site de cancer (Preston, 2008).

### Thyroïde

Aucune relation dose-effet significative n'a été mise en évidence entre la dose reçue *in utero* et la prévalence de nodules thyroïdiens ou de maladies thyroïdiennes auto-immunes chez 319 personnes (âge moyen 55,2 ans; dose moyenne à l'utérus estimée à 0,256 Gy [0,022-1,789 Gy]; seules 18 personnes ont reçu une dose  $\geq$  0,5 Gy). En effet, l'odds ratio\* pour les nodules observés chez les personnes exposées à 1 Gy est de 2,78 avec un intervalle de confiance très large (IC 95 % : 0,50-11,80), ce qui ne permet cependant pas d'exclure une augmentation des nodules thyroïdiens chez les survivants exposés *in utero*. Il n'a pas été observé de lien avec l'âge gestationnel lors de l'exposition. L'évaluation du risque de nodules thyroïdiens était semblable pour les personnes exposées *in utero* ou dans la petite enfance. Le faible nombre de cas de tumeurs malignes (5 cas) n'a pas permis la réalisation d'une analyse statistique (Imazumi, 2008).

### Mortalité

L'une des premières études (publiée en 1954) s'est intéressée à la morbi-mortalité des enfants exposés *in utero* lors

du bombardement de Nagasaki. Deux groupes constitués chacun de 1 774 femmes en âge de procréer ont été identifiés : dans le premier, les participantes se situaient à moins de 2 000 m de l'hypocentre ; pour le second, le groupe 'témoin', les participantes ont été appariées au premier groupe selon l'âge et se situaient entre 4 000 et 5 000 m de l'hypocentre. 98 femmes du premier groupe et 113 femmes du second groupe étaient enceintes. Les résultats, résumés dans le **tableau VI**, sont à prendre avec précaution du fait du faible nombre de sujets (Yamazaki, 1990).

Le suivi sur 18 ans de 2 800 enfants exposés *in utero* à Hiroshima ou Nagasaki n'a montré aucun lien entre l'exposition de la mère (définie par la distance par rapport à l'hypocentre) et la mortalité, quels que soient la cause du décès ou l'âge auquel la mort est survenue. Cette étude ne prenait cependant pas en compte la mortalité périnatale (Kato, 1966). Un sous-groupe de 1 300 enfants a été suivi sur 24 ans (1945-1969) et les données ont fait l'objet d'une nouvelle analyse avec la disponibilité des premières évaluations dosimétriques (T65D). Bien qu'imprécises, ces estimations de dose constituent un progrès par rapport à une répartition selon la distance à l'hypocentre. Une augmentation significative de la mortalité avec la dose maternelle a été mise en évidence durant la première année de vie. Si l'on considère l'âge gestationnel, cette relation n'est alors significative que pour une exposition dans le dernier trimestre de grossesse. Cet excès de mortalité n'est probablement pas entièrement imputable aux effets des rayonnements ionisants, en raison des traumatismes liés à l'explosion pouvant en être à l'origine (Kato, 1971).

### NOTES

\* Odds ratio :  
 L'odds ratio (dont une traduction littérale en français peut être « rapport des cotes ») est le rapport de l'odds de l'événement (sa cote) dans le groupe exposé divisé par l'odds de l'événement dans le groupe témoin. L'odds ratio s'interprète de façon similaire au risque relatif. Un odds ratio de 1 correspond à l'absence d'effet.

## Risque cardio-vasculaire

Une étude chez les adolescents (9-19 ans, 1 014 participants) a trouvé une relation dose-effet significative pour la prévalence de l'hypertension artérielle (OR à 1 Gy = 2,23; IC95 % = 1,23-4,04) (Nakashima, 2007). Cependant, parmi 506 personnes adultes exposées *in utero* et suivies de 1978 à 2003, il n'a pas été montré de relation dose-effet significative pour aucune des maladies ou facteurs de risques cardio-vasculaires étudiés (hypertension artérielle, hypercholestérolémie, infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral) au sein de la cohorte entière ou des sous-groupes définis selon le trimestre de grossesse lors de l'exposition après ajustement sur les cofacteurs (indice de masse corporelle, tabac, alcool) (Tatsukawa, 2008).

En résumé, les résultats des analyses statistiques relatives à la cohorte *in utero* manquent de précision du fait :

- du faible effectif des cohortes (faible nombre de personnes exposées);
- de participants encore jeunes (moins de 60 ans lors des dernières analyses) pour développer certaines pathologies, le nombre de cas pour chaque maladie est par conséquent faible;
- d'une faible proportion des participants exposés à de fortes doses (90 % < 0,5 Gy).

Par ailleurs, il existe un effet de sélection dans la cohorte *in utero*, puisque ces personnes ont survécu aux bombardements, et au-delà de 1950 (date de début des études). De plus, les facteurs autres que l'exposition aux rayonnements ionisants, tels que le souffle et l'élévation de la température, le stress, l'état nutritionnel de la mère, etc., ont influé sur le développement du fœtus et l'issue de la grossesse, sans que ces interactions puissent être précisément caractérisées.

Il est important de noter que le modèle utilisé pour la reconstitution de dose ne permet pas d'estimer la dose fœtale, ainsi la dose à l'utérus est utilisée dans les études épidémiologiques.

### Dans le prochain numéro de Prosinfo :

- les cancers chez les survivants;
- les effets sur la descendance;
- l'impact psychologique et sociétal.

(Parution en mars 2016)

## RÉFÉRENCES

- Adams MJ, et al. Radiation dose associated with renal failure mortality: a potential pathway to partially explain increased cardiovascular disease mortality observed after whole-body irradiation. *Radiat Res.* 177: 220-28, 2012.
- Blot WJ & Sawada H. Fertility among female Survivors of the Atomic Bombs of Hiroshima and Nagasaki. *Amer J Hum Genet.* 24: 613-622, 1972.
- Choshi K, Takaku I, Mishima H, et al. Ophthalmologic changes related to radiation exposure and age in adult health study sample, Hiroshima and Nagasaki. *Radiat Res.* 96(3): 560-579, 1983.
- Cologne JB & Preston DL. Longevity of atomic-bomb survivors. *Lancet.* 356(9226): 303-307, 2000.
- Douple EB, et al. Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the Atomic Bomb Survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 5:S122-S133, 2011.
- Fujiwara S, et al. Levels of parathyroid hormone and calcitonin in serum among atomic bomb survivors. *Radiat Res.* 137(1): 96-103, 1994.
- Imaizumi M, et al. Radiation doses-response relationships for thyroid nodules and autoimmune thyroid diseases in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors 55-58 years after radiation exposure. *J Am Med Assoc.* 295(9): 1011-1022, 2006.
- Imaizumi M et al., Thyroid diseases in atomic bomb survivors exposed in utero. *J Clin Endocrinol Metab.* 93(5): 1641-8, 2008.
- Kamiya K, et al. Long-term effects of radiation exposure on health. *Lancet*, 386 (9992): 469-78, 2015.
- Kasagi F, et al. An association between the prevalence of isolated hypertension and radiation dose in the Adult Health Study. *Nagasaki Med J.* 67: 479-82, 1992.
- Kato H & Keehn R. Mortality in live-born children who were in utero at time of the atomic bombs. Hiroshima and Nagasaki. ABCC Technical report, 1966.
- Kato H. Mortality in children exposed to the A-bombs while in utero, 1945-1969. *American Journal of Epidemiology.* 93(6):435-442, 1971.

- Kodama Y, et al. Stable chromosome aberrations in atomic bomb survivors: results from 25 years of investigation. *Radiat Res.* 156(4): 337-346, 2001.
- Kusunoki Y & Hayashi T. Long-lasting alterations of the immune system by ionizing radiation exposure: implications for disease development among atomic bomb survivors – *Int J Radiat Biol.* 84(1): 1-14, 2008.
- Kusunoki Y et al. T-Cell Immunosenescence and Inflammatory Response in Atomic Bomb Survivors – *Radiation Res.* 174:870-876, 2010.
- Little MP. A review of non-cancer effects, especially circulatory and ocular diseases - *Radiat Environ Biophys.* 52: 435-449, 2013.
- Nakashima E. Relationship of five anthropometric measurements at age 18 to radiation dose among atomic bomb survivors exposed in utero. *Radiat Res.* 138(1):121-126, 1994.
- Nakashima E et al., Systolic blood pressure and systolic hypertension in adolescence of atomic bomb survivors exposed in utero. *Radiat Res.* 168(5):593-599, 2007.
- Nakashima E, et al. Radiation dose responses, thresholds, and false negative rates in a series of cataract surgery prevalence studies among atomic bomb survivors - *Health Phys.* 105(3): 253-60, 2013.
- Otake M, et al. Cataract in atomic bomb survivors based on a threshold model and the occurrence of severe epilation. *Radiat Res.* 146(3):339-348, 1996.
- Pham T-M, et al. Radiation exposure and the risk of mortality from non-cancer respiratory diseases in the life span study, 1950-2005. *Radiat Res.* 180: 539-45, 2013.
- Preston DL et al. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950-1997. 2003. *Radiat Res.* 178(2):AV146-72, 2012.
- Preston DL et al. Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimates. *Radiat Res.* 162(4):377-389, 2004.
- Preston DL, et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children. *Journal of the National Cancer Institute.* 100(6):428-436, 2008.
- Robertson TL, et al. Incidence of stroke and coronary heart disease in atomic bomb survivors living in Hiroshima and Nagasaki, 1958-1974. Radiation Effects Research Foundation. RERF technical report no 12-79, 1979.
- Sasaki H, et al. The effects of aging and radiation exposure on blood pressure levels of atomic bomb survivors. *J Clin Epidemiol.* 55: 974-81, 2002.
- Sera N, et al. The Association Between Chronic Kidney Disease and Cardiovascular Disease Risk Factors in Atomic Bomb Survivors. *Radiat Res.* 179, 46-52, 2013.
- Shimizu Y, et al. Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003. *British Medical Journal.* 340: b5349, 2010.
- Tatsukawa Y, et al. Cardiovascular disease risk among atomic bomb survivors exposed in utero, 1978-2003. *Radiat Res.* 170(3): 269-74, 2008.
- UNSCEAR 2006 Report - Annex B: epidemiological evaluation of cardiovascular disease and other non-cancer diseases. United Nations, 2008.
- Wong FL, et al. Effects of radiation on the longitudinal trends of total serum cholesterol levels in the atomic bomb survivors. *Radiat Res.* 151: 736-46, 1999.
- Yamada M, et al. Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998. *Radiat Res.* 161: 622-32, 2004.
- Yamada M, et al. Prevalence of atherosclerosis in relation to atomic bomb radiation exposure: an RERF Adult Health Study. *Int J Radiat Biol.* 81:821-6, 2005.
- Yamazaki JN & Schull WJ. Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the atomic bomb. Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. *JAMA.* 264(5):605-609, 1990.
- Yoshimoto Y et al. In utero exposed atomic bomb survivors: cancer risk update. *Lancet.* 344(8918): 345-346, 1994.
- Young R & Kerr G. Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki. Dosimetry system 2002. Radiation Effects Research Foundation, 2005.

# AGENDA

**15 mars 2016**

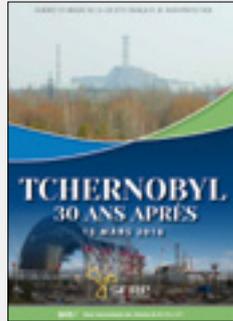
## **Tchernobyl, 30 ans après**

SFRP  
**Paris, France**

L'objectif de la journée est de présenter un bilan de la situation trente ans après l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

Ce bilan portera sur la situation de l'installation et de sa mise en sécurité, l'état de l'environnement, la gestion des déchets, les expositions des travailleurs et des populations et le suivi sanitaire des populations exposées.

<http://www.sfrp.asso.fr/manifestations/manifestations/tchernobyl-30-ans-apres.html,9,38,0,0,2610>



**4 au 7 avril 2016**

## **Toxicology and risk assessment conference**

NIOSH, ATSDR & TERA  
**Cincinnati, Ohio, USA**

<http://toxicologyandriskassessmentconference.net/>

**17 au 22 avril 2016**

## **TRITIUM 2016**

American Nuclear Society  
**Charleston, SC, USA**

<http://tritium2016.org/>

**17 au 22 avril 2016**

## **Response to DNA damage: from molecule to disease**

Leiden University Medical Center  
**Egmond aan Zee, The Netherlands**

<http://www.medgencentre.nl/DNA%20Repair%202016/Default.htm>

**18 au 19 avril 2016**

## **Health effects of the Chernobyl accident – a 30 years aftermath**

National Research Center for Radiation - Medicine  
**Kiev, Ukraine**

<http://nrcrm.gov.ua/en/news/news15.html>

**9 au 13 mai 2016**

## **International Radiation Protection Association**

Cape Town  
**South Africa**

Le 14<sup>e</sup> congrès de l'association internationale pour la radioprotection se déroulera à Cape Town sur le thème:

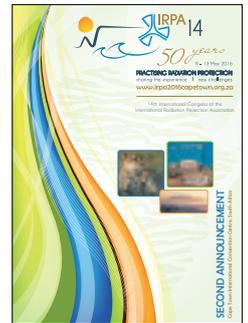
"Practising Radiation Protection: Sharing the Experience and New Challenges"

Le programme abordera 3 sujets majeurs :

- les sciences fondamentales appliquées à la radioprotection ;
- la politique de gestion, les normes et la culture de radioprotection ;
- et la radioprotection en pratique.

Ce congrès sera également l'occasion de fêter les 50 ans de l'association.

<http://www.irpa2016capetown.org.za/>



**5 au 10 juin 2016**

## **Life in space for life on earth symposium**

ISGP, ESA & CNES  
**Toulouse, France**

<http://www.congrexprojects.com/2016-events/16a13>

**14 au 15 juin 2016**

## **Radioprotection et formation**

SFRP  
**Paris, France**

<http://www.sfrp.asso.fr/manifestations/manifestations/radioprotection-formation.html,9,38,0,0,2611>



PROSINFO > n°20 - décembre 2015

Directeur de la publication F. Ménétrier

Comité de rédaction P. Bérard, L. Lebaron-Jacobs, A. Leiterer, M. Olivry

Abonnement et questions <http://prositon.cea.fr/>

Conception graphique Efil communication (www.efil.fr)

