

Risques sanitaires de la production électrique d'origine nucléaire

Docteur Jean-Claude ARTUS, Professeur Emérite
(Ancien Chef de Service de Médecine Nucléaire, ICM Montpellier)

Préambule

Pourquoi les risques pour la santé des moyens de production se cristalliseraient-ils sur la seule radioactivité, alors que les impacts des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel), qui produisent encore les deux tiers de l'électricité mondiale, sont incomparablement supérieurs, qu'il s'agisse des pollutions terrestre, atmosphérique ou aquatique ? Et comment ignorer les impacts sanitaires et sociaux du réchauffement climatique dont ils sont responsables, alors que l'électricité nucléaire n'émet quasiment pas de gaz à effet de serre ? Et faut-il oublier les performances d'une médecine nucléaire devenue essentielle à la santé publique ?

1. Rayonnement ionisants et santé, une longue histoire

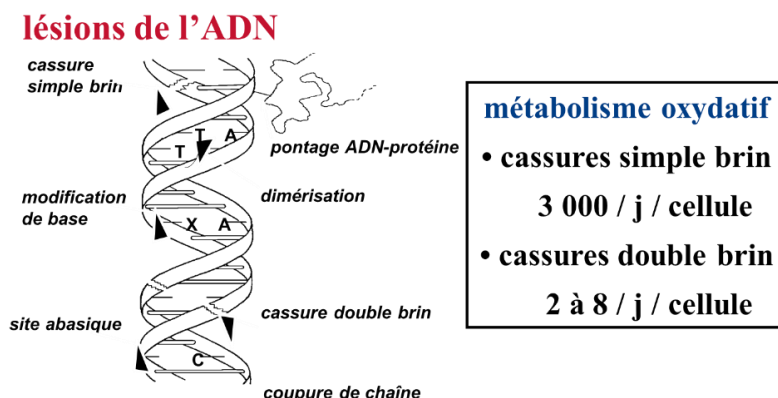
L'efficacité du nucléaire, forme très concentrée de production d'énergie, vient des forces de cohésion des nucléons au sein des noyaux atomiques : c'est pourquoi un gramme d'uranium offre autant d'énergie qu'une tonne de combustibles fossiles. La contrepartie de cette compacité, et de la faible utilisation de matériaux qui en résulte, est l'émission de « rayonnements ionisants » (RI), et leurs effets externe (irradiation) ou interne (ingestion de produits radioactifs). Depuis 120 ans ces RI ont été étudiés (Roentgen, Becquerel, les Curie), utilisés (médecine, applications militaires et industrielles) et leurs effets attentivement mesurés.

Cette pratique « nucléaire » bénéficie d'une « radioprotection » déjà ancienne mise en place initialement pour gérer les risques associés à la radiologie médicale. Quelle industrie énergétique s'assure-t-elle d'une réglementation internationale depuis 1928, celle de la CIPR¹, et du triptyque de la radioprotection des Rayonnements Ionisants (RI) - justification de l'exposition, optimisation des usages et réglementation - aujourd'hui étroitement géré et contrôlé en France par l'ASN et son appui technique, l'IRSN² ?

Enfin, l'énergie nucléaire s'appuie depuis 70 ans sur le concept de cycle, avec une prise en compte des matériaux radioactifs de la mine au stockage final, sans que ceux-ci soient mis au contact de la population à aucun moment. C'est loin d'être le cas pour les énergies fossiles.

2. Rayonnements ionisants et corps humain

Notre ADN est attaqué en permanence, en particulier par des mécanismes oxydatifs, mais aussi les RI naturels. Les RI agissent-ils différemment ? La réponse est non.



Comme illustré dans la figure ci-dessus, ces agressions provoquent des cassures des « brins » de l'ADN. Elles sont très nombreuses: chacune de nos cellules en subit plusieurs milliers par jour. Mais la nature nous a armé, et des mécanismes de réparation qui agissent en permanence dans les cellules font que, soit les lésions à l'ADN se réparent avec retour à la normale, soit la réparation échoue conduisant à une mutation généralement mortelle pour la cellule qui est alors éliminée et remplacée. Il en est de même pour les rayonnements ionisants « artificiels », résultant de l'activité humaine : ils sont de même nature que ceux de la radioactivité naturelle.

Si ces agressions deviennent trop violentes ou répétitives, quelle qu'en soit l'origine, les mécanismes de réparation ont plus de chance de commettre des erreurs conduisant à des mutations. Dans ce cas, si la cellule ne

¹ CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique

² ASN et IRSN : Autorité de sûreté nucléaire, et Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

meure pas elle peut devenir cancéreuse et être à l'origine cancers, dits radio-induits s'ils résultent de fortes doses de RI .

La médecine a désormais une longue expérience de ces effets, que ce soit suite à l'observation des effets des activités nucléaires industrielles et militaires, y compris les essais nucléaires et les accidents, et bien sûr des usages, parfois à fortes doses, des rayonnements ionisants en médecine nucléaire. C'est ainsi que des règles internationales ont pu être établies, aujourd'hui bien validées, qui fixent des doses admissibles et des seuils.

3. L'évaluation du risque « Nucléaire » pour la santé

Suite aux deux bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki³ (1945) les USA diligentèrent une étude épidémiologique sur les survivants. À ce jour aucune autre enquête n'a porté sur des populations aussi importantes, avec des estimations aussi précises des expositions aux rayonnements et un suivi aussi long. Ces résultats, avec 70 ans de recul, sont riches d'enseignements sur les conséquences à long terme des RI sur la santé, connaissances enrichies par l'observation continue de la santé des personnes exposées, dans l'industrie comme dans le milieu hospitalier.

Concernant la radioactivité naturelle ambiante, celle-ci est très inégalement répartie sur terre en fonction des caractéristiques géologiques locales (présences d'uranium, de thorium et de radon dans les sols, très variables, d'un facteur de 1 à 50), ou de l'altitude (rayonnements cosmiques), sans que des impacts sensibles sur la santé des populations les plus exposées aient été prouvés. Le gaz radon peut s'accumuler dans des bâtiments, justifiant des mesures de prévention dans certaines régions⁴.

4. Estimation du risque nucléaire

Si une grandeur physique, le gray⁵ (Gy), a été définie pour quantifier la dose absorbée par la matière⁶, les radiobiologistes ont proposé une unité, essentielle pour évaluer le risque réel, le sievert (Sv)⁷. Lui seul permet d'estimer le risque tardif d'apparition de cancers : il associe la nature et l'énergie des RI à la radiosensibilité des tissus de l'organisme. Adaptée à chaque cas, il permet une évaluation claire du risque d'apparition d'un cancer radio-induit chez l'homme, la femme ou l'enfant, qu'il s'agisse d'un organe ou du corps entier. Ce point est d'autant plus important à souligner que les opposants au nucléaires utilisent souvent une autre unité de mesure de la radioactivité, le becquerel (Bq) qui ne rend pas compte de l'exposition. C'est une mesure infinitésimale, au niveau de l'atome, ce qui donne des chiffres très élevés, forcément anxiogènes pour des personnes non informées.

La dose considérée comme « seuil de probabilité » d'apparition de cancers tardifs, est de 80/1000ième de Sv ou 80 mSv (millisievert) chez les enfants, et de 100 à 150 mSv chez les adultes. Pour donner un ordre de grandeur, la dose annuelle moyenne reçue en France par une personne du public est d'environ 4,5 mSv⁸. Elle est pour trois quart d'origine naturelle⁹, et un petit quart d'origine médicale. Malgré un recours en France à l'énergie nucléaire d'une importance unique au monde (75 % de notre électricité), la dose moyenne qu'elle induit pour la population française est négligeable, de l'ordre de 1 % de la dose totale. La figure ci-dessous montre aussi que la dose individuelle peut varier notablement en fonction du lieu mais aussi des habitudes de vie, ce qui peut conduire à des cancers spécifiques (tabac, alimentation par exemple).

³ Contrepoints Pr Artus (9 août 2015) : « 70^{ème} anniversaire des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki »

⁴ Dossier radon de l'IRSN - <https://www.irsln.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/Le-radon.aspx>

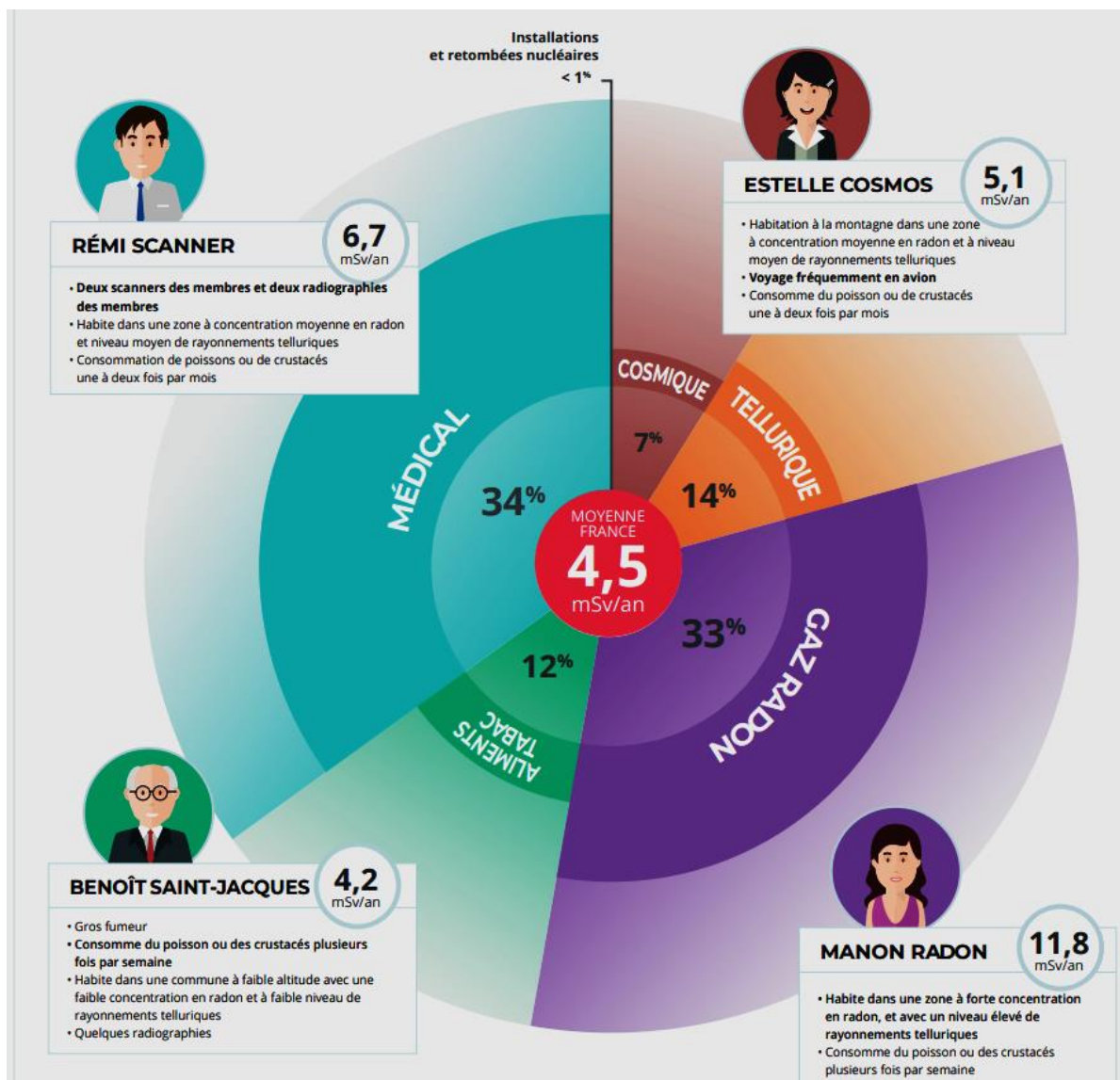
⁵ Gray (Gy) : énergie apportée par les RI de 1 joule par kg de matière

⁶ Elle est utilisée en radiothérapie pour établir la dose nécessaire pour stériliser une tumeur cancéreuse ; fréquemment quelques dizaines de Gy.

⁷ Sievert (Sv) : évaluation de l'impact des rayonnements sur l'homme = 1 Gy x Facteur lié au type de rayonnement x Facteur lié au tissu biologique

⁸ https://www.irsln.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Documents/info_exposition_population-V2021.pdf

⁹ Il s'agit des rayonnements telluriques, émis par les sols, et cosmiques, et du radon, gaz radioactif d'origine naturelle,



Dosimétrie annuelle en France (source IRSN, réf. 7)

Quant aux risques sanitaires des déchets nucléaires pour les générations futures, souvent objet d'inquiétudes, les travaux de recherche scientifiques de l'ANDRA sur le stockage géologique des déchets à vie longue permettent d'estimer précisément leurs impacts à long terme. Ils sont négligeables par rapport à la radioactivité naturelle et surtout absolument insignifiants par rapport aux multiples autres déchets toxiques chimiques, tant dans leurs volumes que par leurs impacts sur la santé¹⁰.

Concernant l'exposition professionnelle, d'après l'IRSN¹¹, seul un quart de l'effectif total des travailleurs¹² a été soumis aux RI en 2020, pour une dose ajoutée moyenne de 0,78 mSv. Seules 6 personnes ont dépassé la limite annuelle réglementaire de 20 mSv.

Pour donner un ordre de grandeur, la dose que reçoit l'astronaute Thomas PESQUET est de 1 mSv/jour, celle d'un patient qui subit un « scanner » en radiologie ou une « TEP-Scan¹³ » en médecine nucléaire, est de l'ordre de quelques dizaines de mSv, et celle de zones peuplées du monde à radioactivité naturelle élevée, notamment supérieures à 10 mSv par an (certaines régions de l'Inde, du Brésil, ...).

¹⁰ Voir les deux synthèses de PNC-France sur le stockage géologique : <https://pnc-france.org/cigeo-stockage-geologique-des-dechets-tres-radioactifs-responsables-protegeons-les-generations-futures/> et <https://pnc-france.org/le-stockage-geologique-des-dechets-radioactifs-sgdr-de-haute-activite-a-vie-longue-ha-vl-un-consensus-international/>

¹¹ https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Infographie-Exposition_travailleurs_2020.pdf

¹² soit 92373 personnes sur 387352 travailleurs en 2020

¹³ TEP : Tomographie par émission de positons – Scanner

5. Bénéfice ou risque du « Nucléaire » ?

Comme dans toutes applications c'est la balance « bénéfices/risques » qui doit déterminer l'utilisation, l'acceptation (ou pas) des risques encourus car le risque zéro n'existe pas. Malgré d'indéniables accidents, l'apport du nucléaire a révolutionné la pratique médicale et, dans le domaine industriel, les bénéfices l'emportent sur les risques qu'il s'agisse des aspects économiques, géopolitiques d'indépendance énergétiques, sanitaires et environnementaux (notamment en termes de réduction de la pollution et de ses conséquences).

Si les accidents font peur, et c'est naturel, il faut savoir comparer des événements, parfois dramatiques mais d'impact relativement local, et les impacts insidieux de pollutions généralisées, comme celles émises par les énergies fossiles ou des activités industrielles qui rejettent massivement leurs résidus dans l'atmosphère ou le milieu aquatique.

Deux accidents nucléaires ayant eu un impact environnemental étendu sont bien documentés, ceux de Tchernobyl et de Fukushima. Seul Tchernobyl a eu un impact sanitaire notable à cause des émissions radioactives. Les journalistes attribuent encore trop souvent, ce qui est inacceptable, les conséquences du tsunami de Fukushima (environ 16500 morts et disparus) à l'accident sur les réacteurs de la centrale nucléaire. Le bilan de la catastrophe de Tchernobyl a été dressé au niveau international par l'Organisation mondiale de la santé en 2006, avec la collaboration de centaines de laboratoires et équipes de recherche internationales et confirmé par l'UNSCEAR¹⁴ dans son rapport de 2008 (voir annexe). Bien que contestés par des études diligentées par des organisations antinucléaires, il faut savoir que ces travaux ont été publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture « peer reviewed » ce qui n'est pas le cas des contre-analyses. Des synthèses très claires peuvent être utilement consultées sur le site de l'IRSN pour Tchernobyl¹⁵ et Fukushima¹⁶.

Ces accidents, ainsi que l'expérience acquise dans l'exploitation des installations nucléaires, ont été pris en compte au titre du retour d'expérience et les installations nucléaires en France ont été largement renforcées. La doctrine française en la matière est claire : tout accident ne doit pas avoir de conséquences durables sur l'environnement, même immédiat¹⁷.

L'impact de l'industrie nucléaire, hors accidents, est aujourd'hui imperceptible. Comment ne pas le comparer à celui lié à la pollution de l'air par les énergies fossiles (cuisson et chauffages inclus) qui, selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS 2021 : publication sur les seuils de référence des principaux polluants atmosphériques), provoque dans le monde 7 millions de décès prématurés par an, dont 4,2 millions liés à la pollution extérieure¹⁸.

6. L'apport positif du Nucléaire

Malgré la présence de rayonnements ionisants, l'énergie nucléaire présente un bilan sanitaire clairement positif. D'après une étude fondée sur les données historiques de production d'énergie et l'estimation des émissions de gaz à effets de serre, près de 2 millions de décès prématurés ont été évités dans le monde par rapport à ceux qui auraient résulté d'un usage encore plus massif des énergies fossiles, et du charbon en particulier à la place du nucléaire ! Les auteurs jugent aussi que « l'utilisation sans contrainte du gaz naturel n'atténuerait pas le problème climatique et causerait bien plus de morts que l'expansion de l'énergie nucléaire ».

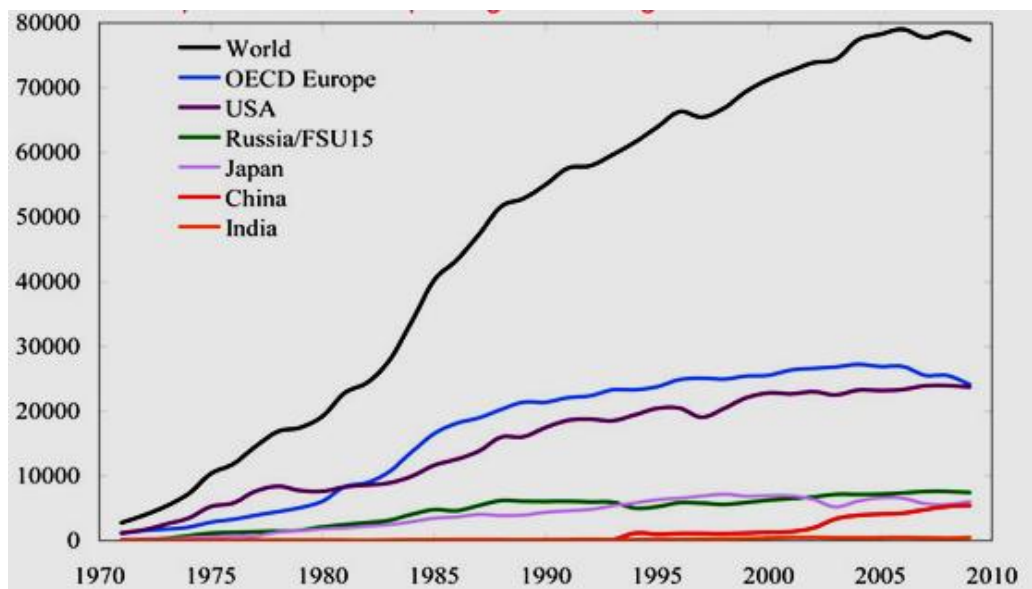
¹⁴ UNSCEAR : Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

¹⁵ Tchernobyl : https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20210421_NI-Tchernobyl-surete-installations-sites.aspx#.YWQK-xpByUk

¹⁶ Fukushima : https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Pages/20210203_NI-Fukushima-10-ans-etat-installations.aspx#.YWQLihpByUk

¹⁷ C'est ainsi que sont mis en place des moyens dédiés indépendants de réfrigération des cœurs s'ils sont détruits, des filtres, en particulier pour le césium, des moyens de recombinaison de l'hydrogène émis. Quatre équipes de secours opérationnelles en permanence peuvent intervenir sur tout site en moins de 24 h pour relayer les équipes locales, avec leur matériel.

¹⁸ <https://www.who.int/fr/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>



Nombre de décès prématurés évités annuellement par l'énergie nucléaire dans le monde de 1970 à 2010¹⁹

Et ces chiffres devraient être largement révisés à la hausse sur la base des dernières données de l'OMS.

Beaucoup de chemin reste à faire : la production mondiale d'électricité à partir des énergies fossiles poursuit sa croissance, qui a été de 13,6 % de 2010 à 2019. Il n'est pas possible d'ignorer non plus les besoins d'un monde dont la population a triplé en seulement 70 ans alors que l'impact climatique des énergies fossiles rend aujourd'hui urgente une décarbonation de notre société.

Conclusion

Si la filière nucléaire présente des risques, comme d'autres activités industrielles, ceux-ci sont particulièrement bien évalués, et strictement encadrés. Il serait inexcusable de ne pas comparer ses bénéfices, évidents, aux risques induits. Par unité d'énergie produite le nucléaire se compare favorablement, sur tous les critères, aux autres énergie décarbonées, énergies renouvelables comprises. C'est ce qu'ont montré les études conduites à la demande de la Commission européenne²⁰. L'énergie nucléaire est et restera d'autant plus indispensable que la voie vers un monde décarboné ne peut passer que par un recours prioritaire à une électricité décarbonée dont la disponibilité est garantie. L'Agence Internationale de l'Energie estime que 80 % de l'énergie utilisée dans le monde pourrait passer par le vecteur électrique en 2100. Il serait dommageable pour notre pays qu'il perde sa compétence, son dynamisme (révélé par le Grand Carénage de son parc actuel). Le nucléaire, propre, durable et bien encadré mérite un soutien fort de l'Etat, et ce n'est pas la médecine qui le contredira.

¹⁹ Pushker A. Kharecha, and James E Hansen *Environ. Sci. Technol*, Publication. Downloaded from <http://pubs.acs.org> on April 4, 2013

²⁰ Dans le cadre de la sélection des technologies éligibles aux financements durables, via la taxonomie

Annexe

Accidents de la Production électrique Nucléaire

(rapports UNSCEAR 2011⁹ et note d'information IRSN 2021¹⁰)

Three Mile Island (Pennsylvanie), (1979) : aucun décès, aucune victime directe.

Tchernobyl, (avril 1986) : pour information, rappelons que la catastrophe résulte d'une conception singulière du réacteur, potentiellement instable, et d'un défaut notoire de culture de sûreté.

- 28 décès en 1986, 33 depuis dont 19 d'irradiation aigue,
- 7 000 cancers de la thyroïde chez enfants (15 décès cumulés en 2006),
- pas plus de cancers identifiés chez les 530 000 liquidateurs que chez les 6 400 000 habitants de zones contaminées : il n'y a pas eu d'augmentation de cancers statistiquement constatée,
- par contre des conséquences psycho-sociales majeures résultant d'un état de Santé dégradé (impacts indirects importants, difficilement chiffrables). Le constat est que la gestion de crises post-accidentelles doit prendre en compte l'ensemble des risques, y compris ceux qui résultent des impacts psycho-sociaux de son application.

Fukushima (11 mars 2011) : la catastrophe résulte d'un tsunami exceptionnel , mais aussi d'une erreur humaine inexcusable, la sous-estimation initiale des critères de sûreté vis-à-vis du séisme, pourtant corrigée bien avant l'accident, n'a pas été prise en compte par l'exploitant, ni exigée par l'Autorité de sûreté.

- Pas un seul décès « radiologique »²¹ alors que le tsunami a provoqué plus de 16 500 décès et disparus,
- Sur la population, pas d'effets précoces, les doses « thyroïde » chez les enfants n'ont pas atteint 10 mSv,
- Parmi les intervenants sur la centrale : 9 irradiés avec des doses supérieures à 100 mSv, dont deux, avec un maximum de 680 mSv, pouvant entraîner de possibles cancers ??
- Le nombres de victimes (morts prématurées) dues au stress lié au déplacement des populations autour de Fukushima serait estimé à 2260 environ (ministère de la santé du Japon , mai 2020).
- Mais que dire des impacts indirects sur la santé des 160 000 personnes déplacées suite au tsunami, environ 1500 décès prématurés, qui s'ajoutent aux 16 500 morts et disparus ... RIEN ?
- La pollution radioactive est gérée, mais qu'en est-il de celle résultant des produits chimiques dispersés par le tsunami qui a dévasté de nombreuses zone industrielles?

²¹ Quelques cancers « administratifs », c'est-à-dire reconnus sans qu'une relation claire entre exposition et cancer n'ait été établie, ont cependant été acceptés par l'administration japonaise parmi les intervenants sur le site