

Compte-rendu de la conférence du 24 janvier 2013

Accidents nucléaires : quels risques pour la santé ?

par **Roland MASSE**

Membre de l'Académie des Technologies et de l'Académie de Médecine

En cette période de débat sur la « Transition énergétique », le rôle à venir de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité est toujours controversé. Si les accidents graves sont fréquemment discutés et leurs risques évalués, leurs conséquences sur la santé publique font rarement l'objet d'exposé présentant de façon rigoureuse les bases scientifiques et les résultats déduits de l'expérience acquise.

C'est à un tel objectif que s'attache la conférence de Roland Masse, dont la carrière, tant au CEA que dans les organismes scientifiques et réglementaires nationaux et internationaux, a été tout entière consacrée à ce domaine.

Ce compte-rendu passe en revue les sujets traités par Roland Masse. Il ne constitue pas un résumé de son exposé et ne remplace pas la consultation des transparents projetés.

1 – Les accidents majeurs des centrales nucléaires

Dans les 40 dernières années, on a dénombré dans les centrales électronucléaires **3 accidents graves** avec fusion, partielle ou totale, du cœur du réacteur : Three Miles Island (TMI) aux Etats-Unis en 1979, Tchernobyl en URSS (Ukraine) en 1986 et Fukushima au Japon en 2011.

Pour limiter l'exposition des populations aux Rayonnements Ionisants (RI), de **vastes plans d'évacuation** ont été mis en œuvre, concernant un nombre de personnes voisin de : 200 000 à TMI, 350 000 à Tchernobyl et 89 000 à Fukushima (sur un total de 400 000 personnes évacuées). Dans un contexte de forte désorganisation, due à l'impréparation des Autorités à Tchernobyl et à la gravité des répercussions du raz de marée au Japon, de telles opérations peuvent avoir un coût sanitaire élevé qui s'ajoute à l'effet éventuel des rayonnements ionisants ; c'est effectivement ce qui s'est produit en URSS.

Le déplacement de population vise à réduire :

- l'irradiation externe par le passage du panache contenant des gaz rares et par les dépôts au sol ;
- la contamination interne, par inhalation d'iode dans le premier mois puis de césium, ensuite par contamination de la chaîne alimentaire par les dépôts au sol.

2 – Le bilan des rejets radioactifs et de l'exposition des populations

A **TMI** les rejets d'éléments radioactifs dans l'environnement ont été particulièrement limités, leur confinement ayant été assuré efficacement par les barrières successives de la cuve du réacteur et de l'enceinte du bâtiment réacteur. Cependant le panache dégagé ayant été pris en compte dans une zone de 50 miles autour de la centrale, près de 2 millions de personnes ont été considérées concernées mais pour une dose reçue minimale : 0,016 mSv en moyenne, soit 1/100 de l'irradiation naturelle locale. Quant aux intervenants sur le site, ils n'ont pas subi de dose supérieure à la limite réglementaire de 50 mSv(1).

C'est à **Tchernobyl** que les rejets et l'exposition des populations ont été les plus importants. L'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee for Evaluation of Atomic Radiations) a établi les bilans suivants :

- les rejets en TBq(2), 1 500 000 d'iode 131 et 85 000 de césium 137 ;
- les doses,

	thyroïde mSv	effective mSv	collective homme.Sv
530 000 Liquidateurs (intervenants)		117	61 600
115 000 Evacués	490	31	3 600
6 400 000 Habitants des zones contaminées	100	9	58 900

A **Fukushima**, l'UNSCEAR fournit des estimations de rejet près de 10 fois inférieures à celles de Tchernobyl ; toutefois l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN) a revu ces valeurs à la hausse d'un facteur 3 pour l'iode et 5 pour le césium. Par ailleurs une protection attentive des travailleurs, une contamination réduite par un régime des vents favorable et des mesures de protection des populations gérées efficacement ont contribué à limiter les doses reçues par les personnes exposées:

	dose collective homme.Sv	
20 115 Intervenants	240	(doses en mSv, moyenne 12, maximale 680)
Population	~ 4 400	(dose à la thyroïde chez les enfants faible ; peut-être atteint-on dans le sud 100 mSv, valeur non confirmée)

(1) 1 Sv, Sievert, caractérise l'effet biologique d'une dose de 1 Gy – 1 Gray, énergie déposée de 1 J/kg de matière irradiée– pondérée selon la nature du rayonnement et selon le tissu biologique exposé.

(2) 1 Bq, Becquerel, caractérise la radioactivité liée à une désintégration/s.

3 – Les conséquences sanitaires de ces expositions aux rayonnements

Les conséquences sanitaires dues à l'irradiation qui sont considérées ici constituent une partie seulement des effets sur la santé publique d'un accident nucléaire majeur. Les répercussions secondaires peuvent s'avérer considérables, suite aux déplacements de population, au stress post traumatique, à la désorganisation du système de soins, etc. Sans les ignorer, il faut se garder de les attribuer à l'exposition aux radiations. Les effets sanitaires évalués sont ceux pour lesquels existe une relation dose de rayonnement-effet sur la santé.

A **TMI**, aucun **impact sanitaire** n'a été constaté.

A **Tchernobyl**, on a enregistré des **pathologies sévères** dans différents groupes de la population :

- parmi les 600 « liquidateurs » présents sur le site,
 - . 237 ont présenté des symptômes de syndrome d'irradiation aiguë (ARS Acute Radiation Syndrome) à plus de 1 000 mSv, 28 en sont décédés ;
 - . une augmentation du nombre de cataractes a été notée, dès une dose inférieure à 1 000 mSv ;
 - . les perturbations des constantes hématologiques observées disparaissent lentement ;

au-delà de ces pathologies, dans ce groupe,

- . depuis 1986, on a constaté 33 décès et 5% de cancers (jusqu'en 2008) dont la cause radio-induite ne peut être démontrée ;
- . ces personnes ont engendré des enfants sans malformations ni effets génétiques dus à l'irradiation subie par un de leurs parents ;

- parmi les personnes exposées jeunes, on a enregistré une augmentation forte et précoce des cancers de la thyroïde, 7 000 cas au total jusqu'en 2008.

En dehors de ces dommages, on n'a pas identifié d'effets sanitaires attribuables à l'exposition aux rayonnements :

- . pas d'excès établi d'autres cancers (des alertes non confirmées concernent des leucémies et des cancers du sein) ;
- . pas d'excès de pathologies, notamment cardio et cérébro-vasculaires ;
- . pas d'excès de malformations chez les descendants.

Le mauvais état sanitaire de la population provient plus sûrement des conséquences de l'accident, entraînant une dégradation des conditions de vie et du système de soin.

Les effets à long terme, tels que l'apparition de cancers et de leucémie, sont estimés sur la base d'études épidémiologiques. La modélisation du risque atteint là ses limites de validité. L'évaluation devient controversée quand elle concerne l'éventualité de quelques pour cent de décès supplémentaires dus à ces pathologies (de 100 à quelques milliers de décès en excès ?).

A **Fukushima**, les **conséquences sanitaires** seront **très limitées**, tant pour les intervenants sur le site que pour la population. Dans un domaine où les effets de l'irradiation ne sont plus avérés, quelques centaines de décès pourraient être attribuables à l'exposition aux rayonnements.

L'estimation pertinente des dommages subis et des risques encourus rend nécessaire le recours à une approche scientifique qui s'appuie sur les connaissances et les capacités de prédiction acquises. Celles-ci sont indispensables à l'appréciation des effets des faibles doses.

4 – Etat des connaissances et appréciation des risques

Aujourd'hui, des corrélations dose-effet sont prouvées pour les doses élevées ajoutées à l'irradiation naturelle, schématiquement, à partir de 100 mSv (l'irradiation naturelle moyenne est 2,4 mSv, soit 200 mSv sur la vie). Le tableau suivant présente des relations bâties essentiellement sur des études épidémiologiques :

(mSv)	Exposition aiguë (mSv)	Exposition chronique
Dose létale 50 (50% de décès)	> 4 000	> 7 000
Syndrome d'irradiation	aigu > 700	chronique > 500 (?)
Pathologies dégénératives	> 500	> 500
Cancer	> 100	> 100
Effets sur le fœtus	> 100	non établis
Effets héréditaires	non établis	non établis

4.1 Les études épidémiologiques

Les **sources sont nombreuses et particulières**, provenant : de Hiroshima et Nagasaki (HN) ; des expositions médicales ; de la radio contamination notamment par le radon... ; de la vallée de la Techa en Russie (où ont été déversés les déchets de retraitement des matières nucléaires destinées aux armes soviétiques). Ainsi à HN, 60 ans après, on a identifié environ 5% de cancers radio-induits, 437, sur les 8 180 cancers observés dans la population suivie (86 600 personnes) ; dans la vallée de la Techa, on en a décompté 2 %.

Les accidents de Tchernobyl et Fukushima apportent et apporteront la contribution des études déjà engagées.

Mais **pour les faibles doses, l'épidémiologie atteint ses limites**. Les risques faibles qui leur sont associés nécessitent des cohortes très nombreuses, allant jusqu'aux dizaines de milliers de personnes et plus, étudiées pendant des années, voire des dizaines d'années, pour établir d'éventuelles corrélations. L'absence même de preuve d'un lien cause-effet ne vaut pas démonstration de l'inexistence de cette relation. La charge de la preuve doit être apportée par la défense !

Faute d'argument provenant de travaux extérieurs au domaine épidémiologique, on peut être conduit à employer à faible dose des relations directement semblables à celles établies à forte dose, c'est la Relation Linéaire Sans Seuil, RLSS (LNT Linear No Threshold). Mais de nombreuses observations démentent les résultats ainsi déduits.

Aucune observation n'a pu montrer de détriment pour les habitants de zones à forte irradiation naturelle allant jusqu'à 10 fois l'irradiation moyenne (Kerala, Yangjiang...). D'autres études épidémiologiques contredisent la RLSS. Les recherches conduites sur le comportement des cellules et des tissus apportent des résultats scientifiques incontournables pour maîtriser l'évaluation des risques et les mesures concrètes de santé publique.

4.2 Les effets biologiques des faibles doses

Depuis les années 1990, les avancées enregistrées dans la connaissance des mécanismes biologiques liés à l'irradiation des tissus ont remis en cause les modèles justifiant la RLSS.

La RLSS implique pour la cellule des hypothèses admises depuis les années 1950 : d'une part une probabilité constante de mutation génétique indépendante de la dose et du débit de dose, d'autre part l'indépendance de la cellule vis-à-vis des cellules voisines dans le tissu.

Les études comparatives récentes ont montré que les dommages sur l'ADN dus à l'irradiation sont de même nature que les dommages dus aux radicaux oxydants produits par le métabolisme cellulaire ; par contre, ces effets se produisent en proportion différente. Ainsi on peut mentionner, comme illustration, les données suivantes :

Dommages	Endogènes/cellule/jour	Radio-induits/Gy
Cassures simple brin	10 000 à 55 000	1 000
Cassures double brin	8	40

Les phénomènes biologiques élémentaires qui sous-tendent la RLSS ne sont pas éliminés mais **la réalité s'avère plus complexe** :

- . les effets à long terme dépendent de la dose et du débit de dose et se différencient par les gènes impliqués ;
- . pour les très faibles doses, il n'y a pas réparation de l'ADN, mais apoptose, suicide cellulaire programmé par apparition de génome anormal ;
- . des mécanismes de réparation à faible dose interviennent et assurent une protection « adaptative » plus efficace en cas d'exposition à de fortes doses (effet d'hormesis) ;
- . des phénomènes de proximité (bystander) ont été observés, le comportement d'une cellule étant influencé par l'état des cellules voisines du même tissu, construisant un réseau d'informations partagées ;
- . d'autres phénomènes interviennent encore.

Tous ces mécanismes biologiques sont influencés par la dose reçue dans les tissus. Etant donnée la complexité des processus en jeu, **une réponse linéaire** proportionnelle à la dose est **improbable** et la monotonie même de la courbe de réponse n'est pas assurée (3).

5 – Radioprotection et relativité du risque

5.1 Etablir les normes de radioprotection

Les **normes de radioprotection** visent à minorer les risques. Par précaution et aussi par simplicité, la notion de relation sans seuil a parfois été conservée en arrière plan. Mais plus généralement, la radioprotection suit une politique de **pondération des risques** ; en situation normale, on s'efforce d'appliquer une limite de dose aussi basse qu'il est raisonnablement possible (principe ALARA As Low As Reasonably Achievable).

(3) Un exposé plus complet et plus approfondi des effets des faibles doses fait l'objet du document de Roland Masse « Faibles doses : enjeux et réalités, nécessité de la recherche »

Le tableau ci-dessous donne des valeurs actuelles :

Situation	Public	Professionnels-Intervenants
Normale-Planifiée	< 1 mSv	< 20 mSv
Accidentelle-Urgente	< 100 mSv/an	< 100 à 300 mSv, aigu

5.2 Comparer les risques

L'utilisation de l'énergie nucléaire est l'objet de controverses quant aux **risques sanitaires** qu'elle entraîne ; les **comparer aux risques liés à d'autres sources d'énergie** fournit une vision complémentaire. Celle-ci contribue à une appréciation relative des divers modes de production d'énergie.

Pour l'énergie nucléaire, le bilan global que l'on peut en dresser, depuis 1950, montre :

- . quelques centaines de décès par irradiation aiguë ;
- . environ 10 000 cancers en excès (du poumon chez les mineurs d'uranium, 2 620 dont 45 en France – de la thyroïde, 7 000 à Tchernobyl – différents cancers et leucémies chez des professionnels et intervenants, quelques centaines) ;
- . dans une hypothèse extrême d'extrapolation linéaire, pourraient se manifester quelques dizaines de milliers de cancers latents et non identifiables dans les populations.

Toute utilisation d'une source d'énergie induit un coût sanitaire. En se limitant à la production d'électricité, les différentes sources sont situées en valeur relative, sans prise en compte des effets environnementaux des gaz à effet de serre. Sur la base du nombre de décès/TWh, les écarts mis en évidence sont suffisamment marqués pour être significatifs :

- . énergie nucléaire, hydraulique et éolien sont proches ;
- . charbons et pétrole montrent des taux de décès 10 à 30 fois supérieurs ;
- . gaz et biomasse sont intermédiaires, avec un facteur 5 à 10.

Il apparaît ainsi que l'énergie nucléaire est, avec les énergies hydrauliques et éoliennes, l'énergie dont le coût sanitaire est le plus bas.