CHAPITRE 3

La radioprotection : un guide sur les objectifs à atteindre

André Aurengo et Roland Masse

PLAN DU CHAPITRE

- 1 Quelques notions de base
 - 2 Effets déterministes
 - 3 Effets aléatoires
 - 4 Cas de l'embryon et du fœtus
 - 5 Risques psychosociaux en cas d'accident
 - 6 Réglementation de la radioprotection
 - 7 Démantèlement : principes de la radioprotection
 - 8 Démantèlement : la question des très faibles activités (TFA)
- Conclusion : ne pas oublier l'essentiel...

Les mesures de radioprotection dans le cadre du démantèlement d'une centrale nucléaire comportent de nombreux points communs avec la radioprotection en général, qu'il s'agisse du domaine industriel ou médical, et des points spécifiques liés au volume des déchets à prendre en charge et, pour la plupart, à leur faible radioactivité.

Après avoir rappelé les notions de base sur les effets des rayonnements ionisants, nous détaillons l'impact sanitaire du démantèlement d'un CNPE¹ pour les travailleurs et la population, et remplaçons les effets des rayonnements ionisants dans le cadre des risques sanitaires de la production d'énergie.

1 | Quelques notions de base

Les émissions radioactives sont des rayonnements ionisants (RI), sous forme de particules alpha (noyaux d'hélium) ou bêta (électrons) ou bien de photons gamma. Leur énergie est suffisante pour arracher des électrons aux molécules d'eau (constituant majeur de notre organisme) ce qui, par une succession de réactions, aboutit à des molécules à fort pouvoir oxydant qui peuvent endommager les molécules biologiques, notamment l'ADN de nos chromosomes.

L'exposition aux rayonnements ionisants émis par une substance radioactive est dite *exposition externe* quand la source est séparée de l'organisme, *contamination externe* si elle se trouve sur la peau et *contamination interne* si elle est ingérée ou inhalée.

L'activité. L'émission d'une substance radioactive est quantifiée par le nombre de désintégrations radioactives par seconde, appelé *activité* et exprimée en becquerels² (Bq). Un homme de 80 kg a une activité d'environ 10 000 Bq, un kilo de briques 800 Bq, un litre de lait 50 Bq, un litre d'eau de mer 20 à 40 Bq et un gramme de radium 37 milliards de Bq. Cette valeur est appelée un *curie*.

Pour quantifier la quantité de rayonnements ionisants reçue par un organisme, on utilise deux unités différentes.

La dose absorbée, unité de la physique classique, correspond à l'énergie d'un rayonnement ionisant absorbée par unité de masse de la « cible ». Elle s'exprime en grays³ (Gy) et est très utilisée en radiothérapie.

La dose efficace, exprimée en sievert (Sv) ou millisievert (mSv) est la somme des doses absorbées calculées pour chacun des organes exposés

¹ CNPE : Centre nucléaire de production d'électricité (centrale nucléaire).

² 1 becquerel = 1 désintégration par seconde.

³ 1 gray = 1 joule par kilogramme.

à un rayonnement ionisant. Pour chaque organe, cette dose est multipliée par un *facteur de pondération radiologique* qui tient compte de la nocivité relative des différents types de rayonnements ionisants, et par un *facteur de pondération tissulaire* qui exprime la sensibilité particulière de l'organe considéré aux rayonnements ionisants pour les effets cancérogènes (et génétiques pour les gonades). Ces facteurs de pondération sont estimés par la CIPR⁴ et régulièrement actualisés selon l'évolution des connaissances.

Le facteur de pondération radiologique est égal à 1 pour les rayonnements ionisants bêta et gamma, à 20 pour les particules alpha. Le facteur de pondération tissulaire est, par exemple, égal à 0,04 pour la thyroïde. La dose efficace a été introduite pour les besoins de la radioprotection car elle permet d'additionner les doses reçues par différentes régions du corps. Elle reflète approximativement le risque des doses supérieures à 200 mSv mais ne permet de quantifier le risque des faibles doses (< 100 mSv) qu'à condition de faire l'hypothèse non vérifiée de la réalité de ce risque.

Quelques exemples : la dose efficace annuelle pour un Parisien est d'environ 2,5 mSv. Elle atteint 5,5 mSv à Clermont-Ferrand (du fait du radon) et plusieurs dizaines de mSv par an dans certaines régions du monde. Pour une exposition brève de tout l'organisme, on observe des signes cliniques à partir d'environ 700 mSv et une dose de 10 000 mSv est mortelle.

Pour évaluer l'exposition globale d'un groupe de personnes effectuant une tâche donnée (par exemple les personnes effectuant telle ou telle étape du démantèlement d'un CNPE), on utilise la notion de **dose collective** exprimée en homme × sieverts. Cette dose ne renseigne que sur le « fardeau dosimétrique » à gérer. Les doses individuelles dépendent évidemment de la tâche particulière de chacun ; elles sont *a priori* plus faibles si l'effectif est plus important.

Les effets des rayonnements ionisants sur les êtres vivants ont fait l'objet d'un nombre considérables de travaux en biologie, expérimentation animale et épidémiologie. Selon leur mécanisme et leur délai de survenue après une exposition aux RI, ces risques peuvent être classés en deux groupes bien différents : déterministes et aléatoires.

2 | Effets déterministes

Les effets déterministes résultent d'une destruction massive de cellules de l'organisme par une exposition à de fortes doses de RI. Cette destruction peut dépasser les capacités, variables selon les tissus, de renouvellement

⁴ CIPR : Commission internationale de protection contre les rayonnements ionisants.

des cellules détruites. Ces effets sont précoces, ils ne surviennent jamais au-dessous d'une certaine dose et sont toujours observés au-delà d'une dose seuil.

Les irradiations massives et globales de l'ensemble du corps supérieures à 700 mSv entraînent un *syndrome aigu des rayonnements*, caractérisé par des prodromes⁵ peu spécifiques (nausées, vomissements, diarrhée, fatigue, malaises). Pour les expositions les plus fortes, la mort peut survenir après un temps de latence d'autant plus court que la dose reçue est plus élevée :

- au-delà de 20 Sv, la mort survient en quelques heures par œdème cérébral aigu ;
- entre 10 et 20 Sv, la mort survient en une semaine environ, par destruction de la couche de cellules qui tapissent le duodénum et l'intestin grêle ;
- entre 3 à 10 Sv, la mort peut survenir en quelques semaines par aplasie médullaire⁶. Dans ce cas, un traitement précoce en centre spécialisé peut sauver la personne irradiée.

Pour des expositions localisées, des effets déterministes sont également observés. Une irradiation des gonades entraîne une stérilité définitive à partir de doses uniques de 3 à 5 Gy chez l'homme et la femme. Une irradiation de l'œil en un temps bref entraîne une cataracte à partir de 0,5 Gy. Pour une irradiation de la peau, on note une rougeur (érythème) à partir de 3 à 5 Gy mais des doses supérieures à 10 Gy sont nécessaires pour conduire à une desquamation. Une irradiation massive de la peau peut être mortelle si son étendue est importante.

La susceptibilité des tissus aux effets déterministes des rayonnements ionisants dépend donc de l'organe considéré, mais également de facteurs individuels, notamment ceux impliquant des défauts héréditaires des systèmes de réparation des tissus irradiés.

L'irradiation de l'embryon et du fœtus *in utero* à des doses supérieures à 100-200 mSv peut entraîner des malformations congénitales non transmissibles à la descendance. Le risque est maximal cinq semaines après la conception. La période comprise entre la huitième et la quinzième semaine de gestation correspondant à la maturation du cerveau est associée à un risque de retard mental après irradiation supérieure à 200 mGy ; 1 Gy au cerveau entraîne une perte d'environ 30 points de QI.

⁵ Prodromes : signes annonciateurs d'une maladie.

⁶ Atteinte de la moelle osseuse entraînant un effondrement du nombre des cellules du sang.

Les effets des fortes doses de rayonnements sur les tissus ne sont pas toujours nocifs. L'irradiation des tissus cancéreux est utilisée avec des résultats thérapeutiques remarquables chez des dizaines de milliers de patients porteurs de cancers, chaque année.

3 | Effets aléatoires

Les effets « aléatoires » des rayonnements ionisants sont tardifs. Chez les survivants d'Hiroshima-Nagasaki, des leucémies ont été observées avec une incidence maximale huit à dix ans après les bombardements ; les cancers solides sont apparus au bout de dix ans. Chez l'adulte, ces effets n'ont jamais été observés pour des doses inférieures à 100-200 mSv. Ils se produisent apparemment au hasard, avec une probabilité de survenue croissante avec la dose. Quand ils se produisent, leur gravité ne dépend pas de la dose responsable.

Figure 3.1

Incidence des cancers radio-induits après une explosion atomique.

Ces effets sont essentiellement des cancers dits « radio-induits », leucémies ou cancers solides pouvant toucher pratiquement tous les organes. Par exemple :

- les cancers cutanés, autrefois très fréquents chez les radiologues et les manipulateurs de radiologie (fréquence considérablement réduite par les mesures de radioprotection) ;
- les cancers thyroïdiens, très fréquents après une irradiation cervicale avant l'âge de 15 ans, par radiothérapie ou contamination par des isotopes radioactifs de l'iode ;

- les sarcomes osseux après ingestion d'émetteurs alpha à tropisme osseux ne surviennent que pour des doses supérieures à plusieurs grays. Un exemple historique tristement célèbre est celui des peintres de cadrans lumineux, qui utilisaient des peintures au radium avec des pinces dont ils affinaient l'extrémité en la portant à la bouche.

L'induction de cancer par les rayonnements ionisants a pour origine des lésions mal réparées de l'ADN, à l'origine de mutations cellulaires survenant dans des tissus plus ou moins perturbés par les doses reçues. On peut s'étonner de l'efficacité de nos défenses contre les lésions de notre ADN, mais celui-ci est soumis en permanence à de très nombreuses agressions, soit du fait des radicaux oxygénés qui résultent de l'utilisation de l'oxygène par nos cellules (métabolisme oxydatif), soit du fait de la radioactivité naturelle. Chaque jour, dans chacune de nos cellules, le métabolisme oxydatif est responsable de plusieurs milliers de cassures d'un brin de l'ADN et d'une dizaine de cassures touchant les deux brins. Et environ 50 cassures double brin se produisent à chaque division cellulaire. La vie serait impossible sans mécanismes physiologiques très efficaces pour réparer rapidement les dégâts créés à l'ADN. Ces mécanismes sont mis en jeu pour la réparation des lésions à l'ADN par les rayonnements ionisants ; cependant les lésions créées sont plus complexes que les lésions spontanées. La radioactivité naturelle ne contribue que très faiblement à augmenter le nombre total de lésions intervenant spontanément dans l'ADN.

La cellule ne subit pas « passivement » l'accumulation des lésions causées par les RI. Elle se défend tout d'abord en activant des systèmes enzymatiques qui éliminent les espèces actives de l'oxygène créées par l'irradiation et susceptibles d'endommager l'ADN, puis en activant des mécanismes inductibles de réparation des lésions créées au-delà des possibilités de prise en charge existantes :

- pour des faibles doses (inférieures à quelques dizaines de mGy), données à faible débit de dose, peu de cellules sont endommagées, et l'organisme privilégie leur élimination pure et simple, soit par absence totale de réparation (la cellule mourra à la mitose suivante) soit par déclenchement de l'apoptose (mort programmée de la cellule), éventuellement sous l'influence des cellules voisines. La mort des cellules empêche ainsi leur transformation ultérieure en cellule cancéreuse ;
- pour des doses et des débits de dose plus élevés, la proportion des cellules endommagées devient significative et les détruire aurait des conséquences fonctionnelles importantes. Les systèmes de réparation de l'ADN sont alors activés. Ces systèmes sont différents à faible dose et à forte dose, et proportionnellement plus efficaces contre les faibles

doses⁷. Ils permettent la survie cellulaire et préservent les fonctions des tissus, mais la réparation de l'ADN peut être imparfaite, avec des erreurs appelées « mutations radio-induites », transmissibles à la descendance de la cellule et qui peuvent conduire à un cancer, risque d'autant plus grand que la dose est plus élevée.

Aux processus de cancérogenèse ainsi induits font également obstacle des mécanismes efficaces de défense à l'échelle du tissu. Enfin, le système immunitaire est capable d'éliminer des clones de cellules présentant des mutations, comme le montrent les échecs des greffes de cellules tumorales ou l'augmentation du risque de cancer chez les sujets immunodéprimés.

Chez l'animal (drosophile, souris), de faibles doses de rayonnements ionisants entraînent une diminution de l'effet d'une forte dose ultérieure, probablement par activation de mécanismes de défense ; elles sont également à l'origine d'observations paradoxales témoignant d'une survie allongée et d'un effet protecteur contre des cancers apparaissant spontanément dans la souche concernée. Certaines données suggèrent, sans certitude, que ce phénomène appelé *hormesis* pourrait exister chez l'Homme.

4 | Cas de l'embryon et du fœtus

À dose égale, l'effet leucémogène d'une irradiation *in utero* est trois fois plus élevé que pour un adolescent ou un adulte. L'irradiation augmente également la fréquence d'autres cancers de l'enfant : lymphomes malins, néphroblastomes, tumeurs cérébrales, neuroblastomes. En cas de contamination par l'iode radioactif *in utero*, l'iode franchit la barrière placentaire et est concentré par la thyroïde fœtale à partir du troisième mois de grossesse. Le risque de cancer thyroïdien papillaire est dans ce cas augmenté à partir d'environ 100 mGy à la thyroïde.

Chez l'animal, les rayonnements ionisants augmentent la fréquence des malformations héréditaires, transmissibles à la descendance, dues à des mutations touchant des ovules ou des spermatozoïdes. Dans l'espèce humaine, de tels effets n'ont jamais été mis en évidence de manière statistiquement significative, que ce soit parmi les descendants des survivants d'Hiroshima et Nagasaki ou dans les régions du monde où la radioactivité naturelle entraîne des doses annuelles de plusieurs dizaines de mSv. Plusieurs quantifications de ce risque ont été proposées. Elles reposent sur des hypothèses invérifiables et sont, pour le moment, de simples spéculations.

⁷ C'est pourquoi utiliser les facteurs de risque établis pour de fortes doses pour estimer l'impact de faibles doses n'a aucune justification.

5 | Risques psychosociaux en cas d'accident

Enfin, en cas d'accident grave, il ne faut pas sous-estimer les risques « psychosociaux » indirects qui sont peut-être les risques sanitaires les plus graves.

Après Tchernobyl, environ 115 000 personnes ont été évacuées et ont perdu leur travail, leur habitation, leurs repères. Beaucoup ont souffert de dépression, sinistrose, addictions à l'alcool et au tabac, et la natalité a décliné notablement, faute de désir d'enfant. Le suicide est la première cause de décès chez les liquidateurs. Plusieurs dizaines de milliers de ces personnes déplacées n'auraient pas été exposées à des doses dangereuses en restant chez elles et c'est leur évacuation qui a nui à leur santé. Et le système de santé a été très perturbé par les contaminations et les conséquences économiques de l'accident.

À Fukushima, les évacuations ont été très rapides et ont touché environ 70 000 personnes. La CIPR⁸ a fixé à 20 mSv par an le seuil d'exposition auquel une évacuation était justifiée. Dans le cas contraire, l'évacuation n'est pas nécessaire et la CIPR recommande de diminuer l'exposition dans les années ultérieures, avec un objectif de 1 mSv par an ajouté à l'exposition naturelle. Cette mesure a évité des évacuations inutiles.

6 | Réglementation de la radioprotection

La réglementation de la radioprotection repose sur des directives européennes transposées en droit français.

Pour les personnes travaillant dans un contexte les exposant aux rayonnements ionisants, la dose efficace maximale ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois. Les expositions doivent être justifiées et maintenues « aussi bas que raisonnablement possible »⁹ (l'adverbe « raisonnablement » se prêtant à maintes interprétations...). Les dépassements observés concernent majoritairement des professions de santé (radiologie interventionnelle, dentistes, vétérinaires).

Pour le public, la dose s'ajoutant à l'exposition naturelle et résultant d'activités humaines ne doit pas dépasser 1 mSv sur douze mois. On remarquera que cette dose est inférieure aux variations de l'exposition naturelle aux rayonnements ionisants sur le territoire français.

⁸ Commission internationale de protection contre les rayonnements ionisants.

⁹ *As Low As Reasonably Achievable* : principe ALARA.

Pour les procédures médicales, diagnostiques ou thérapeutiques, aucune limite n'est fixée, mais les praticiens doivent se conformer aux bonnes pratiques édictées par leur profession, fondées sur la justification et le principe ALARA.

7 | Démantèlement : principes de la radioprotection

Dans le cadre du démantèlement, la radioprotection concerne les travailleurs sur site et le public, notamment vivant à proximité et sous le vent du CNPE en voie de démantèlement. La radioprotection doit être déclinée selon les spécificités de chaque chantier de démantèlement : réacteur à eau lourde, à eau pressurisée, à neutrons rapides ou situation post-accidentelle comme à Fukushima.

La radioprotection lors des opérations de démantèlement a fait, depuis trente ans, l'objet de nombreux rapports, colloques et échanges de retour d'expérience au niveau européen et mondial, notamment par l'AIEA¹⁰ et l'AEN¹¹ qui ont défini les grands principes et les objectifs. Grâce à cet effort, les activités de démantèlement sont bien comprises et relativement standardisées.¹²

L'objectif de la radioprotection va au-delà du simple respect de la réglementation, évidemment nécessaire, et comprend une analyse et une planification des différentes étapes du démantèlement, l'estimation de la dose collective et individuelle qu'elle représente pour les travailleurs et le public et la mise en œuvre de son optimisation, c'est-à-dire des moyens permettant de la maintenir aussi basse que raisonnablement possible. La protection doit être efficace pour les actions programmées, mais aussi pour les incidents prévisibles. Elle doit s'inscrire dans le cadre d'un pilotage intégré de toutes les opérations de démantèlement.

La mise en œuvre pratique repose sur des moyens classiques (délimitation, temps, distance, écrans, protection contre l'inhalation de poussières, tenue adéquate, vestiaires à double entrée, dosimétrie opérationnelle en temps réel, contrôles en sortie de chantier) ou plus spécifiques comme l'utilisation de techniques de télé-démontage et/ou de robots si nécessaire. L'information

¹⁰ Agence internationale de l'énergie atomique.
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1652web-83896570.pdf> (p. 6 et 11).

¹¹ Agence de l'énergie nucléaire.
<https://www.oecd-nea.org/jointproj/decom.html>

¹² Voir par exemple les standards publiés par l'ASTM (American Society for Testing and Materials)
<http://www.astm.org/Standards/E1167.htm>

et la formation des personnels et l'implication de la médecine du travail sont des éléments clés¹³.

La mise en œuvre de la radioprotection lors du démantèlement est très différente du cas, par exemple, de la radioprotection en arrêt de tranche. Elle fait appel à des personnels spécialement formés. Dans le cas du démantèlement, doivent être gérées des très grandes masses de déchets faiblement ou très faiblement contaminés par des radioéléments à vie longue, contrairement aux arrêts de tranche où doivent être gérées des quantités beaucoup plus faibles de déchets de beaucoup plus haute activité.

Les contaminants possibles sont très nombreux (115 radionucléides différents) ; ils peuvent entraîner une exposition externe et une contamination externe (cutanée) en général faciles à détecter et sans conséquence majeure (pour une irradiation de la peau, on note un érythème¹⁴ à partir de 5 Gy) mais aussi une contamination interne qui peut entraîner une exposition plus sévère. Pour certains contaminants, la toxicité radioactive s'ajoute à une toxicité chimique à prendre en compte. Par exemple, l'uranium naturel ou faiblement enrichi en U²³⁵ a une toxicité chimique touchant principalement les reins s'il est absorbé, et entraîne également une irradiation notable des poumons s'il est inhalé sous forme de poussière.

Le tableau suivant montre, par TWh¹⁵ produit, la répartition des doses collectives pour les différentes étapes du cycle du combustible nucléaire français. La dose collective du public est supérieure à celle des travailleurs, mais comme l'effectif public est beaucoup plus grand que celui des travailleurs exposés, la dose individuelle du public est beaucoup plus faible.

On constate que les doses collectives annuelles reçues par les travailleurs ou le public lors du démantèlement d'un CNPE, toutes étapes comprises, sont très faibles par comparaison avec les doses professionnelles ou publiques associées à d'autres étapes du cycle du combustible. Cela s'explique par la longue durée des opérations de démantèlement, la faible radioactivité de la plupart des déchets et les moyens de radioprotection mis en œuvre.

¹³ Voir par exemple :

<http://www.dounreay.com/UserFiles/File/health%20and%20safety/radiologicalprotectionarrangements.pdf>

http://www.eurosafe-forum.org/files/pe_316_24_1_sem3_4.pdf

¹⁴ Rougeur de la peau.

¹⁵ Térawatt x heure, soit l'énergie que produirait une source de mille milliards de watts pendant une heure.

Étapes du cycle	Dose collective homme.Sv/TWh		
	Public	Travailleurs	Total
Extraction et traitement	$1,8 \times 10^{-1}$ (1 %)	$1,1 \times 10^{-1}$ (32 %)	$2,9 \times 10^{-1}$ (2 %)
Conversion	$3,5 \times 10^{-5}$ (0 %)	$2,3 \times 10^{-3}$ (1 %)	$2,3 \times 10^{-3}$ (0 %)
Enrichissement	$2,7 \times 10^{-5}$ (0 %)	$8,3 \times 10^{-6}$ (0 %)	$3,5 \times 10^{-5}$ (0 %)
Fabrication du combustible	$9,2 \times 10^{-6}$ (0 %)	$7,1 \times 10^{-3}$ (2 %)	$7,2 \times 10^{-3}$ (0 %)
Production d'électricité	2,16 (17 %)	$2,0 \times 10^{-1}$ (58 %)	2,36 (18 %)
Démantèlement	$1,5 \times 10^{-4}$ (0 %)	$2,2 \times 10^{-2}$ (6 %)	$2,2 \times 10^{-2}$ (0 %)
Retraitement	10,3 (80 %)	$1,8 \times 10^{-3}$ (1 %)	10,3 (79 %)
Stockage déchets FMA ¹⁶	$2,6 \times 10^{-2}$ (0 %)	$1,0 \times 10^{-4}$ (0 %)	$2,6 \times 10^{-2}$ (0 %)
Stockage déchets HA ¹⁷	$1,4 \times 10^{-1}$ (1 %)	$6,0 \times 10^{-7}$ (0 %)	$1,4 \times 10^{-1}$ (1 %)
Transport	$9,5 \times 10^{-4}$ (0 %)	$1,1 \times 10^{-3}$ (0 %)	$2,1 \times 10^{-3}$ (0 %)
Total	12,8 (100 %)	0,34 (100 %)	13,1 (100 %)

Ces données peuvent être complétées par une comparaison des effets sanitaires (accidents, mortalité et morbidité) des principales techniques de production de l'électricité, en nombre de cas par TWh¹⁸.

	Accidents	Mortalité	Morbidité sévère*	Morbidité modérée**
Lignite	0,12	32,6	298	17 676
Charbon	0,12	24,5	225	13 288
Pétrole	0,03	18,4	161	703

¹⁶ FMA : faible et moyenne activité.
¹⁷ Haute Activité.
¹⁸ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17876910>

	Accidents	Mortalité	Morbidité sévère*	Morbidité modérée**
Biomasse	–	4,6	43	2 276
Gaz	0,02	2,8	30	9 550
Nucléaire	0,02	0,05	0,22	

* Hospitalisation pour affection respiratoire ou cérébrovasculaire, insuffisance ventriculaire gauche et broncho-pneumopathie chronique obstructive.

** Arrêts de travail, traitement bronchodilatateur, toux, aggravation asthme, bronchite chronique.

8 | Démantèlement : la question des très faibles activités (TFA)

Le tableau suivant détaille le mode de gestion réglementaire des déchets radioactifs.

Très faible activité (TFA)	TFA Stockés en surface au centre de stockage TFA de l'Aube	
Faible activité (FA)	FA + MA = FMA Stockés en surface au centre de stockage FMA de l'Aube.	FA – VL Centre de stockage à faible profondeur (15-200 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2020.
Moyenne activité (MA)		MA – VL Centre de stockage profond (500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.
Haute activité (HA)	HA Centre de stockage profond (500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.	
	Vie courte (VC : période ≤ 31 ans)	Vie longue (VL : période > 31 ans)

Note : les déchets contenant une quantité trop importante de tritium sont entreposés avant stockage afin de permettre la décroissance de ce radioélément (période 12 ans).

Les déchets du démantèlement d'un CNPE comprennent une masse considérable¹⁹ de déchets de très faible activité (TFA) dont l'activité n'est pas plus élevée que celle de matériaux naturels ou manufacturés utilisés couramment sans précaution « radiologique » particulière : terre, brique, béton, granit, métaux divers. La réglementation française oblige à gérer ces déchets comme ceux dits de faible activité (FA) qui présentent une radioactivité significative.

À titre d'exemple, le tableau suivant détaille la quantité estimée de matériaux issue du démantèlement de la tranche 3 de la centrale suédoise de Forsmark (REB de 1 000 MWe)²⁰.

	Matériaux radioactifs (tonnes) Mortalité	
Cuve sous pression du réacteur	760 (métal)	
Autres circuits contaminés	5 950 (métal)	
Béton	1 230	
Sable	1 050	
Déchets issus de l'exploitation	400	
Matériaux inactifs/décontaminés (tonnes) issues des turbines à vapeur		
Métaux	7 700	Y compris 3 000 tonnes environ issues des turbines à vapeur
Béton	229 500	

Il n'existe pas en France de « seuil de libération », c'est-à-dire de niveau de radioactivité au-dessous duquel un matériau est considéré comme banal et ne relevant plus de la réglementation des substances radioactives. Ce n'est pas la radioactivité calculée ou même mesurée qui est prise en compte mais l'historique : tout matériau, instrument, outil ayant séjourné dans un centre nucléaire est considéré comme radioactif... même après preuve du contraire.

¹⁹ Fin décembre 2010, l'Andra avait répertorié 360 000 m³ de déchets TFA qui représentaient 27 % du volume et moins de 0,01 % de la radioactivité totale des déchets radioactifs produits en France.

²⁰ <https://www.oecd-nea.org/rwm/wpdd-docs/RGN%204-2009-.pdf>

A contrario, suivant en général les préconisations de l'AIEA, de nombreux pays ont adopté, pour chaque élément radioactif, des seuils de libération dont la valeur garantit l'innocuité des substances considérées.

En dehors des aspects financiers, l'absence de seuils de libération en France conduit à s'interroger sur l'impact en santé publique. En effet, déplacer 200 000 à 300 000 tonnes de déchets sur des centaines de kilomètres, lors du démantèlement de chaque réacteur nucléaire arrivé en « fin de vie » n'est pas neutre en termes de pollution, de nuisances et d'éventuels accidents. Le coût pour la collectivité et les risques sont à mettre en balance avec un bénéfice sanitaire qui peut être considéré comme nul.

Conclusion : ne pas oublier l'essentiel...

On connaît les effets des rayonnements ionisants depuis un siècle et on en fait l'actualisation annuelle depuis 60 ans à l'ONU.

Les cancers radio-induits sont rares, ils ne sont observés qu'au-dessus de 50 à 100 mSv et leur fréquence augmente avec la dose délivrée. L'existence de pathologies non cancéreuses n'est pas établie au-dessous de 500 mSv. Il n'existe pas d'observation crédible attestant d'effets majorés lors d'exposition chronique.

On n'a jamais mis en évidence de malformation congénitale héréditaire chez l'homme après exposition aux rayonnements ionisants.

Il y a convergence quasi complète sur ces points entre les données épidémiologiques, quelle qu'en soit la nature (environnementale, accidentelle, médicale, professionnelle) et les données expérimentales.

L'impact dosimétrique des centrales nucléaires françaises sur la population est d'environ 10 à 15 μ Sv par an.

On ne peut pas calculer l'impact de faibles doses avec les coefficients dose-risque des fortes doses.

Les activités de démantèlement nécessitent une démarche de radioprotection rigoureuse et optimisée qui permet de maintenir la dose collective pour les travailleurs et le public à un niveau très bas.