

Ostéodensitométrie et Radioprotection

Pr Xavier MARCHANDISE, Lille

marchandise.xavier@free.fr

Les accidents du sang contaminé, de la vache folle ou des transplants hypophysaires n'étaient pas des hasards, et leurs graves conséquences sont bien établies. Mais, ébranlant la confiance et accélérant la judiciarisation, ils ont aussi fortement contribué à la dérive du principe de précaution transformé en politique d'ouverture de parapluies.

Tchernobyl n'était pas non plus un hasard, et l'étendue exacte de ses conséquences est incertaine encore. Mais l'accident a révélé l'inconscience généralisée du risque des rayonnements ionisants (RI). Formation et information sont essentiels pour savoir contrôler les risques sans avoir à renoncer aux avantages. Ici, l'information est simplifiée¹, les lecteurs se consacrant aux effets des rayonnements α sur la spermathèque du cafard allemand pourraient ne pas y trouver leur compte.

Par définition, un rayonnement est ionisant lorsque ses particules élémentaires sont capables de céder assez d'énergie à un électron périphérique pour l'arracher à un atome de la chimie organique (H, O, C ou N) et donc capables d'altérer les liaisons chimiques de nos molécules. Vu son abondance, la plus souvent altérée est la molécule d'eau qui se transforme en radical libre, à son tour oxydant vis-à-vis de molécules voisines. *In fine*, la plus à risque est l'ADN qui peut entraîner la mort cellulaire par effet direct ou par apoptose, interdire toute division ultérieure, ou laisser transmettre l'erreur génique aux cellules filles lorsque les mécanismes cellulaires de réparation sont mis en défaut.

A l'échelle humaine de la **physique**, l'unité classique d'énergie est le joule (J). Mais l'énergie délivrée sous forme de RI étant biologiquement très agressive, une énergie de 1 J/kg reçue sous cette forme s'exprime avec une unité spécifique, elle est de 1 gray (Gy). Ainsi, pour une énergie de 1 J/kg reçue par la peau et qui n'en élèverait la température que de 1/4000° de degré, si elle est délivrée sous forme de rayons X cette **dose absorbée** de 1 Gy développe une authentique brûlure. Le Gy est utilisé pour caractériser physiquement cette exposition localisée – ou non (pour les anciens : le gray remplace le rad dans le même rapport de 100 que le nouveau franc à l'ancien franc).

Les effets **biologiques** des RI dépendent d'abord de la concentration des ionisations organiques et donc des Gy. Mais ensuite, il faut distinguer effets déterministes et effets aléatoires.

Les **effets déterministes** ou précoces n'apparaissent qu'à partir d'une certaine densité d'ionisation et donc d'un seuil en Gy. C'est le cas entre autres des radiodermes et alopecies (dont on observe en radiologie interventionnelle le retour), des malformations néonatales lorsque le fœtus est exposé, des insuffisances de l'érythro-poïèse. Ils sont dus à la mort d'un trop grand nombre de cellules et aux réactions qui s'ensuivent. Les seuils dépendent des tissus mais, pour les rayons X, ils n'ont jamais été inférieurs à une dose absorbée de 0,1 Gy (limite des « faibles » doses).

Les **effets aléatoires** ou tardifs sont, chez l'homme, les cancers. Ils sont dus à une mutation génique ayant échappé aux mécanismes de réparation dont dispose normalement la cellule. Tous les tissus ne sont pas également sensibles, car ceux en rapide renouvellement exposent plus souvent leur matériel génétique : ainsi la moelle hématopoïétique ou la thyroïde de l'enfant. Pour rendre compte de cette variabilité tissulaire de l'efficacité biologique des rayons X, la dose absorbée en Gy est multipliée par la proportion de risque que représente le tissu exposé par rapport à l'ensemble du corps ; le résultat est la **dose efficace**, exprimée en sievert (Sv). Ainsi une dose absorbée de 1 mGy sur l'ensemble du corps (100 %) conduit à une dose efficace de 1 mSv ; tandis qu'une dose absorbée de 12,5 mGy aux seules gonades (proportion de risque de 8 %) délivre aussi une dose efficace de 1 mSv. La notation en sievert rapporte ainsi les risques d'irradiations localisées à une irradiation du corps entier ; elle est cumulative ; mais elle ne tient pas compte de tout, de l'âge par exemple. Le principe de précaution le plus étroit considère que c'est dès la moindre exposition que le risque de cancer augmente linéairement de 5% par Sv (effet linéaire sans seuil) ; il a ainsi été calculé que la pratique radiologique au Royaume Uni créerait 700 cancers par an. Mais on peut défendre avec au moins autant d'arguments un risque négligeable aux très faibles doses en arguant d'une efficacité parfaite des mécanismes cellulaires de réparation lorsque les ionisations sont localement rares.

Quelques repères de la notation en Sv

Exposition naturelle : 2,4 mSv par an (soit 6 μ Sv par jour), valeur moyenne d'une exposition obligatoire variable (en France de 1,5 à 6 mSv).
Vol New-York AR : 0,05 mSv (50 μ Sv)
Radiographie de thorax : 0,15 mSv (150 μ Sv)
Scanner cérébral : 2 à 4 mSv
Scanner abdominal : 6 à 20 mSv
Scintigraphie osseuse : 5 mSv
Manifestations cliniques lors d'une exposition du corps entier > 500 mSv.
Dose létale 50 lors d'une exposition du corps entier : 5 Sv.

La recherche récente sur les effets des RI a bénéficié des retombées de Tchernobyl (surtout des retombées politiques) : la fréquence de lésions d'ADN non radio-induites a été estimée à 2 à 3 par seconde et par cellule ; les mécanismes moléculaires de réparation ont été approfondis ainsi que ceux du déclenchement de l'apoptose, centrés sur la p53 ; il a été démontré que quelques mSv pouvaient entraîner des signaux dans les cellules irradiées, voire dans les cellules adjacentes épargnées ; des mécanismes d'adaptation de la cellule aux irradiations successives ont été mis en évidence ; on a identifié le génome d'une bactérie championne de la radiorésistance (DL50 = 15.000 Gy, bien plus fort que le cafard allemand) ; certains patients présentent une hyper-radiosensibilité particulière ; la bière aurait un effet protecteur. Bref, bien des inconnues subsistent, surtout aux faibles doses.

Et l'ostéodensitométrie dans tout ça ?

Cette exploration utilisant les RI, on ne peut donc pas se dispenser de l'analyser de ce point de vue. Avec la technique à double énergie de rayons X, la dose efficace peut bien être chiffrée, elle est limitée² : **3 à 10 μ Sv**, fonction des champs explorés, de la vitesse de balayage et de l'ampérage, etc. Des estimations de l'exposition localisée en Gy sont disponibles³. Chez les enfants, l'estimation en Sv est 30% à 50% moindre que chez l'adulte, à l'exception des hanches⁴.

Exemples de dose efficace (μ Sv) en ostéodensitométrie^{2 4}

| | | |
|--------------|------------------------------|------------|
| Corps entier | QDR 1000 adulte | 4,6 |
| | QDR 2000 adulte | 3,6 |
| | QDR 4500 1 an garçon/fille | 1,8 / 2,1 |
| Lombaire AP | QDR 2000 adulte | 1,8 |
| Lombaire lat | QDR 2000 adulte | 1,2 |
| Hanche | QDR 2000 adulte | 5,9 |
| | QDR 4500 1 an garçon / fille | 15,6 / 4,6 |
| Avant bras | QDR 1000 adulte | 0,07 |
| | QDR 4500 1 an | 0,03 |

Effets déterministes : l'exposition étant loin sous tous les seuils, aucun effet n'est possible ; mais il faudra pouvoir argumenter avec précision en cas d'exposition d'une femme enceinte (détermination de la dose, considération du champ concerné, date de la conception) sans négliger le risque de malformation spontanée (3 % hors toute irradiation).

Effets aléatoires : risque par image augmenté de l'ordre de la 366^{ème} journée d'une année bissextile ! On remarquera que les évolutions technologiques modifient les valeurs ; que la proximité des gonades a un effet très lisible ; d'autres données sont possibles mais tout cela revient à modifier la durée de la journée de l'année bissextile... En pratique, il est donc actuellement inutile d'y chercher un argument pour le choix d'un équipement : selon le principe de justification, il faut avant tout un résultat sinon exact, du moins reproductible.

Néanmoins, la vigilance s'impose, et la **réglementation** sur la radioprotection exige

- vis-à-vis du patient, que :
 - o son examen soit justifié au vu du problème médical posé et en absence de techniques alternatives validées non irradiantes ; il ne peut donc pas être réalisé sans prescription médicale ; mais, s'il est justifié, il peut être réalisé même chez une femme enceinte,

- son examen soit optimisé compte tenu du patient (protocoles enfants, réduction des champs),
- les personnes participant à l'exposition aient bénéficié d'une formation à la radioprotection des patients adaptée à leur exercice (attestation valable 10 ans, contrôlée par la DDASS),
- le compte-rendu fasse état de la dose émise : pour chaque protocole disponible, elle doit être fournie par le fabricant sous forme de dose à l'entrée en μGy ou du produit Dose x Surface en $\mu\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$, ce qui permet de remonter aux μSv ,
- vis-à-vis du personnel qu'il
 - travaille dans une zone surveillée le mettant à l'abri d'une exposition annuelle toujours inférieure à 6 mSv (une distance à plus d'un mètre du faisceau direct lors du fonctionnement du tube est généralement suffisante mais il faut pouvoir l'établir)
 - bénéficie d'une dosimétrie individuelle (trimestrielle de préférence),
- vis-à-vis du public, que :
 - l'installation de l'équipement soit déclarée auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, n'exposant pas le public à plus de 1 mSv par an.

Il est clair que ces contraintes (essentiellement liées à l'absence de seuil connu pour les effets aléatoires) sont surdimensionnées par rapport à la pratique radiologique classique et à la tomodensitométrie en particulier. Mais la radioprotection protège aussi du radiophotomaton.

¹ Cordoliani YS, Foehrenbach et coll. Radioprotection en milieu médical, Masson Ed, Paris, 2008

² Lewis MK, Blake GM, Fogelman I. Patient dose in dual X-ray absorptiometry. Osteoporosis Int 1994, 4 : 11-15

³ Philippon B, Duboeuf F, Itti R. Doses et ostéodensitométries : exemple du Lunar IQ et de l'Hologic 4500. J Radiol 2002, 83 (9-C1) : 1059-1061

⁴ Thomas SR, Kalkwarf HJ, Buckley DD, Heubi. JE. Effective dose of dual-energy X-ray absorptiometry scans in children as a function of age. J Clin Densitom. 2005, 8(4) : 415-422