

ETAT DES CONNAISSANCES DE L'IMPACT DU TRITIUM SUR LA SANTE

Laurence Lebaron-Jacobs

CEA - Direction des Sciences du Vivant
Protection Sanitaire contre les rayonnements ionisants et les toxiques nucléaires
CE Cadarache, Bât 177, 13108 Saint Paul Lez Durance

Le tritium (^3H) est un isotope radioactif de l'hydrogène de 12,3 ans de demi-vie. Emetteur bêta de faible énergie (énergie maximale de 18 keV et parcours moyen dans l'eau de 0,56 μm), il est considéré comme un élément de faible radiotoxicité. Le tritium, d'origine naturelle ou anthropogénique, existe sous forme d'eau tritiée (HTO), de tritium organiquement lié (OBT) ou de gaz tritié. Quelle que soit son origine, le tritium est extrêmement mobile au niveau de tous les systèmes biologiques et dans l'environnement, et s'échange avec les atomes d'hydrogène au sein de molécules biologiques (ADN, protéines...). Le faible parcours du bêta du tritium explique l'intérêt des études sur les effets microdosimétriques et sur la distribution des OBT au sein des tissus et des cellules.

L'eau de boisson et l'alimentation sont des sources en eau tritiée et en tritium organiquement lié. D'après la publication n°56 de la Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements ionisants (CIPR), l'apport alimentaire total en tritium est constitué d'environ 90% d'HTO et de 10% d'OBT (formes échangeables (échanges de l'hydrogène avec les groupements OH, SH...) et non échangeables). Compte tenu des sources d'OBT dans la biosphère, c'est l'ingestion qui apporte le tritium non échangeable (lié à un carbone par réaction enzymatique). De plus, la CIPR considère que les précurseurs organiques apportent 9 fois plus de tritium que l'eau tritiée. A partir des données métaboliques du tritium, la CIPR considère deux compartiments de « rétention » :

- l'HTO est rapidement transférée dans le sang en totalité : 97% reste sous forme d'eau tritiée et 3% passe dans le pool des OBT
- sur les 10 % d'OBT alimentaire, environ la moitié des OBT ingérés sont oxydés dans le tube digestif et produisent de l'HTO ; l'autre moitié est transformée en molécules organiques tritiées de petite taille pouvant traverser la barrière digestive et passer directement dans le sang.

Au final, après incorporation et transformation des molécules tritiées, on peut considérer qu'environ 9/10 est sous forme d'HTO et environ 1/10 sous forme d'OBT (échangeable et non échangeable).

Cependant, de nombreuses données sur l'homme et l'animal soulignent l'intérêt d'identifier un troisième compartiment pour les molécules tritiées à élimination lente (jusqu'à 350 jours de période), correspondant au tritium incorporé dans des structures biologiques (ADN) de tissus à renouvellement lent (OBT non échangeable). Un nouveau modèle biocinétique pour l'HTO est donc en cours de développement : il devrait avoir un faible impact sur le résultat des calculs de dose.

Pour estimer la dose reçue lors d'une incorporation de tritium, on utilise des coefficients de dose qui permettent de la calculer à partir de l'activité incorporée. Les coefficients de dose du tritium sont les plus faibles parmi ceux des radionucléides les plus fréquemment rencontrés dans l'environnement ($1,8 \cdot 10^{-11}$ Sv par Bq en cas d'ingestion d'eau tritiée et $4,2 \cdot 10^{-11}$ Sv.Bq⁻¹ pour les OBT). En 1978, la CIPR avait seulement pris en compte la forme HTO pour les travailleurs dans ses recommandations (Publication n°30), pour estimer les risques de cancers que peuvent représenter l'inhalation, l'ingestion ou l'absorption de tritium par la peau. En 1989, un ajustement de ces recommandations, prenant en compte les nouvelles données expérimentales, a été réalisé (Publication n°56) : pour la première fois, ont été développés un modèle pour OBT et des recommandations pour les membres du public, notamment pour l'enfant. Cependant, en l'absence de données spécifiques dépendantes de l'âge, les mêmes extrapolations que pour l'HTO ont été effectuées pour l'OBT chez l'enfant à partir de données obtenues chez l'adulte.

Pour l'instant, les modèles proposés par la CIPR restent adaptés à l'établissement de mesures de radioprotection dans la plupart des situations d'exposition professionnelle ou environnementale.

De plus, dans le domaine de la fusion, est également évoquée la question du tritium associé aux poussières générées dans les tokamaks. Les coefficients de dose associés au tritium contenu dans ces poussières pourraient être d'un ordre de grandeur supérieur aux coefficients de dose préconisés par la CIPR pour l'eau tritiée.

L'élimination du tritium chez l'adulte s'effectue selon les proportions et périodes respectives des trois composantes suivantes :

- plus de 92% du tritium incorporé suit la période biologique de l'eau libre (environ 10 jours) ;
- moins de 3% du tritium incorporé suit la période biologique de composés organiques de renouvellement rapide (0,75 jour et 22 jours en moyenne, en fonction des sous-compartiments) ;
- moins de 1% du tritium incorporé suit la période biologique de composés organiques de renouvellement lent (450 jours environ).

L'excrétion est urinaire et fécale, essentiellement sous forme d'HTO (environ 99%), mais aussi sous forme d'OBT.

Les études menées sur la biocinétique du tritium chez des rongeurs montrent que le comportement du OBT diffère totalement de celui de l'HTO : cette dernière forme se répartit de manière homogène dans les liquides intra- et extracellulaires en suivant le parcours de l'eau, alors que l'OBT est plus abondant dans les cellules ayant de forts besoins énergétiques ou dans les tissus à renouvellement rapide.

Le tritium est considéré comme un élément de faible radiotoxicité du fait de son faible parcours moyen dans l'eau (0,56 μ m). Néanmoins, des interrogations subsistent sur le niveau de risque à lui attribuer en raison de sa forte densité d'ionisation de répartition hétérogène, et notamment sur :

- (1) la valeur du facteur de pondération W_R à appliquer lors du calcul de la dose équivalente,

- (2) l'évaluation comparée des risques de l'eau tritiée (HTO) et des formes organiques (OBT),
- (3) la pertinence de la dose pour estimer le risque d'une exposition au tritium.

Bien qu'une certaine réserve se justifie vis-à-vis de ces résultats obtenus à des concentrations et débits de dose bien supérieurs à ceux auxquels sont exposés l'homme et son environnement, un rapport rédigé fin 2007 par un groupe indépendant « Advisory Group on Ionising Radiation » (AGIR) recommande pour l'estimation de la dose et du risque lors d'une exposition au tritium :

- un facteur de pondération W_R de 2 ou plus,
- une réévaluation des coefficients de dose recommandés par la CIPR et appliqués pour le calcul de dose lors d'une exposition à du tritium, qui seraient sous-estimés,
- des valeurs d'Efficacité Biologique Relative (EBR) calculées supérieures (EBR= 2 à 3) à celles obtenues avec les RX de 250 keV (EBR= 1 à 2) en prenant pour référence les gammas du ^{60}Co ,
- d'initier une étude épidémiologique internationale.

De nombreuses études épidémiologiques incluant les travailleurs, leur descendance et le public ont révélé un manque d'informations valables pour estimer un risque lors d'une exposition au tritium. Cette constatation a conduit l'International Agency for Research on Cancer (IARC) à ne pas le classer individuellement comme « cancérigène pour l'homme », alors que les radionucléides émetteurs beta sont considérés dans leur ensemble comme cancérigènes après incorporation chez l'homme.

Une estimation des effets héréditaires a été réalisée en considérant un groupe critique (femmes consommant des produits de la mer de la Baie de Cardiff) et l'irradiation des ovocytes. La fréquence de survenue d'effets héréditaires graves résultant de cette exposition est estimée à environ 1×10^{-6} à comparer à l'incidence spontanée pour ce type d'effets de 3 à 4%.

Les données expérimentales proviennent essentiellement d'études cellulaires et animales après exposition à l'eau tritiée (HTO) : le tritium peut entraîner des lésions précoces cellulaires et un excès de cancers d'autant plus marqué que la dose cumulée et le débit de dose sont élevés. En revanche, peu d'études analysent les conséquences biologiques de l'exposition à l'OBT. De plus, les résultats diffèrent fortement en fonction du protocole expérimental : il s'agit pour la plupart d'études sur des cellules en culture ou sur des modèles animaux exposés par injection intraveineuse de molécules tritiées. Sur l'ensemble des études expérimentales, essentiellement sur des effets précoces, il est montré que :

- l'EBR du tritium organiquement lié est 2 à 3 fois plus élevé que celui de l'eau tritiée,
- la forme organique dans l'organisme humain est très minoritaire quelle que soit la forme de l'apport et la partie liée à l'ADN n'en constitue qu'une petite fraction,
- les EBR des acides aminés tritiés ont été estimés sur des effets précoces, cellulaires, ce qui ne permet pas l'extrapolation de ces valeurs aux effets cancérogènes.

Cependant, les débits de dose rarement comparables rendent complexe l'interprétation de ces études.

En conclusion :

- la bioaccumulation du tritium n'est pas démontrée, en revanche le modèle bio-cinétique actuel mérite une réévaluation afin de prendre en compte de façon correcte la contribution du tritium organique lors d'une exposition chronique ;
- la forte densité d'ionisation de répartition hétérogène du tritium suscite des interrogations quant à la valeur du facteur de pondération W_R à appliquer lors du calcul de la dose équivalente et à la pertinence de la dose pour estimer le risque d'une exposition au tritium ;
- il manque des données sur les effets d'expositions chroniques (HTO ou OBT) et sur les conséquences d'expositions à des concentrations environnementales (de l'ordre de la centaine ou du millier de Bq/L).

Ces éléments ne remettent pas en cause la faible radio-toxicité du tritium, mais pourront à terme conduire à proposer des évaluations de dose plus élevées qu'actuellement. Les doses efficaces autour des installations nucléaires resteront néanmoins pour le public dans un ordre de grandeur de quelques microSv, voire quelques dizaines de microSv.