

Compte-rendu

Journées tritium organisées par la SFRP, Paris, 23-24 septembre 2009

La Société française de radioprotection a organisé à Paris, les 23 et 24 septembre 2009, deux journées sur le tritium pour dresser un état des connaissances actuelles sur ce radionucléide, compte tenu de l'attention nouvelle portée notamment par la société civile sur les rejets de tritium et son comportement dans l'environnement, ainsi que sur son impact sanitaire pour le public et les travailleurs. À l'origine, le débat sur la radiotoxicité du tritium a été relancé entre autre par un rapport britannique (AGIR, 2007) qui estimait qu'il serait prudent d'utiliser dans le calcul de la dose efficace, un facteur de pondération pour le tritium (w_R) de 2, au lieu de la valeur unité recommandée actuellement par la CIPR.

Ces journées ont été organisées conjointement par les sections *Environnement* et *Recherche et santé* de la SFRP, ce qui a permis de traiter l'ensemble des sujets soulevés par ces interrogations. La SFRP avait organisé des journées sur ce thème en 1986 et 1999. Les conclusions de l'époque paraissent pour beaucoup toujours valables. Il était toutefois nécessaire de vérifier les fondamentaux, l'objectif a été atteint. Les organisateurs ont ouvert ces journées à des collègues britanniques, puisqu'aux yeux de tous le renouveau d'intérêt sur ce radionucléide, venait de la verte Albion, ou plutôt de ses eaux territoriales. Le Canada étant au centre des discussions sur ce sujet, l'ouverture s'est également effectuée outre Atlantique.

Lors de l'ouverture de ces journées, il a bien été souligné que le tritium rejeté par l'électronucléaire n'était pas un problème majeur de santé publique. Comme les recherches sur les effets sanitaires et son comportement dans l'environnement avaient été arrêtées il y a une dizaine d'années, il était intéressant au vu des nouvelles connaissances et des nouveaux outils, tant en radiobiologie qu'en radioécologie de refaire un point scientifique sur sa radiotoxicité.

D'emblée Jacqueline Garnier-Laplace, dans une synthèse sur les connaissances du comportement du tritium dans l'environnement a répondu à une question récurrente : il n'y a pas de bioaccumulation significative du tritium dans l'environnement et les facteurs de transfert dans la chaîne trophique sont toujours inférieurs à 1 (Lebaron-Jacobs *et al.*, 2009). Par contre, au vu de premiers résultats d'études d'écotoxicité chronique, la valeur seuil de 10 $\mu\text{Gy/h}$ relative aux invertébrés (eaux douce et marine) actuellement recommandée en tant que critère de protection des écosystèmes est remise en cause. Chez l'homme, Laurence Lebaron-Jacobs note qu'il n'y a pas d'accumulation significative, et rapporte une publication de John Harrison (2002) qui estimait en 2002 que la prise en compte d'un troisième compartiment d'épuration lente (environ 450 jours) dans le modèle biocinétique de la CIPR, qui n'en comporte actuellement que 2, n'induirait pas d'augmentation significative des évaluations de dose. De sa revue bibliographique, elle conclut que le tritium reste un radionucléide faiblement radiotoxique.

DOI: 10.1051/radiopro/2009026

RADIOPROTECTION – VOL. 44 – N° 4 (2009)

519

Article published by [EDP Sciences](http://www.edpsciences.org) and available at <http://www.radioprotection.org>

COMPTE-RENDU

Monique Séné rapporte les conclusions d'un colloque de l'ANCLI intitulé « Le tritium, discret, mais présent partout ». Rappelons que l'ANCLI est l'association nationale des commissions locales d'information créée en 2000. Cette association s'inquiète des rejets grandissant de tritium et souhaite qu'aucune augmentation des rejets de tritium ne soit permise tant que ne seront pas mieux connus les effets à une exposition chronique de ce radionucléide. Elle recommande également de continuer les recherches sur le tritium, en particulier sur les formes organiquement liées.

La parole est ensuite donnée aux industriels et en premier AREVA qui rejette, principalement en mer, le tritium produit dans les assemblages lors du traitement du combustible usé. Patrick Devin son représentant, après avoir présenté l'historique des rejets, liés aux quantités de combustible retraité, conclut que les rejets en mer des effluents tritiés de l'usine de La Hague apparaissent comme la meilleure option de gestion de ces effluents du fait de la forte dilution en mer ($0,76 \text{ Bq/m}^3$ par TBq/an rejeté) et d'un très faible impact dosimétrique associé : $0,1 \mu\text{Sv/an}$ pour un impact global des rejets de l'usine de l'ordre de $10 \mu\text{Sv/an}$. Ces rejets sont essentiellement sous forme d'eau tritiée (250 g HTO/an).

La production d'électricité par les réacteurs à eau pressurisée, conduit à la production de tritium suite aux réactions d'activation neutronique sur le bore et le lithium contenu dans l'eau du circuit primaire. Vincent Chrétien précise que ce tritium se retrouve dans les effluents alors que celui produit par fission dans le combustible ne sera rejeté que lors du traitement du combustible usé à l'usine de La Hague. Enfin, dans les CNPE des paliers 1300 MW et 1450 MW, des grappes sources secondaires (utilisées pour la surveillance de la réactivité du cœur lorsque le réacteur est à l'arrêt) sont à l'origine d'une production supplémentaire de tritium dans le circuit primaire de l'ordre de 20 à 40 %. La quantité de tritium rejetée par les effluents liquides est en moyenne 30 fois plus élevée que celle rejetée par la voie des effluents gazeux rejetée. L'augmentation du taux de combustion permettant d'allonger la durée du cycle de fonctionnement de 12 à 18 mois et de mieux utiliser la matière nucléaire du combustible tend à augmenter la production de tritium et donc les rejets liquides tritiés de l'ordre de 25 %. Bernard Le Guen nous informe qu'EDF met en place une stratégie visant à diminuer la part liée aux rejets gazeux des 1 300 MW, consciente qu'ils ont plus d'impact dosimétrique. Finalement l'impact local des CNPE reste faible ($< 1 \mu\text{Sv}$) (Le Guen, 2008), et un stockage de tritium n'apporterait pas de gain dosimétrique significatif au niveau des populations.

Autre source de rejets de tritium, le centre de la Direction des applications militaires du CEA, de Valduc en Côte d'or. Philippe Guétat nous présente l'évolution des rejets tritiés depuis 1973 (une baisse de deux ordres de grandeur – aujourd'hui 1 gramme, soit 358 TBq par an) mais surtout décrit les transferts entre les différents compartiments de la biosphère et dans la chaîne alimentaire. La situation de ce centre est exemplaire au titre des relations avec les « parties prenantes locales » ; très tôt une association, la SEIVA, s'est créée pour surveiller le marquage environnemental du site et après quelques années, les relations sont devenues constructives et le centre nucléaire développe avec la SEIVA et l'université de Franche Comté (Besançon) des recherches pour mieux comprendre le devenir du tritium rejeté. Cette collaboration se matérialise notamment par la réalisation d'une thèse par Cécile Boyer, sur le comportement du tritium dans la laitue. Elle conclut qu'il est prudent de rester sur l'hypothèse d'une équivalence des comportements de l'hydrogène et du tritium impliqués dans les réactions métaboliques des végétaux, ce qui se traduit par un ratio des activités spécifiques de

COMPTE-RENDU

l'hydrogène de la matière organique et de l'eau tissulaire proche de 1. Comme l'avait précisé Jacqueline Garnier Laplace, il n'y a donc pas ici de bioaccumulation.

Bien que cette information n'ait pas été communiquée lors de ces journées, il est intéressant de rappeler le bilan des activités annuelles rejetées en France (CNE2, 2009).

	eau tritiée liquide (PBq ^a)	gaz hydrogénés (TBq ^b)
La Hague	12	70
réacteurs	1	30
centres CEA	0,02 ^c	700 ^d

^a Peta pour 10¹⁵, ^b Tera pour 10¹², 1 g de tritium correspond à 359 TBq, ^c surtout Marcoule défense (99 %), ^d surtout Marcoule défense et Valduc (85 %).

Lorsqu'on parle de rejets de tritium, tout le monde s'accorde pour dire qu'il faut préciser la forme physicochimique considérée : eau tritiée HTO, forme organique OBТ (liée ou non liée), hydrogène tritié gazeux HT. Nicolas Baglan et Eric Ansoborlo nous font part des difficultés liées aux études de spéciation : l'échantillonnage, la conservation de ces échantillons et leurs transports sont avant la phase analytique proprement dite, des points qu'il faut particulièrement contrôler tant la diffusion du tritium et de l'eau tritiée est grande. Ces auteurs nous proposent également de nous affranchir de l'anglais : OBТ (*Organically Bound Tritium*) peut être remplacé en français par TOL (tritium organiquement lié), cette terminologie ne pouvant que rendre plus clairs nos messages au public.

Michel Masson est un radioécologiste marin, il collabore étroitement avec nos collègues britanniques du CEFAS (*Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science*). La formule pourrait être inversée pour Stuart Jenkinson du CEFAS ; leurs communications étaient attendues, d'autant plus que la controverse sur le tritium porte particulièrement sur des rejets en mer d'Irlande. Plusieurs études réalisées entre 2000 et 2009 ont permis de mesurer, le long des côtes françaises de la Manche, l'évolution spatiale des concentrations en tritium libre (HTO) et organiquement lié (TOL) dans des échantillons d'algues, de poissons, de mollusques et de crustacés. L'influence de l'usine AREVA La Hague est évidente, la concentration dans le nord-Cotentin pouvant atteindre 10 à 20 Bq/L alors que la concentration dans l'eau entrant en Manche n'est que de 0,1 à 0,2 Bq/L. Michel Masson note que le rapport TOL/HTO est de $1,6 \pm 0,8$. Son collègue britannique, Stuart Jenkinson présente des résultats différents qui interpellent la communauté scientifique. L'usine de GE Healthcare que les anciens ont connu sous le nom d'Amersham rejette dans la baie de Cardiff 30 % du tritium sous forme organiquement liée. Les poissons et coquillages incorporent 90 à 95 % de TOL, rien d'anormal lors d'une telle situation. Par contre et c'est au cœur de la controverse, Stuart Jenkinson décrit une situation inexplicquée près de Sellafield, où, malgré les rejets de tritium sous forme libre (HTO) on relève une concentration importante de TOL dans les échantillons du biota. Cette situation reste inexplicquée et mérite qu'une étude de spéciation plus poussée soit entreprise. La question de la formation de complexes organiques tritiés dans l'environnement marin est soulevée. Tous ces résultats sont publiés dans les rapports RIFE (CEFAS, 2008), mais il est clair que ces résultats ont pour objectif premier la surveillance radiologique de

COMPTE-RENDU

l'environnement et ne permettent pas d'apporter des informations adaptées aux démarches de recherches.

Vint le tour de l'épidémiologie, représentée lors de ces journées par Richard Wakeford. La conclusion est simple ; il est difficile d'exploiter les données actuelles. Les travailleurs contaminés par le tritium sont relativement bien connus, malheureusement la dosimétrie qui leur est associée est globale et fait rarement la part entre l'exposition au tritium et l'exposition externe. Que ce soit au Canada, au Royaume-Uni, ou à Savannah River aux États-Unis, des études épidémiologiques ont été menées sur le risque d'exposition au tritium combinée à l'exposition externe. Des travailleurs ont également été exposés au tritium en France et en Russie sans que des études spécifiques n'aient été menées. Les risques dus à la seule exposition au tritium n'ont à ce jour pas été étudiés. Selon Richard Wakeford, seule une action internationale combinant toutes les données pourrait apporter des informations. Avec l'humour que l'on connaît des Britanniques, il conclut qu'il faudra peut-être attendre le suivi des travailleurs d'ITER pour avoir enfin une réponse.

Par ailleurs, la recherche fondamentale s'intéresse également aux effets du tritium sur la matière vivante. Les recherches en cours au CEA nous ont été présentées par Yannick Saintigny et Paul-Henri Romeo. Les études menées récemment sur des cellules humaines et animales montrent que le tritium, en dépit de la faible énergie de son rayonnement bêta, est susceptible de provoquer un stress génotoxique lorsqu'il pénètre dans la cellule. Ce stress est observé pour des doses comprises entre 20 et 200 mGy/nucleus. Il y a peu de dommages simultanés et la cellule reste capable de les gérer. Ces dommages peuvent cependant provoquer une instabilité génétique liée à un trop grand nombre d'événements de recombinaison. De plus, les doses incorporées provoquent une mutagénèse qui semble ne pas être détectée par la cellule. Ces résultats ne peuvent donc pas s'expliquer simplement par le débit de dose utilisé. L'hypothèse d'un effet biologique spécifique aux caractéristiques physiques des rayonnements bêta de faible énergie devra être analysée. Les résultats obtenus ont, par ailleurs, permis de définir des cibles et des voies métaboliques impliquées dans la réponse à une contamination au tritium. Ces recherches apportent des enseignements sur les mécanismes biologiques, mais ne permettent pas de conclure sur l'impact des rejets tritiés car elles ont été menées avec de la thymidine tritiée qui s'incorpore directement sur la molécule d'ADN.

Le Canada est souvent cité en exemple à propos des limites de concentration du tritium dans l'eau qui seraient les plus basses au monde. Il n'en est rien Patsy Thompson nous rappelle que la norme est de 7 000 Bq/L dans l'eau. L'incompréhension étant bien partagée de part et d'autre de l'Atlantique, Patsy Thompson nous dit qu'au Canada, certains citent l'Europe en exemple avec sa limite à 100 Bq/L. Il n'en est rien, cette valeur n'est seulement qu'un niveau d'investigation. La Commission européenne recommande 7 600 Bq/L, l'OMS 10 000 et la Finlande applique la valeur de 30 000 Bq/L. Près de leurs réacteurs, les réacteurs CANDU, qui produisent beaucoup de tritium, la dose reçue par les populations canadiennes est essentiellement liée au tritium. Le Canada tout comme les pays européens souhaite que de nouvelles recherches viennent enrichir nos connaissances sur le tritium.

Comment détritier ? Didier Leterq narre l'expérience de la Direction des applications militaires du centre CEA à Valduc. Le système actuel consiste à détritier l'atmosphère des boîtes à gants, et un deuxième niveau traite l'air rejeté par les réseaux de détritiation. Ces

COMPTE-RENDU

procédés consistent à préchauffer le gaz à traiter, à convertir le tritium en eau dans un réacteur d'oxydation, puis à piéger le tritium sur de la zéolithe très avide d'humidité. Le gaz ainsi épuré est recyclé, l'eau récupérée sur la zéolithe (environ 100 L/an) est entreposée in situ dans des bidons en polyéthylène. Des essais ont démontré que le rendement de conversion du tritium en eau était supérieur à 99,8 %. Cette technique a permis de réduire fortement les rejets de tritium gazeux depuis l'origine (100 g en 1960 à moins d'un gramme en 2000). Des réflexions sont en cours pour mettre au point un procédé permettant de décontaminer l'eau tritiée. Pour le plus long terme, les réflexions visent à réduire voire à supprimer l'eau tritiée produite en augmentant la concentration en tritium dans le flux à traiter grâce à une étape préliminaire d'enrichissement. Le tritium ainsi enrichi pourrait être directement piégé sur un matériau adapté dit « getter » sans passer par l'étape d'oxydation. Cette expérience sera utile pour ITER, mais n'est pas transposable à l'électronucléaire compte tenu des faibles concentrations de tritium en jeu.

Le stockage des déchets tritiés n'est certes pas un problème transgénérationnel, mais n'est pas simple pour autant. Francis Chastagner nous rappelle que le Centre de stockage de la Manche a marqué durablement l'environnement par le tritium. La leçon a été retenue pour le stockage de l'Aube et les centres futurs. Les déchets tritiés de forte activité n'ont à ce jour pas d'exutoires mais des études menées par le CEA sont en cours.

Parler du futur, c'est parler d'ITER. Pierre Cortès a eu le privilège de nous faire voyager dans le monde de la fusion nucléaire. ITER contiendra un maximum de 4 kg de tritium. Les ingénieurs travaillent sur l'optimisation à la conception de la gestion et du confinement de ce tritium. Les premiers rejets de tritium pourraient avoir lieu en 2026. L'installation fait l'objet d'importantes études pour limiter au maximum les pertes de tritium qui compose, avec le deutérium, le combustible nucléaire du futur réacteur de recherche. Marc Philippe présente des éléments de réflexion sur la gestion du tritium produit par les installations nucléaires. La conclusion est simple, il n'y a pas à ce jour de solution miracle, le tritium sera encore rejeté dans l'environnement pendant encore des années.

Pour conclure, la parole a été donnée à François Paquet et John Harrison, tous deux membres du comité 2 de la CIPR, fortement mise en cause par certains. Doit-on doubler la valeur du facteur de pondération du tritium à appliquer au calcul de la dose efficace ? François Paquet rappelle la démarche de la CIPR et ce qu'est et ce que n'est pas la dose efficace. La publication 103 de la CIPR a précisé la signification de la dose efficace. Compte tenu des incertitudes multiples et de la prise en compte de différents facteurs qui finalement se neutralisent, la CIPR, par souci de cohérence et de simplification n'a pas jugé utile jusqu'à présent de changer ce facteur de pondération (Paquet et Métivier, 2008). La dose efficace, il faut le rappeler est un outil de gestion prospectif de la radioprotection. Par contre, pour estimer le risque réel après contamination, la CIPR recommande d'employer les facteurs qui correspondent le plus à la réalité du contaminé.

En conclusion, ces journées tritium ont été intéressantes à plus d'un titre et plusieurs points ont été dégagés de la discussion finale :

- lorsqu'on parle de tritium, il est impératif de préciser de quelle forme il s'agit : HTO, HT, TOL et même au sein des TOL, il faut clairement définir si on parle d'un produit de la chaîne alimentaire ou d'une molécule marquée à des fins de recherche ;

COMPTE-RENDU

- les unités employées sont disparates, il est recommandé de donner des concentrations en Bq/L, elles ont l'avantage de résister à toutes les modifications des modèles dosimétriques ;
- les mesures de routine pratiquées par les exploitants à des fins de contrôles des rejets et de surveillance de l'environnement doivent s'appuyer sur des protocoles simples. Elles ne doivent pas être tirées des protocoles, parfois sophistiqués, mis en œuvre dans les laboratoires de recherche ;
- il faut bien distinguer la bioaccumulation et l'incorporation ;
- l'épidémiologie de l'exposition au tritium est jusqu'à présent peu développée, compte tenu du manque de données sur l'exposition au tritium seul, et pourrait bénéficier d'une coopération internationale ;
- la gestion des déchets tritiés est toujours à l'étude ;
- il convient de garder à l'esprit le sens du concept de dose efficace définie par la CIPR : la dose efficace est un outil de gestion pour la radioprotection des personnes et ne peut pas servir à estimer un risque individuel ;
- enfin il est nécessaire de poursuivre la recherche, avec des plans expérimentaux qui reproduisent le plus fidèlement possible les rejets dans l'environnement.

Devant les interrogations soulevées par différentes associations et par certaines publications, l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) a mis en place en 2008 deux groupes de travail, l'un sur « *l'impact du tritium* », l'autre sur « *la défense en profondeur* ». Marc Fournier a rappelé qu'au sein de ces groupes s'expriment des scientifiques, des membres de la société civile, des associations et que leurs débats seront publiés dans un livre blanc en 2010.

En conclusion, ces journées ont connu un franc succès au niveau certes de la participation mais surtout de la qualité des présentations et des discussions. Le choix des orateurs y a très largement contribué. Toutes les présentations sont sous format pdf sur le site de la SFRP www.sfrp.asso.fr.

RÉFÉRENCES

- AGIR (2007) Review of Risks from Tritium, Health Protection Agency, Radiation, Chemical and Environmental Hazards, November 2007.
- CEFAS (2008) Radioactivity in food and the environment, 2007, RIFE 13. *Le premier rapport RIFE (RIFE 1, 1995) a été publié en 1996.*
- CNE2 (2009) Commission nationale d'évaluation 2, Rapport d'évaluation n°3-CNE2, Annexes scientifiques et techniques.
- Harrison J.D. (2002) Uncertainties in dose coefficients for intakes of tritiated water and OBT forms of tritium by members of the public, *Rad. Prot. Dosim.* **98**, 299-311.
- Lebaron-Jacobs L., Garnier-Laplace J., Lopez B., Adam-Guillermin C., Dublineau I., Roussel-Debet S., Antonelli C., Fievet B., Bailly du Bois P., Masson M. (2009) Tritium, Chapitre 30, in *Toxicologie nucléaire environnementale et humaine*. Lavoisier, Paris.
- Le Guen B. (2008) Impact du tritium autour des centrales nucléaires EDF, *Radioprotection* **43**, 177-191 ; cet article a été repris par le Journal of Radiological Protection [*J. Radiol. Prot.* **29** (2009) 163-173].

COMPTE-RENDU

Paquet F., Métivier H. (2008) Les risques liés aux expositions au tritium sont ils sous-évalués ?
Radioprotection **43**, 178-182 ; cet article a été repris par le Journal of Radiological Protection
[*J. Radiol. Prot.* **29** (2009) 175-181].

H. Métivier, président du comité de rédaction de Radioprotection

P. Hartmann, section environnement de la SFRP

T. Schneider, président de la section environnement de la SFRP

B. Le Guen, président de la section recherche et santé de la SFRP

L. Foulquier, section environnement de la SFRP

M. Michelet, section environnement de la SFRP