

« *Le tritium : quels dangers* »

Réunion publique d'information
Jouques – 3 octobre 2008

Le tritium fait débat

La CLI de Cadarache organisait avec le concours de l'Autorité de sûreté nucléaire le 3 octobre dernier à Jouques, un véritable débat public sur les dangers potentiels du tritium. Autour de la table, scientifiques et représentants associatifs ont pu confronter leurs points de vue.

L'animation de la réunion était assurée par Stéphane Menu, journaliste.

Une centaine de personnes ont assisté à la réunion.

Les intervenants :

- Philippe Renaud, chef du Laboratoire d'études radioécologiques en milieux continental et marin à la Direction de l'environnement et de l'intervention, Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN),
- Alain Rannou, expert à la Direction de la radioprotection de l'homme, IRSN,
- Bruno Chareyron, ingénieur en physique nucléaire, responsable du laboratoire CRIIRAD,
- Suzanne Gazal, enseignant-chercheur à l'Université de Toulouse, présidente du Comité scientifique de l'ANCLI,
- Henri Maubert, adjoint au responsable du Service Communication, CEA/Cadarache.

Compte-rendu

Roger Pizot, maire de Saint-Paul-Lez-Durance et président de la CLI de Cadarache, et Guy Albert, maire de Jouques, ont reçu le public et lancé le débat. Il est ensuite revenu à **Philippe Renaud, chef du Laboratoire d'études radioécologiques en milieu continental et marin à la Direction de l'environnement et de l'intervention de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**, de présenter les spécificités du tritium, ses origines et son comportement dans l'environnement.

1^{ère} PARTIE : LE TRITIUM : CARACTERISTIQUES ET IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET L'HOMME

Philippe Renaud :

« Merci à la CLI de m'avoir invité.

Le tritium est un des trois isotopes de l'hydrogène, avec le protium et le deutérium. Il s'agit d'un élément radioactif. Il s'agit d'un émetteur de faible énergie, de 18 KeV pour être précis, dont la période de radioactivité s'établit à 12,43 ans. Le tritium provient de plusieurs origines : naturelle, par l'action des rayonnements cosmiques sur des atomes de l'azote, l'oxygène et l'argon de l'air, et cette production donne à peu près 74 PBq à l'année, ce qui est un chiffre important puisque " péta " correspond à un million de milliards de becquerels. L'autre source du tritium est d'origine artificielle, la plus importante provenant des explosions nucléaires atmosphériques, qui ont eu lieu principalement entre 1954 et 1963, mais qui se sont prolongés pour les essais chinois jusqu'en 1980, qui ont émis dans l'atmosphère 186 000 PBq. Enfin, en France, l'industrie nucléaire civile et militaire provoque aussi des rejets de tritium, des rejets liquides ou gazeux, autour de 14 PBq par an.

Cette petite courbe permet de mesurer l'évolution des rejets de tritium dans l'air depuis 1945. Une courbe essentiellement marquée par les retombées des tirs d'explosions nucléaires atmosphériques. Vous voyez qu'en 1945, dans l'eau douce (de pluie, des rivières et nappes), l'activité était de l'ordre de 0,2 à 0,6 Bq par litre. Puis ces activités ont augmenté. Le point culminant a été atteint en 1963 en avoisinant les 500 Bq par litre. Ensuite, les Russes, les Américains et les Anglais ont cessé leurs tirs. Nous avons dès lors assisté à un effondrement du tritium dans l'air. Une décroissance qui continue de nos jours. En 2008, l'activité s'établit entre 1 et 4 Bq par litre.

L'industrie nucléaire française rejette des rejets liquides et gazeux. Pour les rejets liquides, le centre de retraitement de la Hague est principalement concerné avec 12 000 Téra-becquerels, 1 TBq correspondant à 1 000 milliards de becquerels. De son côté, l'ensemble du parc électronucléaire EDF français rejette 1 000 TBq par an. Puis vous avez un certain nombre d'installations nucléaires qui émettent du tritium dans l'air, ce sont ce que l'on appelle les rejets gazeux. On retrouve le centre de retraitement de La Hague (60 Tq par an), le Centre de Bruyères le Châtel (100 Tq par an) et Valduc et Marcoule qui constituent pour l'instant les installations qui rejettent dans l'air le plus de tritium.

Une observation de la situation atmosphérique actuelle permet de déterminer que le tritium fait partie des quatre radionucléides les plus présents dans l'air, avec le krypton 85, le carbone 14 et le xénon 133. Autour de la Hague l'activité en tritium de l'air peut être dix fois supérieure au bruit de fond. En France, les installations de Valduc, Marcoule et La Hague marquent très significativement l'air en tritium dans leur environnement.

Nous allons maintenant passer au comportement et aux formes de tritium dans l'environnement. L'hydrogène est un constituant de l'eau (H₂O). L'hydrogène est aussi un constituant de la matière organique (CHONP). Toutes les molécules organiques sont des compositions d'hydrogène, de carbone, d'oxygène, d'azote et de phosphore. Tout le comportement du tritium va découler de ces compositions.

Dans un organisme vivant, le tritium va prendre les deux formes de l'hydrogène :

- l'eau " tritiée " ou tritium libre, en anglais " TFWT pour Tissue Free Water Tritium ". L'eau tritiée se trouve dans les lacs, dans les rivières et la vapeur d'eau mais aussi dans le tissu intracellulaire.
- Le tritium se trouve aussi dans la matière organique tritiée ou dite " tritium lié ", en anglais OBT pour " Organically Bound Tritium " ou TBT pour " Tissue-Bound-Tritium ".

Pour mesurer la présence de tritium dans ces deux formes, on a mis au point un protocole de mesure. Lorsqu'il s'agit de savoir le niveau de tritium contenu dans un échantillon d'eau, on fait sécher l'échantillon par lyophilisation et l'eau distillée permet d'obtenir le résultat, exprimé en becquerel/litre.

De son côté, la matière sèche va subir une combustion à partir de laquelle on va pouvoir mesurer le niveau de tritium. Il est important de faire la différence entre le tritium libre et le tritium lié. Les mesures de tritium sont délicates et facilement soumises à des biais de protocole.

Le tritium a un comportement plus compliqué dans l'environnement que d'autres composants comme le césium. Ce dessin illustre quelques échanges dans les milieux physiques (air et eau) et dans les végétaux (terrestres ou aquatiques).

Ce qu'il faut retenir, c'est que le tritium suit l'eau : partout où elle va. Le processus est identique avec la matière organique. Pour les végétaux, le tritium va s'incorporer dans la matière organique lors de la photosynthèse. Les échanges sont permanents entre le tritium et le protium, c'est-à-dire l'hydrogène non tritié. Cette évolution tend toujours vers un équilibre entre toutes les composantes de l'environnement. Le tout porté par des cinétiques très rapides, d'un milieu concentré à un autre qui l'est moins. Il faut quelques minutes à quelques heures pour que l'équilibre soit atteint, sans oublier d'intégrer des paramètres de variabilité.

Le rapport de mesure entre le tritium libre et le tritium lié est de l'ordre de 1. Si on constate un déséquilibre à ce niveau-là, avec plus de tritium lié que de tritium libre, il s'agit d'un phénomène de rémanence, ce qui signifie, par exemple, qu'au moment de la croissance d'un arbre, il a été plus exposé à du tritium libre. La rémanence est ce qui reste d'une situation antérieure.

Sur cette partie air, eaux et végétaux, de manière générale, les connaissances sont assez satisfaisantes mais pas pléthoriques : nous disposons de moins de connaissances sur le tritium que sur d'autres radionucléides. Néanmoins, il existe une bonne cohérence entre la compréhension des mécanismes de transfert, les modèles qui en sont déduits et les observations faites dans l'environnement. Le point faible, c'est la méconnaissance de certaines formes de tritium, comme l'hydrogène tritié ou le méthane tritié.

Du côté des animaux, ils peuvent incorporer du tritium par ingestion, soit en buvant ou en s'alimentant. D'ailleurs, lorsque l'animal broute de l'herbe, il absorbe à la fois le tritium libre et lié constitutif de la matière du fourrage. Il y a aussi la possibilité d'inhalation de vapeurs d'eau tritiée et d'absorption cutanée.

En ce qui concerne le tritium libre (HTO), quand il est ingéré, 100 % vont être assimilés dans le tractus et transféré assez rapidement à l'ensemble des organes, même si certains d'entre eux vont le concentrer un peu plus. Dans ces 100 %, une petite fraction, de l'ordre de 1 %, va se lier à la matière organique pour créer une autre matière.

En ce qui concerne le tritium lié, que le ruminant incorpore via ses fourrages, l'essentiel va devenir de l'eau tritiée dans le tractus lors du catabolisme : la digestion va se transformer en eau tritiée... Mais il se peut que de petites molécules, notamment celles qui ne sont pas fabriquées par l'organisme supérieur, passent directement dans l'organisme ayant consommé les denrées. Dans ce schéma, un petit pourcentage du tritium lié va être assimilé à la matière organique.

En ce qui concerne l'élimination, les connaissances concernent le tritium libre et le tritium lié. 90 % de ce tritium va être éliminés assez rapidement, en quelques jours, par les urines, les selles, la vapeur d'eau. Le reste va rester dans l'organisme pour une période d'une semaine à dix jours. Sur les animaux, on peut donc estimer qu'il existe peu de données, notamment dans la connaissance du métabolisme produit dans l'organisme. Le plus souvent, les données existantes sont liées à des expérimentations comportementales ponctuelles et pas à des expositions chroniques. Néanmoins, sur la base des connaissances disponibles dans des conditions d'exposition normale, l'élimination du tritium est rapide et il n'y a pas de phénomène susceptible d'engager à terme une bio-accumulation significative.

Penchons-nous maintenant sur les becquerels par kilo dans les denrées. A partir, des concentrations en tritium libre ou lié, oscillant entre 1 à 3 becquerels/litre en bruit de fond, on peut obtenir le nombre de becquerels par kilo d'une denrée, en prenant en compte la teneur en eau dans la denrée. Ce qui donne ce chiffre de 1 à 3 becquerels par kilo/frais.

Néanmoins, exprimé en cette unité, sur les produits en forte teneur en eau, comme la salade, les fruits ou encore la viande, vous avez toujours plus de tritium libre dans l'eau que lié. En revanche, si vous prenez un grain de blé, sec et donc avec une faible teneur en eau, le tritium lié sera plus important que le tritium libre.

Où se situe le tritium par rapport aux autres radionucléides que l'on mesure en France ? Cette courbe montre l'évolution sur sept décades des niveaux de contamination et montre que le tritium est parmi les deux radionucléides les plus abondants avec le carbone 14.

Quelle est aujourd'hui la tendance ? Le tritium a tendance à diminuer dans l'eau de pluie parce que la rémanence des tirs atmosphériques nucléaires finit par s'estomper.

Nous constatons par ailleurs la diminution du tritium lié à la matière organique. Ce tritium lié a diminué plus vite que le tritium libre avec une période apparente plus courte.

En conclusion, dans l'eau, l'air, le sol et les plantes, les connaissances sont assez satisfaisantes : il y a une bonne cohérence entre les connaissances des mécanismes et les observations qui sont faites. Dans les animaux, nous avons peu de données au regard de la complexité, du nombre de processus impliqués, de leurs interactions et de leur variabilité. Je le répète : sur la base de ce que nous savons, il n'y a pas de phénomène susceptible d'engager à terme une bio-accumulation significative.

Il y a cependant le cas particulier, qui sort des activités environnementales, des molécules marquées. On a trouvé des traces, dans l'environnement marin, en Angleterre, de molécules marquées. De quoi s'agit-il ? La radioactivité peut-être un traceur du devenir de certains composés chimiques ou de certaines molécules. Quand on veut savoir ce que devient une molécule, on la marque au tritium et l'on va connaître son cheminement dans l'organisme. Pour faire cela, on crée des molécules où tous les atomes d'hydrogène sont des atomes de tritium. Ce sont des molécules extrêmement actives en tritium. Sur les côtes anglaises, on a relevé des concentrations en tritium extrêmement élevées du fait de rejets en mer d'une société qui fabrique ces molécules marquées pour des laboratoires de recherche. La question que l'on peut se poser est la suivante : à partir du moment où les molécules marquées peuvent engendrer une concentration en tritium supérieure, pouvant donner lieu à une accumulation de tritium dans l'organisme, ce phénomène est-il dû aux seuls rejets des entreprises pharmaco-chimiques ? Ces rejets contaminent-ils aussi l'air ?

Je reviendrai aussi sur les difficultés à mesurer le tritium. Les protocoles sont satisfaisants aujourd'hui mais ils ont été longs à se mettre en place pour atteindre la fiabilité nécessaire. Par ailleurs, la représentativité de ces mesures pose aussi problème, à savoir ce que l'on a prélevé et analysé par rapport au reste de l'environnement. »

Alain Rannou, expert à la direction de la Radioprotection de l'Homme, à l'IRSN, a ensuite présenté les propriétés physiques et biologiques du radionucléide.

Alain Rannou :

« Pour estimer un risque lié à une exposition à un radionucléide, il y a deux approches possibles : la première relève de l'épidémiologie, qui consiste à étudier une population potentiellement exposée et à regarder les effets de cette exposition sur cette population en comparant les résultats par rapport à une population témoin qui n'est pas exposée. Cette approche permet d'estimer directement un risque. Dans le cadre du tritium, une telle approche est impossible ; les rares études faites aujourd'hui n'apportent pas de réponses, compte tenu du risque qui demeure très faible. Il faut mettre en place des études extrêmement lourdes sur des populations très nombreuses pour être capable de mesurer ce risque potentiellement faible par rapport à d'autres risques.

La deuxième approche relève de la dosimétrie. A partir des modèles biocinétiques, on va pouvoir déterminer quels sont les tissus cibles, c'est-à-dire les tissus biologiques sur lesquels les radionucléides vont se fixer, sur quelle période ils vont être retenus dans l'organisme ou au contraire en être éliminés. A partir du moment où l'on sait où se trouve ce radionucléide, on peut procéder à un calcul de dose. Ceci suppose un certain nombre d'étapes, dont la première vise à déterminer une grandeur strictement physique : la quantité d'énergie délivrée par le radionucléide présent dans le tissu. C'est ce que l'on appelle la dose absorbée ; c'est une grandeur physique, dont l'évaluation comporte peu d'incertitude par rapport à ce qui va suivre.

La deuxième étape consiste à prendre en compte le fait que tous les rayonnements n'ont pas la même dangerosité. Des études ont démontré, chez l'homme et l'animal, qu'il y avait une efficacité biologique relative qui était différente selon les rayonnements. Les plus dangereux sont les particules alpha et les neutrons. Le danger est beaucoup moins important en ce qui concerne le tritium. Un facteur de pondération est introduit qui permet de tenir compte de la spécificité du rayonnement. Ce paramètre fondé sur la connaissance de l'efficacité biologique relative du rayonnement (EBR) est appelé W_r . Cette approche permet de calculer la dose au niveau d'un tissu ou d'un organe. La dernière étape consiste à agréger l'ensemble des risques sur tout l'organisme pour tenir compte du fait que plusieurs organes peuvent être touchés, cette sommation sur l'ensemble de l'organisme conduit à la dose efficace, qui s'exprime en sievert.

Je ne vais pas revenir sur les propriétés physiques du tritium. Ce qui le caractérise, en dehors de sa période radioactive, c'est le fait qu'il s'agit d'un radionucléide émetteur d'un rayonnement bêta, c'est-à-dire des électrons, émis selon un spectre continu, allant d'une énergie de 0 jusqu'à 18,6 keV (kilo électron-volt), avec une énergie moyenne de 5,7 keV. Ceci va conditionner la distance sur laquelle la particule bêta va interagir dans les tissus. En l'occurrence la distance maximale sur laquelle la particule bêta du tritium va pouvoir interagir, dans les tissus est de 7 microns, c'est-à-dire 7 millièmes de millimètres, soit une distance extrêmement petite. A fortiori, pour l'énergie moyenne qui est de 5,7 keV, cette distance est encore beaucoup plus petite (0,6 micromètres). Pour mémoire, une cellule biologique fait entre 5 et 12 micromètres.

Le tritium peut être incorporé chez l'homme soit par inhalation, soit par ingestion, soit par transfert cutané ; le tritium réussit à traverser la peau parce que cette dernière n'est pas une membrane complètement étanche. Le métabolisme du tritium après incorporation dépend de sa forme moléculaire. Il a été dit par Philippe Renaud tout à l'heure qu'il existait différentes formes sous lesquelles le tritium peut se trouver : l'eau tritiée, l'hydrogène tritié, qui est un gaz, le tritium organiquement tritié, sous différentes formes : le méthane, les hydrures métalliques, solvants, huiles, molécules marquées utilisées en recherche ou comme radiopharmaceutiques ... Tout ce que l'on peut trouver dans une installation où l'on manipule du tritium est susceptible d'être contaminé par du tritium.

Philippe Renaud l'a dit avant moi, le métabolisme des molécules organiques marquées dépend de la structure chimique et de la place du tritium dans la molécule.

Les données dont on dispose chez l'homme proviennent de plusieurs sources. Un certain nombre d'études ont été faites sur des volontaires, ceci n'étant pas choquant puisque effectivement, la toxicité du tritium est trop faible pour faire courir des risques aux volontaires. On compte des études cliniques, notamment pour des molécules marquées, des médicaments marqués au tritium qui permettent de suivre ces molécules dans l'organisme. Il y a eu par ailleurs des expérimentations chez l'animal, enfin des mesures de dissolution in vitro, c'est-à-dire sur des cellules pouvant être étudiées en laboratoire.

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) fait aujourd'hui autorité en matière de modélisation du tritium dans l'organisme. Cette commission a en effet établi des modèles biocinétiques. On admet ainsi que l'absorption dans le sang du tritium est rapide après son incorporation. Le tritium va se distribuer dans tous les organes et ceci de façon relativement uniforme. La rétention dans les tissus est représentée selon un modèle à deux compartiments (un modèle à compartiments est une représentation de l'organisme, par un ensemble de " petites boîtes ", entre lesquels s'effectuent des transferts selon des vitesses données).

Ces deux compartiments correspondent au renouvellement de l'eau et du carbone. Le passage du tritium dans le sang sous forme de molécules organiques liées (OBT) – où le tritium se présente sous une forme non échangeable – est 20 fois plus élevée lorsque le tritium est incorporé directement sous forme d'OBT que lorsqu'il s'agit d'eau tritiée (HTO).

Il existe une modélisation qui permet de rendre compte de ces données. Le modèle retenu pour l'eau tritiée indique qu'en cas d'incorporation, 97 % d'eau tritiée vont rester dans l'organisme sous cette forme. Les 3 % restants vont être transformés par des réactions enzymatiques en molécules organiques, avec un comportement différent. En cas d'incorporation de tritium organiquement lié (OBT), celui-ci est transformé potentiellement à 50 % dans l'organisme sous forme d'eau tritiée par des réactions enzymatiques ; les 50 % restants vont rester sous cette forme OBT, où le tritium est non-échangeable, c'est-à-dire qu'il reste dans la molécule.

Chez l'adulte, on retient que la fraction HTO va être présente dans l'organisme avec une période biologique de dix jours. Cela veut dire que tous les dix jours, le tritium présent dans l'organisme sous la forme HTO va diminuer de moitié. La fraction OBT va être retenue avec une période de 40 jours : tous les 40 jours, l'activité va diminuer de moitié. Chez les jeunes, qui présentent des cinétiques plus rapides, il y aura des durées de rétention plus courtes. Par exemple, chez un enfant d'un an, avec un renouvellement de l'eau du fluide corporel plus important, on aura une durée de 3,5 jours seulement pour la fraction HTO et de 15 jours pour la fraction OBT.

A incorporation égale, c'est-à-dire à quantités égales de becquerels incorporés, soit sous la forme HTO, soit sous la forme OBT, on ne va pas avoir la même dose de rayonnement pour l'organisme. En

l'occurrence, il va y avoir, compte tenu de la durée de présence différente, une dose deux fois plus élevée pour les molécules organiquement liées par rapport à la molécule d'eau tritiée.

Ces résultats sont obtenus à partir de travaux expérimentaux, avec des incertitudes et des hypothèses, et conduisent donc à des modèles qui comportent nécessairement des simplifications. En particulier, ces modèles ne prennent pas en compte l'hypothèse d'une rétention à plus long terme, au-delà des quarante jours dont j'ai parlé tout à l'heure. En 2005, l'étude de Hodgson a pu démontrer que la consommation par des rats de limandes de la baie de Cardiff contaminées par des molécules marquées conduit à une rétention de 70 % du tritium avec une période biologique de 10 jours et de 30 % avec une période biologique de 100 jours, se traduisant par une augmentation de la dose de 40 %.

La CIPR (Commission internationale de protection radiologique), qui élabore les modèles, travaille actuellement pour tenir compte de ces nouvelles informations.

Il n'y a pas non plus de modèles dosimétriques spécifiques aux différentes formes organiques possibles sous lesquelles peut se trouver le tritium. Le modèle dosimétrique de la CIPR ne prend en compte qu'une seule valeur dite par défaut, supposée être représentative de toutes les molécules possibles.

Un article récent de Taylor (2008) a passé en revue différentes formes des molécules organiques marquées. Les résultats montrent que les doses calculées à partir du modèle de la CIPR sont supérieures à ce qui a été observé expérimentalement. Les doses calculées pour l'ingestion des 11 molécules marquées au tritium représentent entre 6 et 83 % des doses calculées pour les mêmes molécules à partir du modèle OBT de la CIPR.

J'ai parlé de dosimétrie, il faut parler d'efficacité biologique. Pour une même quantité de rayonnement délivrée, il peut y avoir des effets radiotoxiques différents selon l'efficacité du rayonnement. Ainsi, l'efficacité biologique relative d'un rayonnement donné est le rapport entre la dose absorbée du rayonnement de référence (soit du rayonnement gamma, soit du rayonnement X) et la dose du rayonnement considéré (ici le tritium) qui va donner les mêmes effets. Cette efficacité biologique relative (EBR) dépend de nombreux facteurs, en particulier du type de rayonnement, de sa nature et de son énergie mais aussi de la dose, du débit de dose et du fractionnement de dose. Il dépend aussi de l'effet biologique qui est considéré. La qualité du rayonnement est déterminée par la structure de la trace produite par le rayonnement dans les tissus biologiques.

Cette illustration va peut-être vous permettre de mieux comprendre. Cette courbe en cloche illustre le risque relatif différent des différents types de rayonnements où vous apercevez que les rayonnements les plus dangereux sont les rayonnements alpha, ainsi que les protons ; les électrons vont avoir une efficacité biologique relative qui va dépendre de leur énergie.

Ces résultats sont confrontés à des incertitudes. Même si beaucoup d'études ont été réalisées – plus de 200 –, qui ont concerné des animaux mais aussi des recherches en laboratoire, beaucoup d'effets différents sont constatés : mort cellulaire, transformations et mutations cellulaires, développement, atteintes chromosomiques, effets cancérigènes, effets tératogènes... et ce à partir de différents rayonnements, de différents types de doses, etc. L'un des points faibles de ces études est qu'elles concernent essentiellement l'eau tritiée. Très peu d'études fiables ont été faites sur l'OBT.

L'efficacité biologique relative (EBR) est ainsi comprise entre 1 et 5 pour le tritium selon le rayonnement de référence utilisé. Une fourchette tellement large qu'il est difficile d'en tirer la moindre interprétation.

Des analyses ont été réalisées par différents auteurs pour synthétiser l'ensemble de ces 200 études. Ils en arrivent à la conclusion que l'EBR du tritium pourrait être comprise entre 1 et 2, selon le type de rayonnement pris en référence. C'est ce qui va pousser les Anglais à recommander à la CIPR de revoir le facteur de pondération pour le tritium.

En conclusion, le tritium reste un radionucléide faiblement radiotoxique qui va se distribuer de façon uniforme dans tout l'organisme mais, ceci étant, va délivrer des doses sur des distances tellement courtes que cette distribution est relativement hétérogène à un niveau microscopique. Les données disponibles montrent que l'EBR du tritium est supérieur à 1 et qu'une valeur de 2 serait mieux adaptée. Une révision du facteur de pondération du rayonnement (W_r) de 1 à 2 pour le tritium devrait être prise en considération.

La radiotoxicité plus élevée de l'OBT est prise en compte dans les systèmes de radioprotection mais de façon trop simplifiée. Le concept de dose à un niveau macroscopique ne permet pas de rendre compte de la distribution de dose due au tritium sur de petites distances. Les molécules tritiées sous forme d'OBT restent mal connues en termes de métabolisme.

Pour finir, seule une étude épidémiologique permettrait d'apporter des éléments directs pour confirmer les évaluations de risques du tritium ».

Responsable du laboratoire indépendant de la CRIIRAD (Commission de recherche et d'informations indépendantes sur la radioactivité), Bruno Chareyron est intervenu sur l'impact environnemental du tritium.

Bruno Chareyron :

« La CRIIRAD a été créée en 1986 à la suite de la catastrophe de Tchernobyl car l'Etat avait assuré que les retombées nucléaires avaient épargné le territoire français. Pour démontrer que c'était faux, il a fallu qu'un groupe de citoyens se regroupent en association, embauche des scientifiques pour que l'on puisse réaliser des mesures dans l'environnement indépendantes de celles pratiquées par l'Etat.

Notre mission est d'effectuer des relevés et d'informer le public des résultats obtenus, mais aussi les salariés, les syndicats et parfois les exploitants eux-mêmes. Notre laboratoire est agréé pour réaliser un certain nombre de mesures.

Le tritium est l'élément radioactif le plus petit. C'est de l'hydrogène, il n'est pas facile à piéger. A partir du moment où il a été produit, il y a de fortes chances que le tritium se diffuse dans l'environnement. A titre d'exemple, il est capable de traverser le béton.

La période physique (demi-vie) du tritium est de 12 ans. La période physique, il est important de le rappeler, est le temps au bout duquel la moitié de la radioactivité a disparu. Il faudra donc attendre 24 ans pour que la moitié de la moitié se soit désintégrée. Il faudra attendre une centaine d'années avant une disparition complète.

En raison de la faible énergie des rayonnements bêta qu'il émet, le tritium est très difficile à détecter, on ne peut pas le faire avec un compteur Geiger et les analyses en laboratoire sont difficiles à réaliser.

Le tritium est de l'hydrogène qui s'oxyde dans l'environnement et se retrouve sous forme d'eau tritiée. Comme on le sait, l'eau est très mobile et le rejet de tritium dans l'environnement va toucher l'ensemble de la chaîne de la vie. Nous allons donc tous intégrer de l'hydrogène radioactif dans notre organisme.

Comme le tritium est produit en quantité par les réacteurs nucléaires, 100 % du tritium vont être rejetés par voies atmosphérique et liquide. Ces installations ont des autorisations de rejets. Sur ce croquis, vous apercevez une cheminée : il faut savoir que les nuages que vous voyez autour des centrales (vapeur d'eau des aérofrigorifères) ne sont généralement pas radioactifs. Ce qui est radioactif sort d'une petite cheminée ; on ne voit donc pas ce qui sort...

Sur ce croquis, nous apercevons la quantité d'éléments radioactifs rejetés par la centrale du Blayais en 1999. Sans entrer dans les détails, on note que ce sont les gaz rares qui sont le plus rejetés, comme le krypton ou le xénon, le tritium arrivant en deuxième position... La quantité d'éléments radioactifs rejetés sous forme de poussières équivaut à seulement 0,00003 %. Autrement dit, l'essentiel des rejets radioactifs des centrales est sous forme de vapeurs (gaz rares, tritium, gaz carbonique...).

Et donc pour mesurer l'impact du tritium lié aux installations nucléaires, il faut disposer des moyens pour mesurer sa présence dans les gaz. Or, pendant très longtemps, les mesures ont été faites sur les poussières contenues dans l'air ambiant. Or les poussières ne contiennent pas ce tritium.

Aujourd'hui, les centrales ont des autorisations de rejets, ce qui n'était pas le cas il y a quelques années. La centrale de Brennilis, qui a fonctionné dans les années 60, n'avait pas au départ d'autorisation de rejets de tritium dans l'environnement.

Au regard des autorisations de rejets de tritium dans l'atmosphère, on remarque que le niveau de rejets va dépendre de la taille de la centrale. Cela va de 4 000 GBq pour Saint-Laurent à 12 000 GBq pour la plus grande centrale française, Gravelines. Pour les centres de recherche, Cadarache dispose d'une

autorisation de rejets de 17 000 GBq. Pour Saclay, dans la région parisienne, cette autorisation est de 560 000 GBq. On peut comparer à l'Institut Laue Langevin à Grenoble qui est un réacteur quelque peu particulier. Avec ses 75 000 GBq, il est autorisé à rejeter plus de tritium parce qu'il en produit plus. Pour le démantèlement de Superphénix, l'autorisation de rejet est de 100 000 GBq, ce qui est très important en comparaison avec les centrales en production. Cela s'explique par le fait que l'arrêt d'une centrale n'entraîne pas l'arrêt des rejets. La décontamination du sodium de Superphénix va entraîner des rejets de tritium.

150 000 GBq autorisés pour l'usine de retraitement de La Hague. C'est important et pour cause : lorsque le combustible nucléaire est coupé en petits morceaux pour en extraire le plutonium, au moment où l'on découpe la gaine, le gaz radioactif qui était emprisonné à l'intérieur va s'échapper. Et comme il coûterait très cher de contenir ce tritium, il est envoyé dans l'atmosphère à 100 %.

Pour l'installation militaire de Marcoule, l'autorisation de rejets est de 10 millions de milliards de becquerels. Une des autorisations les plus importantes en France.

Les rejets de tritium sous forme liquide sont parfois plus importants. Pour certaines installations, ces rejets vont augmenter. C'est le cas des centrales parce qu'EDF met en place de nouveaux combustibles dont l'utilisation va augmenter les rejets de tritium. Pour la centrale de Golfech, par exemple, deux fois 1 300 Mégawatts, les autorisations de rejets assez récentes (septembre 2006) prévoient une autorisation de 40 000 GBq par réacteur et par an pour le combustible classique. Mais les nouveaux combustibles pourront aller jusqu'à 50 000 GBq. Pour la centrale de Tricastin, les autorisations de mai 2008 sont de 22 500 GBq par réacteur et par an pour les combustibles MOX. Avec le combustible dit à Haut Taux de Combustion, ça sera 40 000 GBq par réacteur et par an. Au niveau des centrales électronucléaires, on va vers une augmentation du niveau de rejet du tritium dans l'environnement. Ce qui est relativement choquant au regard des engagements de la France au niveau du traité Oskar qui prévoit plutôt une réduction du rejet des installations nucléaires.

Ce tritium est très difficile à mesurer. Pour la centrale de Cattenom, EDF a reconnu que ses mesures passées étaient sous-estimées d'environ 60 %. Ce qui correspond à un écart significatif et montre la difficulté à mesurer cet élément radioactif.

Pendant très longtemps, les mesures de la radioactivité dans l'environnement étaient pratiquement inexistantes ou tout à fait inadaptées. Je prends l'exemple de Brennilis, vieille centrale, arrêtée en 1985 : l'exploitant mesurait bien la radioactivité des poussières autour de la centrale mais le tritium n'est pas sous forme de poussière... L'eau de pluie était mesurée, mais avec une méthode dite bêta global, qui ne voit pas le tritium ; l'herbe, le lait étaient bien mesurés mais on ne cherchait pas le tritium. Autrement dit, la population autour de Brennilis n'avait nullement conscience de ces rejets de tritium et de leur importance.

Il y a une difficulté pour le contrôle du tritium dans l'eau. Puisque ce dernier fuit si facilement, la pollution des nappes phréatiques est courante autour des centrales nucléaires. Pour mesurer cette pollution, il faut mettre en œuvre des moyens de mesure assez fins puisque le niveau naturel du tritium dans les eaux de pluie est de l'ordre de 1, 2 à 3 becquerels par litre. Donc, si l'on veut savoir s'il y a pollution, il faut être en mesure de détecter à partir de 3 becquerels par litre. Or, les mesures pratiquées par EDF sont de l'ordre de 30 à 50 becquerels par litre.

Pour la CRIIRAD, ce degré de sensibilité n'est pas satisfaisant et nous demandons qu'EDF améliore la surveillance des nappes phréatiques.

On trouvait beaucoup de tritium dans les eaux de pluie (plus de 500 Bq/l), dans les années 60, à cause des essais nucléaires militaires. Depuis, les choses se sont améliorées mais on trouve toujours du tritium dans les eaux de pluie dès que l'on s'approche de certaines installations nucléaires.

Dans le cadre de mesures réalisées par la CRIIRAD en 2002, nous avons observé les plus forts niveaux de concentration de tritium à Valduc, avec 80 becquerels par litre, puis à Marcoule, avec 50 Bq/l, et à La Hague avec 10 Bq/l. Pour les centrales nucléaires, la présence du tritium est plus aléatoire.

Les sites qui rejettent le plus de tritium sont des sites militaires, comme à Valduc ou à Marcoule. Une des premières études réalisées par la CRIIRAD à propos du tritium a été faite autour du site de Valduc, réalisée à l'époque pour le Conseil Général de Côte d'Or. Plus on se rapprochait de Valduc, plus les niveaux de tritium augmentaient. Près de Valduc, on mesurait 600 Bq/l. Cette étude a permis de démontrer que deux tiers des ressources en eaux du département de Côte d'Or étaient marqués par les rejets de tritium de Valduc.

La CRIIRAD a effectué une autre étude, pour la ville d'Avignon dans les années 1991-1993, sur le tritium dans les eaux souterraines autour de Marcoule. Là, nous notons un impact significatif au sud de Marcoule : 86 Bq/l au Sud et 288 Bq/l au Sud Ouest. Cette situation était due à la fois à des fuites à l'intérieur du site et au fait que les rejets atmosphériques sont tellement importants que le tritium se retrouve dans les eaux de pluie et va contaminer les eaux souterraines. Dans le cas de Marcoule, l'exploitant a été obligé de construire un mur souterrain pour que la nappe phréatique avance le moins possible vers le sud, à cause du tritium mais aussi du strontium.

Toujours dans le cadre de cette étude, nous avons démontré que nous pouvions détecter le tritium de Marcoule dans les eaux souterraines jusqu'à Avignon puisque le niveau oscillait entre 8 et 11 Bq/l alors que les niveaux attendus à l'époque dans ce secteur tournaient plutôt autour de 3 à 4 Bq/l.

Le tritium est très difficile à piéger, d'où la contamination de la nappe phréatique, autour des sites nucléaires. Ce sont des contaminations qui sont souvent localisées au droit des installations. Il y a d'autres sites où elle passe dans le domaine public. A La Hague, cette contamination concerne aussi le Centre de Stockage de la Manche (CSM). Une fois qu'il est produit, le tritium est en effet difficile à confiner. Et le premier site de stockage de France, le CSM, présente une contamination importante des eaux souterraines : plus de 10 000 becquerels par litre.

S'il y a du tritium dans l'eau et dans l'air, il y en a dans la chaîne alimentaire. Par exemple, dans les cerises à proximité de la centrale nucléaire de Saint Alban (quelques kilomètres), dans le raisin autour de Marcoule (sur plusieurs dizaines de kilomètres).

Ce document de l'IPSN montre l'accumulation du tritium organiquement lié dans les feuilles de chênes, dans la vallée du Rhône.

On s'est mis d'accord avec Mme Gazal sur le fait qu'elle allait se concentrer sur la toxicité du tritium. Donc, je ne vais pas m'exprimer là-dessus, en dehors d'un point : sous l'impulsion de l'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique), les experts de la FAO (Food and Agriculture Organization) et de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) se sont mis d'accord pour modifier le *Codex alimentarius*, c'est-à-dire la bible internationale des règles du niveau acceptable de pollution de l'alimentation. Pour le tritium, les nouvelles limites fixées dans les denrées alimentaires qui seraient contaminées suite à un accident nucléaire ou un événement radiologique (de type attentat) seraient pour le tritium organiquement lié de 1 000 becquerels par kilo dans la nourriture du nourrisson et 10 000 becquerels par kilo dans les autres types d'aliments. Ces niveaux sont très élevés. Ce qui montre le niveau de pression exercé par un certain lobby nucléaire pour nous faire avaler des niveaux de contamination dans le futur. Cette pression n'est pas étonnante : si le parc nucléaire se développe avec des combustibles qui rejettent plus de tritium de façon chronique, même en l'absence d'incidents, la courbe va s'inverser et le niveau de tritium dans l'environnement va augmenter ».

Présidente du Comité scientifique de l'ANCLI (Association nationale des commissions locales d'informations) et enseignant-chercheur à l'Université de Toulouse, Suzanne Gazal a axé son intervention autour de "quelques interrogations concernant le transfert du tritium dans l'environnement et ses effets biologiques et sanitaires".

Suzanne Gazal :

« Par-delà la problématique des rejets – directs ou indirects, liquides ou gazeux – dans l'environnement, la question qui se pose *in fine* est celle de leur éventuelle toxicité pour les organismes vivants et notamment pour l'Homme. Si cette toxicité potentielle a été étudiée, il subsiste néanmoins de nombreuses inconnues, qui relèvent tant de l'évaluation de la toxicité du tritium proprement dite, que de la problématique des transferts de celui-ci dans l'environnement.

Avant de développer ces points, je ferai un rapide rappel concernant les effets des rayonnements ionisants et les données disponibles relatives au tritium.

En ce qui concerne les effets des rayonnements ionisants, on distingue habituellement en radioprotection les effets dits "déterministes" et les effets dits "aléatoires" (ou "stochastiques"). Les

premiers sont caractérisés par (a) l'existence d'un seuil en dessous duquel cet effet n'apparaît pas, (b) le fait que leur gravité augmente avec la dose reçue, (c) le fait que les lésions sont présentes chez tous les sujets exposés. A l'inverse, les seconds sont caractérisés par (a) l'absence probable d'un seuil en dessous duquel cet effet n'apparaîtrait pas (position actuelle de la Commission International de Protection Radiologique, CIPR), (b) le fait que leur gravité n'augmente pas avec la dose reçue, (c) le fait que l'effet n'apparaît que chez certains sujets exposés et que leur probabilité d'apparition augmente avec la dose reçue. Les effets des rayonnements ionisants concernent le sujet exposé et/ou sa descendance. Ils sont précoces ou tardifs. Les effets aléatoires aujourd'hui identifiés comme tels sont les cancers et les effets héréditaires graves.

En ce qui concerne le tritium, il faut rappeler qu'il est très mobile et qu'on le retrouve dans toutes les molécules hydrogénées et notamment dans l'eau, c'est-à-dire dans l'ensemble de l'organisme. Par contre, on trouvera plutôt le tritium organiquement lié (OBT) dans les tissus à renouvellement rapide, notamment au niveau de l'ADN.

Les effets de l'eau tritiée et plus marginalement de l'OBT ont été étudiés chez l'animal – essentiellement chez les rongeurs – *in vivo* et/ou *in vitro*. On a ainsi observé des effets sur la fertilité, sur le cerveau, sur la division et la mort cellulaires. Au registre des effets aléatoires, des cancers et des effets sur la descendance de parents irradiés avant la conception ont également été mis en évidence.

Les effets sur l'homme sont quant à eux moins bien établis. Au chapitre des effets déterministes, on a observé une destruction des cellules de la moelle hématopoïétique après contamination chronique massive. Quant aux effets aléatoires, quelques études épidémiologiques conduites aux Etats-Unis auprès des travailleurs du nucléaire font état d'excès de cancers de la prostate, de cancers du rectum, de cancers pulmonaires et de leucémies. Trois études épidémiologiques conduites sur les populations autour de sites nucléaires, notamment canadiens (dotés de réacteurs à eau lourde qui rejettent des quantités significatives de tritium) évoquent un excès de leucémies infantiles et d'anomalies congénitales tant dans la population générale que chez les enfants des travailleurs exposés. Ces dernières sont corrélées dans une des études aux rejets liquides et gazeux du site nucléaire. Par ailleurs, il a été calculé une incidence de 10^{-6} effets héréditaires graves (1 cas par million) pour les populations qui consomment les poissons de la baie de la Severn à Cardiff en Grande-Bretagne. Des effets ont également été observés sur certains types de cellules sanguines (morphologie, activité enzymatique, aberrations chromosomiques) chez des travailleurs fortement contaminés.

L'évaluation de la toxicité du tritium pour l'Homme pose aujourd'hui problème à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, on manque de données épidémiologiques fiables concernant les pathologies induites par l'exposition au tritium. Les données disponibles proviennent essentiellement d'études animales et d'études cellulaires *in vitro* : la question se pose de la légitimité d'une extrapolation de ces résultats à l'Homme.

Par ailleurs, ces études ont pour la plupart été menées après exposition à l'eau tritiée. Or près de 8% du tritium incorporé se retrouverait dans l'organisme sous forme de tritium organiquement lié (OBT). Le temps de séjour de l'OBT dans l'organisme, qui peut être très supérieur à celui de l'eau tritiée (50 fois plus dans les précurseurs de l'ADN comme la thymidine par exemple), ainsi que sa localisation dans la cellule (e.g. dans l'ADN), contribuent à augmenter l'irradiation subie par elle-ci et notamment par le noyau. Les études expérimentales disponibles indiquent que l'effet de l'OBT sur les cellules pourrait être 2 à 3 fois plus élevé que celui de l'eau tritiée. Quant au tritium lié aux précurseurs de l'ADN (comme la thymidine), il serait selon diverses études 5 000 à 10 000 fois plus toxique chez les embryons de rongeurs. D'ailleurs, on ne connaît pas les niveaux d'incorporation du tritium organiquement lié dans l'ADN, pas plus que les mécanismes de réponse cellulaire aux effets du tritium (en termes de réparation, mortalité cellulaire, mutagenèse). Enfin, on sait que le tritium passe la barrière placentaire et que le fœtus, dont les tissus sont à renouvellement rapide, constitue une population sensible. Mais on ne connaît pas chez l'Homme les effets de l'exposition du fœtus au tritium organiquement lié.

D'autre part, on ne dispose aujourd'hui que de très peu de données expérimentales sur les expositions chroniques au tritium à faible dose et faible débit de dose. Or cette situation est la plus caractéristique des populations vivant autour des sites nucléaires, voire des travailleurs eux-mêmes.

De même, aucune étude n'est disponible concernant les particules tritiées et les composés organiques du tritium.

Enfin, plusieurs questions se posent qui ne sont pas spécifiques au tritium et concernent plus généralement la démarche d'évaluation du risque de la CIPR.

Tout d'abord, il conviendrait de prendre en compte les phénomènes que sont l'effet de voisinage et l'instabilité génomique transmissible. Le premier désigne les diverses modifications (mutations, réduction de la survie, ...) induites dans les cellules non irradiées situées au voisinage des cellules irradiées. L'instabilité génomique transmissible quant à elle se traduit par la survenue d'altérations biologiques diverses (remaniements chromosomiques, mutations, réduction de la survie cellulaire, ...) après plusieurs divisions de la cellule irradiée ou d'une cellule située dans le voisinage de celle-ci. La question se pose en outre de l'existence d'une éventuelle réponse adaptative (une première irradiation à faible dose atténue-t-elle les effets d'une irradiation ultérieure à forte dose ?).

Ensuite, les effets aléatoires pris en compte par la CIPR sont les cancers et les effets héréditaires graves (au sens de la CIPR, c'est-à-dire nécessitant un placement en institution) ; les autres effets héréditaires constituent de toute évidence un détrimement et doivent être pris en compte. En outre, les différents types d'effets potentiels sur la santé (réputés n'intervenir que pour des niveaux d'exposition importants) doivent être explorés.

Enfin, le calcul de la dose efficace engagée suite à une contamination intègre la sensibilité relative des différents tissus et organes aux effets aléatoires des rayonnements ionisants – sensibilité établie notamment par référence aux conséquences de l'exposition des populations aux rayonnements émis lors des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki. Or les voies d'exposition au tritium sont l'inhalation, l'ingestion et la voie transcutanée. Il s'agit donc exclusivement d'une contamination interne, aux effets encore en partie mal connus.

La réponse à l'ensemble de ces questions pourrait être de nature à modifier les données établies par les instances internationales concernant la dose engagée à l'organisme par unité d'incorporation (= par becquerel incorporé), et par voie de conséquence les limites annuelles d'exposition qui en découlent pour le public et pour les travailleurs (Tableau 1).

Précisons pour terminer que l'évaluation des effets d'une exposition au tritium est rendue d'autant plus délicate que cette exposition est elle-même très mal connue. En effet, chacune des deux formes HTO et OBT du tritium peut être assimilée sous les deux formes et dans des proportions différentes par les différents organismes vivants. La question se pose d'ailleurs d'un phénomène de bioamplification de la forme liée avec le niveau de complexité des chaînes trophiques. Le niveau et la nature de la contamination en tritium des aliments qui sont ingérés par l'Homme sont donc de ce fait mal connus ».

Tableau 1
Limites annuelles d'incorporation pour les personnes du public¹ et les travailleurs²
(en Bq/an)

		Adulte (public)	Enfant ≤ 1 an	Travailleurs
Inhalation	Eau tritiée HTO	5,5.10 ⁷	1,6.10 ⁷	1.10 ⁹
	Tritium organique	2,4.10 ⁷	9,1.10 ⁶	
	Tritium gazeux HT	5,5.10 ¹¹	1,6.10 ¹¹	
	Méthane tritié CH ₃ T	5,5.10 ⁹	1,6.10 ⁹	
Ingestion	Eau tritiée HTO	5,5.10 ⁷	1,6.10 ⁷	1.10 ⁹
	Tritium organique	2,4.10 ⁷	8,3.10 ⁶	

¹ calculées à partir des DPUI (CIPR 67, 1993 ; 69, 1994 ; 74, 1996 ; AIEA Coll. Sécurité n°115, 1997)

² CIPR 61 (1990)

A la suite des interventions, le public a pu poser un certain nombre de questions. Nous retenons ici l'essentiel des échanges.

Monsieur Marcon, président de l'association Médiane :

« J'ai retenu des modèles savants de la CIPR que l'on pouvait dormir tranquille, le tritium n'est pas grand chose. Ce sont des gens sérieux puisqu'ils sont allés injecter du tritium sur des volontaires et des enfants d'un an, il n'y a donc pas à avoir de doute sur leurs références.

Cependant, j'ai voulu savoir ce qu'en pensait la communauté scientifique internationale. Messieurs Pamela et Chatelier sont anciens responsables du département fusion de Cadarache. Ils ont écrit que dans Iter, on retrouvera 4 à 5 kilos de tritium qui se diffuse dans les métaux et pénètrent facilement dans l'organisme. On ne sait donc pas le contenir. Il faudra donc le conditionner dans des containers de 60 grammes. Il faudra aussi prévoir pour Iter une usine de traitement pour recycler le tritium.

Un deuxième scientifique, seulement Prix Nobel de physique en 2002, M. Kojiba nous dit que le tritium est hautement toxique avec une dose mortelle de 1 mg. Les deux kilos de tritium qui circulent dans Iter pourraient tuer 2 millions de personnes. S'il se combine avec l'oxygène et fuit, cela créera une situation extrêmement dangereuse. Le flux radioactif de deux kilos de tritium est à peu près du même niveau que celui produit par l'accident de Tchernobyl.

Un autre scientifique assure qu'Iter est un mauvais calcul pour la sécurité et la prolifération. Dans ce réacteur, chaque noyau est 2 000 fois plus radioactif qu'un noyau de plutonium 239. Or, on n'a toujours pas construit en France un centre de stockage des déchets tritiés irradiés. Les fuites éventuelles par le sol d'eau tritiée serait à traiter avec rigueur ainsi que le sort des déchets tritiés et des matériaux irradiés. Le tritium est, en utilisant des masses infimes, l'un des ingrédients principaux des armes nucléaires. Qui a écrit cela ? C'est M. Robert Dautray, professeur à l'Ecole Polytechnique, directeur scientifique du CEA et haut commissaire à l'énergie atomique, membre de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies.

Une autre personne très connue dans le monde pro-nucléaire assure que le tritium présente pour la santé humaine des dangers incontestables qu'il convient de ne jamais oublier. De plus, les autorités responsables des installations nucléaires, quelles soient civiles ou militaires, doivent être conscientes que le rejet de tritium dans l'environnement risque de devenir dans les années à venir un problème majeur et certainement un des principaux axes de la contestation anti-nucléaire. Ce propos est signé Christian Bataille, le député socialiste qui depuis 30 ans est l'un des principaux acteurs de la construction de centrales nucléaires en France ».

Suzanne Gazal :

« Monsieur a raison sur la gestion des eaux tritiées. La plupart des déchets tritiés sont quant à eux traités, mais il n'y a pas de filière de stockage de ces déchets. Seul le Centre de l'Aube peut recevoir des déchets, après traitement dans les usines SOCATRI et CENTRACO et sous certaines conditions. »

Alain Rannou :

« Il faut déterminer dans quelles conditions on peut être exposé à un milligramme de tritium. C'est la question qu'il faut se poser, sinon, on arrive à dire un peu n'importe quoi ».

Président de l'Ariane :

« Vous êtes en train de dire qu'un Prix Nobel dit n'importe quoi, je le note... »

Alain Rannou :

« Je ne me permettrai pas de dire cela, je dis simplement que ce Prix Nobel n'est pas issu de la discipline consistant à évaluer l'impact du tritium. Il faut être vigilant sur les risques, sans interpréter des données scientifiques qui donnent des conclusions que l'on ne peut accepter. Il y a beaucoup d'inconnues encore sur les risques encourus par une personne exposée au tritium. Pour autant, les connaissances permettent d'avoir confiance dans le système. Tenant compte de l'expérience du passé et des travaux très nombreux qui ont été menés, nous disposons d'un système de radioprotection robuste.

Mme Gazal a indiqué qu'il était difficile d'extrapoler à partir des données concernant les populations exposées d'Hiroshima et de Nagasaki. Je partage ce point de vue. Mais il existe un cheminement scientifique rigoureux qui permet de prendre en compte l'ensemble des paramètres nécessaires pour faire cette extrapolation.

S'agissant par exemple du radon, gaz radioactif naturel existant dans notre environnement, les études épidémiologiques permettent de déterminer les coefficients de risque qui sont associés à l'exposition de l'homme. Il est par ailleurs possible d'évaluer le risque en recourant à la dosimétrie fondée sur une telle extrapolation. La comparaison des résultats obtenus par ces 2 approches montre que ceux-ci sont tout-à-fait cohérents ».

Mme Sabatier, CLI du Gard (Marcoule) :

« Nous sommes venus en tant que voisins. J'ai plusieurs questions à poser. J'aimerais savoir s'il existe une carte détaillée des nappes phréatiques, du réseau hydraulique sous Cadarache, une carte identique à celle réalisée par la CRIIRAD à Marcoule. Si elle existe, a-t-elle été communiquée à la population ? D'autre part, dispose-t-on d'études sur l'impact du tritium sur les cellules humaines ? Puisque le tritium pénètre partout, une cellule contaminée peut-elle entraîner la contamination d'autres cellules ?

Si le noyau de l'ADN est touché, la mémoire de l'ADN est-elle dévariée ? Est-ce qu'à partir du noyau qui induit la fabrication du cytoplasme dans la cellule, on fabrique des molécules "de travers" ? Peut-on réparer les mémoires dévariées de l'ADN ? Y a-t-il un taux de cellules pathogènes important ? J'aimerais savoir quel type d'études ont été menées sur le sujet...

Je repars des ordres de grandeur fournies : une cellule, c'est 5 à 12 microns de distance maximum d'action ; le tritium, 1 à 7 microns... Comme le tritium pénètre partout dans le corps, toutes les cellules sont donc atteintes. J'aimerais savoir si, à ce stade de la connaissance scientifique, le principe de précaution ne pourrait pas être appliqué. Nos corps reçoivent partout de la chimie, de la physique, du nucléaire... On vit de plus en plus dangereusement parce que l'on apprend de plus en plus de choses chaque jour ».

Raymond Taillard, CLI de Cadarache :

« Je réponds à Mme Sabatier au sujet de la carte hydraulique de Cadarache. Il y a quelques années, j'avais mené une enquête auprès d'une personne qui vendait ce type de cartes. Elle m'avait appris que la carte de Cadarache avait été retirée de la circulation depuis quinze ans.

J'ai été très intéressée par l'exposé de Mme Gazal. Il aurait été intéressé qu'elle parle de la contamination indirecte par le tritium, pas seulement de la contamination directe. Je pense aux personnes contaminées par la nourriture elle-même contaminée, ce que l'on appelle les contaminations croisées, par OBT, eau tritiée ou vapeurs tritiées. Comment cette contamination se propage-t-elle dans le temps, dans la mesure où les individus contaminés restent sur place des dizaines d'années durant ?

J'aimerais que M. Chareyron revienne sur le passage du tritium à travers le métal et plus seulement à travers le béton. Le vieillissement de l'innox dans les centrales nucléaires représente-t-il un danger supplémentaire ? Je souhaiterais que M. Rannou revienne sur les effets du tritium dans l'organisme dans une intégration en continu et non sous formes de flash. Car, dans le cadre d'une contamination en continu, on peut supposer que la durée de vie de la radioactivité se prolonge d'autant plus. Quelles sont les suites physiologiques d'un individu soumis à une exposition continue ? »

Suzanne Gazal :

« Mme Sabatier, on ne connaît pas le niveau d'intégration du tritium organique dans l'ADN. Les études dont je dispose indiquent que l'eau tritiée est majoritairement assimilée sous forme d'OBT dans les végétaux aquatiques et plutôt sous forme d'eau tritiée dans les végétaux terrestres ; que le tritium organiquement lié est majoritairement assimilé sous forme d'OBT chez certains animaux terrestres mais à parts égales sous forme de tritium organiquement lié et d'eau tritiée chez les êtres humains. Il s'agit donc d'une question complexe.

Ensuite, M. Taillard, vous évoquez le tritium dans le circuit secondaire. Nous savons tous que le tritium produit dans le combustible passe un petit peu dans le circuit primaire et de là dans le circuit secondaire. Lorsqu'un exploitant a besoin de soulager la pression dans le circuit secondaire de refroidissement, il ouvre les soupapes vapeur, celle-ci est rejetée dans l'atmosphère et peut être tritiée. »

Alain Rannou.

« Nous manquons d'un certain nombre de connaissances. Face à ce mur, il manque quelques briques qui ne mettent pas tous les scientifiques à l'aise. Pour prendre une image, a-t-on besoin de comprendre parfaitement le principe du moteur à explosion pour conduire sa voiture ?

Pour répondre à une autre question sur l'exposition chronique, nous sommes là aussi confrontés à un manque de connaissances. Les modèles actuels considèrent que l'exposition chronique est équivalente à une exposition aiguë et répétée de façon continue. Cette donnée est vérifiable dans de nombreuses situations. Il faudra mener un énorme travail expérimental pour évaluer la pertinence de ces données dans toutes les situations ».

Bruno Chareyron :

« Le tritium passe-t-il à travers le métal ? Bien sûr que oui...

Passe-t-il du circuit primaire au circuit secondaire ? Bien sûr que oui... Il existe d'ailleurs un niveau de transfert autorisé. Que sait-on de ce qui passe du circuit secondaire dans la vapeur d'eau ? On sait que ce n'est pas impossible. Mais en quantité rejetée, ce doit être très faible (par rapport au rejet direct)

Quand je disais tout à l'heure que la radioactivité sortait des cheminées et n'était pas contenue dans les vapeurs, c'est pour que tout le monde ait bien conscience que cette radioactivité s'échappe des petites cheminées et non des tours, dont les vapeurs qui s'échappent sont peu (ou pas) contaminées.

Ce qui ressort de nos débats, c'est que l'on ne sait pas quels sont les effets du tritium sur l'organisme humain à faibles doses. J'avais été surpris de lire que même l'OPRI, l'ancêtre du SCPRI, considérait que le rejet de tritium dans l'environnement s'apparentait à une expérience à grande échelle.

Monsieur Renou, votre propos s'achevait tout à l'heure sur le fait que la connaissance des effets du tritium sur l'homme passerait par des études épidémiologiques ; ce qui signifie que les hommes pourraient être utilisés comme des cobayes... Je pense que l'on ne doit rejeter du tritium que lorsque cela s'impose ; et, lorsque l'on ne peut faire autrement, optimiser ces rejets, c'est-à-dire y recourir uniquement lorsque cela se justifie. »

Un membre de l'Association Médiane :

« L'objectif des pro-nucléaires est de nous convaincre que le tritium n'est pas dangereux. Pour Iter, il va falloir augmenter obligatoirement les rejets de tritium. Si cette autorisation n'est pas accordée, Iter n'aura pas lieu. C'est déjà joué... »

Une personne, se présentant comme " citoyenne lambda " :

« Je suis venue pour me faire une opinion sur le tritium. J'entends les pour et les contre, des personnes compétentes. Mais je suis perdue. J'ai quelques notions scientifiques mais je n'ai pas tout compris. Sous quelle forme le tritium se trouvera-t-il dans le réacteur d'Iter ? Atomique ou nucléaire ?

Les atomes d'hydrogène et de tritium passent à travers tout : sous quelle forme le tritium se diffuse-t-il ? Sachant que le gaz se diffuse rapidement et ne restera pas confiné dans les environs d'Iter. Même chose pour la vapeur d'eau, c'est comme le nuage de Tchernobyl, cela peut voyager loin... Je n'y comprends rien ; je n'ai pas compris dans quelles conditions nous pourrions être soumis à des formes dangereuses de tritium. En écoutant les pour et les contre, je reste perdue. »

Après un premier échange avec la salle, Monsieur Maubert, représentant du CEA/Cadarache a exposé les mesures et les calculs d'impact sur le site de Cadarache.

2^e PARTIE : LES REJETS DE TRITIUM DU CEA/CADARACHE

Henri Maubert :

« Avant de commencer, je vais directement répondre à une question posée tout à l'heure concernant le tritium présent dans les eaux souterraines de Cadarache. Près des installations, à certains points, on trouve un peu de tritium, de l'ordre de 20 Bq/l. Toutes ces informations sont données à la CLI.

L'origine du tritium dans les réacteurs nucléaires relève de l'activation du bore, un réactif présent dans l'eau de refroidissement, ou bien de fissions ternaires de l'uranium.

A Cadarache, les installations rejetant du tritium disposent d'autorisations de rejets. En voici la liste : CABRI, un réacteur de recherche ; STEDS, station de traitement des effluents et des déchets ; MASURCA, un réacteur de recherche ; LECA, un laboratoire de combustibles qui ont été irradiés et qui peuvent contenir un peu de tritium ; STAR, une installation identique à la précédente ; INB 56, un entreposage de déchets ; PHEBUS, un réacteur de recherche ; CEDRA, un entreposage de déchets ; ARENA-TA (RES), un réacteur d'essais au sol, servant de base secrète pour les recherches en matière de propulsion nucléaire navale.

Au sujet des rejets liquides, l'autorisation ne concerne pas une installation en particulier mais relève d'une autorisation globale car le seul exutoire se trouve en Durance.

Les autorisations de rejets atmosphériques cumulées annuelles, sont de 17 600 Gbq. Pour les rejets liquides, les autorisations annuelles sont de 1 000 Gbq.

Pour le suivi des rejets atmosphériques et liquides de Cadarache, sur une période s'étalant de 1998 à 2007, l'activité du tritium mesurée en Tera Becquerel est en dessous des 0,50, loin donc des autorisations.

Dans les installations, le pourcentage des rejets au regard des autorisations accordées nous permet de constater que dans de nombreux cas, nous sommes à zéro ; soit parce que la valeur est très inférieure à 0 % et que son arrondi est de zéro ; soit parce qu'il s'agit d'une station qui ne fonctionne pas ou qui se trouve en cours de rénovation ; c'est le cas du réacteur MASURCA. Pour la station de traitement des effluents et des rejets, nous atteignons 25 % du niveau total de l'autorisation accordée.

De 1998 à 2007, sur les rejets liquides, nous constatons un niveau toujours inférieur à 30 % des autorisations. Ce niveau peut fluctuer parce que Cadarache est un centre de recherche dont l'activité évolue dans le temps.

Le CEA/Cadarache informe sur les rejets de tritium dans l'environnement. Nous faisons des prélèvements dans un certain nombre de stations du milieu aquatique (Verdon, Durance...) et dans le milieu terrestre (sols, végétaux, et plus rarement lait). Nous disposons aussi de stations de mesures en milieu atmosphérique où l'on échantillonne l'air pour mesurer la présence de tritium.

Sur les dix dernières années, ces mesures débouchent sur le bilan suivant : dans l'atmosphère, nous sommes inférieurs par 1 becquerel par mètre cube d'air : dans l'eau de surface, notamment celle qui alimente la Durance, nous sommes inférieurs à 6 Bq/l ; pour l'eau de source (Font Reynaude-St-Paul), nous sommes inférieurs à 6 Bq/l ; quant au végétal bio-indicateur, en l'occurrence le thym, pour le tritium organique total (à savoir échangeable et non-échangeable), nous sommes inférieurs à 3 Bq par kilo sec.

Dans tous les milieux qui entourent Cadarache, les niveaux de tritium sont équivalents au bruit de fond décelable sur l'ensemble du territoire.

La dose annuelle due à la radioactivité naturelle est de 2,4 millièmes de sievert/an. Pour les populations, l'impact du tritium provenant de Cadarache est très inférieur à la limite de 1 mSv/an. L'impact total de la dose liée au tritium est de 1 à 2 millionnièmes de microSv/an. Enfin, la dose due à l'ensemble des rejets est inférieure à 0,1 millième de Sv/an. Dans ce contexte, l'impact de l'activité de Cadarache relativement aux rejets de tritium s'évalue à des millionnièmes de millionnièmes de Sv. C'est vraiment insignifiant. C'est le résultat d'un calcul mais cette valeur n'a pas réellement de sens scientifique en termes d'impact.

Pour les travailleurs, la limite est de 20 000 millièmes de Sv/an. Pour le public, d'un millième de Sv/an. Les rejets de tritium de Cadarache se mesurent en millièmes de cet ensemble ».

Carlos Alejarde, directeur de la sûreté et de la sécurité d'Iter Organisation, et Maurice Wellhoff, président du Comité de défense de l'environnement Jouques-Peyrolles (CDEJP), ont ensuite rejoint la tribune.

Maurice Wellhoff :

« Notre association existe depuis 30 ans. Elle participe aux travaux de la CLI. Les accidents de cet été à Tricastin et dans d'autres pays, avec des rejets d'uranium importants, montrent qu'il faut rester prudent. Nous n'avons pas des gens complètement irresponsables à Cadarache. Mais on se rend qu'il peut aussi se produire des incidents.

Sur Iter, nous savons que du tritium sera utilisé. Je regrette que la réunion d'aujourd'hui n'ait pas eu lieu avant l'installation d'Iter. En ce qui concerne le tritium, j'ai noté que des études épidémiologiques avaient été menées au Canada et en France ; il serait judicieux d'en faire de nouvelles autour de La Hague et de Marcoule. Certes, le tritium, ce n'est pas du plutonium. Mais tout de même, il faut continuer à débattre ».

Un représentant de l'Association APTE (Association pour la Promotion des Techniques Ecologiques) :

« J'ai deux points importants à signaler.

Je connais des amis qui travaillent à Cadarache et qui m'expliquent que le nucléaire n'est pas si propre que ça. L'ami en question travaille à Areva. Il m'expliquait que l'on ramassait du plutonium partout dans Cadarache.

J'ai par ailleurs connu une secrétaire de direction de Cadarache qui avait expédié un courrier à la direction du CEA pour obtenir des informations sur le nombre important de cancers de la prostate. Elle n'a pas reçu de réponse, j'espère que vous allez pouvoir répondre ».

Henri Maubert :

« Sur le fait qu'il y aurait du plutonium à Cadarache, quand même... Il y a un atelier de plutonium à Cadarache. Il est parfaitement confiné, les quantités sont parfaitement connues : le plutonium ne se " ballade " pas, il est contrôlé au milligramme près.

Sur les cancers, 25 % des personnes qui meurent sont victimes d'un cancer. Malheureusement, les travailleurs du nucléaire y sont aussi soumis. Il y a donc des cancers chez les travailleurs du nucléaire comme ailleurs. Quant au courrier dont vous parlez, on ne le connaît pas ».

Suzanne Gazal :

« En tant que Présidente du Comité Scientifique de l'ANCLI, je ne peux pas me satisfaire d'entendre dire que les cancers relèvent d'un processus banal. Sur le cancer de la prostate, une des rares études épidémiologiques disponibles sur le tritium fait état d'un lien entre exposition aux rayonnements ionisants et cancer de la prostate. »

Monique Fouchet, vice-présidente de la CLI Cadarache, association Fare Sud :

« Trois choses :

Les études épidémiologiques en France sont vraiment nulles. Il faudrait commencer par disposer d'un registre des cancers dans tous les départements. Or, si mes souvenirs sont bons, il y a 17 % de la population qui se trouvent enregistrés dans les registres actuels. D'où l'impossibilité de réaliser des études épidémiologiques valables.

Les effets des faibles doses de radioactivité sous forme chronique ne font pas l'objet d'études sérieuses. Les calculs de doses sont effectués à partir des effets observés sur les survivants d'Hiroshima et Nagasaki.

Sur le tritium organiquement lié, 80 % de la quantité de tritium lié à la matière organique est intégré à la molécule de structure lignine cellulose ; le tritium est alors fixé à demeure ; cela a été dit par Mme Gazal mais on l'a à peine entendue. Ces informations sont tirées d'une fiche de la CRIIRAD ».

Un habitant de Jouques :

« J'ai une petite question sur le tritium. C'est quelque chose de très volatil. Je voudrais savoir comment ça se transporte. Il y aura des rejets mais aussi des déchets. Qu'est-il prévu pour retraiter ces déchets là ? »

Henri Maubert :

« Le déplacement du tritium se fait dans des containers adaptés. »

L'habitant de Jouques :

« Je parlais du tritium transporté pour utilisation ou expérience. Comme il passe partout, comment peut-il être transporté ? »

Henri Maubert :

« Le tritium est transporté dans des flacons. Il traverse les parois lentement. Dans un container très étanche, le transfert va être extrêmement lent, sinon nul. Sur une installation, le stockage du tritium se fait à très basses températures. Donc, il ne bouge plus. On peut le déstocker en élevant légèrement la température pour en faire des expérimentations.

Quant aux déchets, qui peuvent être fortement tritiés dans certaines installations, ils subissent un processus de détritiation. Le tritium peut se dégager des déchets dans une enceinte ; cette dernière est elle-même reliée à un dispositif de détritiation ; le tritium est alors récupéré sur des tamis moléculaires et peut être recyclé pour des expériences.

Quand le déchet est faiblement tritié, il se dégage dans l'atmosphère. C'est pour cette raison que nous avons vu tout à l'heure qu'à Cadarache, nous avons des autorisations de rejets de tritium. Mais il faut le replacer à l'aune des conséquences qui, nous l'avons vu, sont faibles. »

Carlos Alejaldre :

« Nous sommes très prudents dans l'utilisation du tritium. L'objectif d'Iter n'est pas la production de tritium mais la combustion du tritium. Pour nous, le tritium est très important. Nous devons payer pour avoir du tritium et il est très cher. Il n'est pas un rejet mais un capital.

Le dégazage dans les transports est très faible sinon nul. Mais je le répète : notre objectif est de conserver tout le tritium. Nous construisons un réacteur qui sera très avancé en la matière.

Pour ce projet international, nous avons conclu un accord avec les autorités françaises pour que la réglementation en vigueur soit celle du pays hôte ».

Monsieur Laurent Roy, Délégué territorial de l'Autorité de sûreté du nucléaire (ASN), a été invité à conclure les débats.

Laurent ROY :

« Je n'ai pas la prétention de vouloir conclure ce débat. Juste d'apporter quelques éléments d'information. Notre mission à l'ASN n'est ni d'inquiéter, ni de rassurer. Notre but est de faire en sorte que le débat ait lieu.

Ce soir, vous avez bien compris que le débat ne faisait que commencer. Sur l'ITER, la procédure administrative d'autorisation de rejets de tritium n'a même pas été lancée. Pour accompagner cette phase, une CLI spécifique verra le jour, probablement avant la fin de l'année, ce qui permettra d'avoir un débat approfondi sur les questions que soulève cette nouvelle installation.

Pourquoi un tel débat sur le tritium ? Ce radionucléide interroge. Des éléments de débat nouveaux sont apparus, comme le rapport de l'agence de l'environnement britannique qui mettait en évidence la présence de tritium organique dans des organismes marins.

Le débat est d'autant plus nécessaire qu'aucune solution totalement efficace n'existe pour traiter le tritium. Le tritium est en effet un élément très mobile, cela dit, il est faiblement radiotoxique. Pour toutes ces raisons, l'ASN a décidé de mettre en place deux groupes de travail sur le sujet.

Le premier se penchera sur l'impact du tritium, les conditions de son passage dans la biosphère, les effets sur les organismes vivants ; faut-il ainsi réévaluer les effets du rayonnement Bêta, qui n'est pas du rayonnement alpha ?

Le deuxième groupe de travail analysera le concept de défense en profondeur, l'augmentation des rejets, l'utilisation de nouveaux combustibles : quelles conséquences ? Quelles solutions ?

Les premières conclusions synthétiques seront rendues fin 2008 ; un livre blanc sera publié au début de l'année 2009. Notre souci est d'ouvrir le débat et de le maintenir le plus éclairé.

ANNEXES :

1. Diapositives de l'intervention de Monsieur Renaud
2. Diapositives de l'intervention de Monsieur Rannou
3. Diapositives de l'intervention de Monsieur Chareyron
4. Diapositives de l'intervention de Monsieur Maubert