

Le procédé mis en œuvre sur l'usine AREVA NC de La Hague pour le traitement des combustibles usés conduit à un rejet de tritium libre

Jean-François Valéry¹, Patrick Devin²,
¹AREVA NC
²AREVA

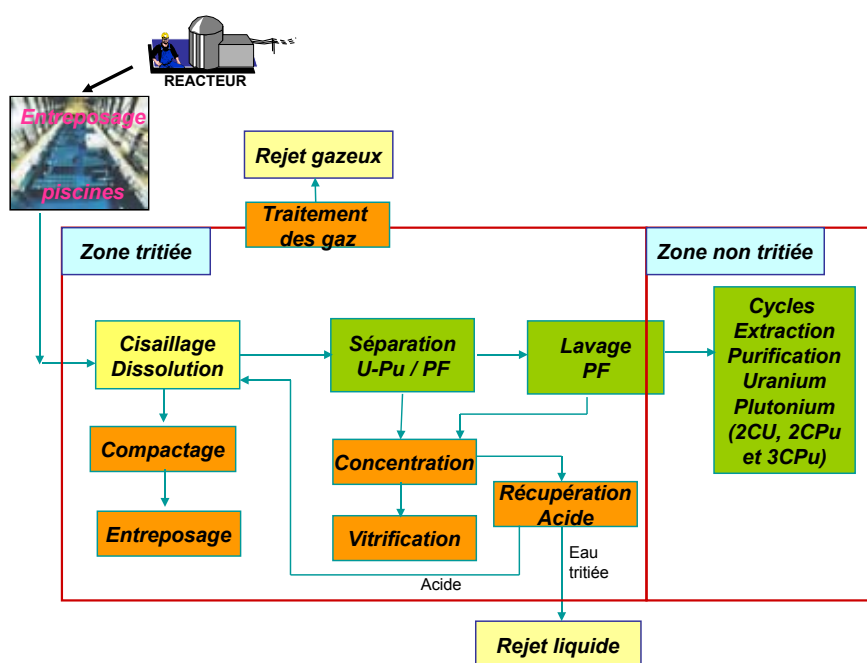
Le procédé hydrométallurgique mis en œuvre dans l'usine AREVA NC de La Hague pour le traitement des combustibles usés conduit à un rejet de tritium libre, principalement sous forme liquide dans le milieu marin. Cet article apporte dans un premier temps les éléments destinés à mieux cerner la gestion de l'extractant (TBP) et du diluant (TPH) mis en œuvre dans les unités de production et constituant l'essentiel du flux d'organiques. Ces deux premières parties ont pour objectif de démontrer l'absence de tritiation de ces molécules organiques, ce qui est consolidé dans les deux dernières parties consacrées à la métrologie du tritium dans les rejets et la surveillance de l'environnement.

1 | Maintien du tritium dans une zone tritiée

Après cisailage et dissolution du combustible, le tritium contenu dans le gainage reste piégé dans les coques destinées à être compactées et conditionnées en CSD-C, après lavage et séchage, pour constituer un déchet solide.

La fraction du tritium contenue dans l'oxyde du combustible (non piégé dans les gaines du combustible) est quant à elle libérée lors de l'opération de dissolution. Le tritium est ensuite rejeté en mer principalement dans les eaux dites « tritiées » (environ 99,5 %) épurées des autres radionucléides. Une infime partie de ce tritium, compte tenu des propriétés de diffusion de ce radionucléide, est rejetée sous forme gazeuse à partir de la ventilation du procédé de traitement (environ 0,5 %).

Figure 1 : Illustration du comportement du tritium lors du traitement du combustible usé



Les installations de traitement de l'usine AREVA NC de La Hague ont été conçues de façon à confiner le tritium dans une zone restreinte de l'usine appelée zone tritiée et à le canaliser pour son rejet en mer (voir figure 1).

Les objectifs suivis sont :

- d'une part, de simplifier la manipulation d'acide nitrique recyclé dans la zone non tritiée et de limiter le risque de contamination des travailleurs à la zone tritiée,
- d'autre part, de minimiser les rejets de tritium dans les effluents gazeux et de favoriser les rejets de tritium dans les effluents liquides afin de bénéficier de l'importante réduction de l'impact permise par la dilution dans le milieu marin.

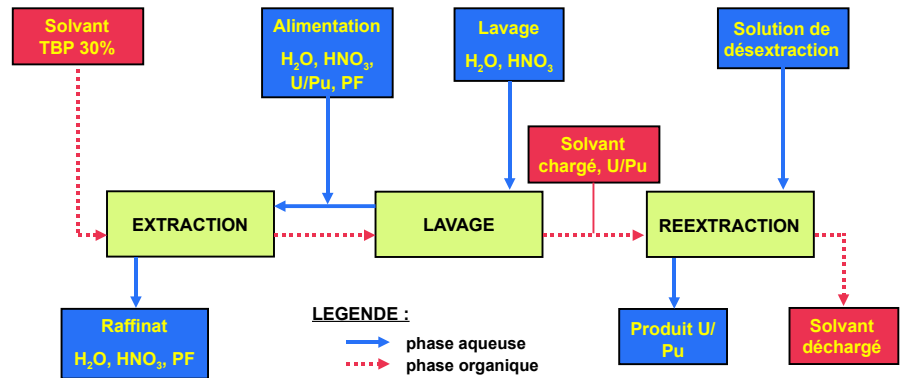
Lors des opérations de dissolution dans l'acide nitrique et d'extraction en phase solvant, le tritium contenu dans le combustible reste donc principalement dans la phase liquide aqueuse contenant les produits de fission (sous la forme HTO, TNO₃). L'essentiel du tritium est confiné dans une seule partie de l'usine correspondant à la tête d'usine et aux unités de concentration des produits de fission. Cette quantité est réduite au maximum en lavant le solvant avec une solution nitrique diluée préparée à partir d'eau non tritiée. Lors de la dernière opération de concentration des produits de fission, le tritium suit le flux aqueux et se retrouve principalement dans les distillats d'évaporation (eaux tritiées).

Le flux liquide qui existe entre la zone tritiée et la zone non tritiée de l'usine AREVA NC de La Hague est donc celui du solvant (solvant chargé et solvant recyclé).

Les gaz de ventilation sont lavés avec une solution d'eau non tritiée dans les unités de traitement des gaz afin de réduire les rejets de tritium vers l'atmosphère.

- une étape d'extraction au cours de laquelle l'uranium et/ou le plutonium sont extraits par le TBP présent dans le solvant, tandis que les PF non extraits restent dans le raffinat aqueux,
- une étape de lavage de la phase organique chargée, par une solution acide; ce lavage permettant une meilleure décontamination vis-à-vis des PF,
- une étape de réextraction, au cours de laquelle l'uranium et le plutonium (ensemble ou successivement) sont réextraits par une phase aqueuse.

Figure 2 : Schéma général d'un cycle d'extraction



2 | Gestion du solvant organique dans l'usine AREVA NC de La Hague

2|1 | Principe général d'un cycle d'extraction

Le procédé mis en œuvre dans l'usine AREVA NC de La Hague consiste en une récupération des matières valorisables à l'aide d'un procédé de type hydrométallurgique fondé sur le principe de l'extraction liquide / liquide. Il s'agit du **procédé PUREX**.

Le solvant utilisé dans ce procédé est un solvant sélectif de l'U et du Pu (les produits de fission et le tritium notamment restent en phase aqueuse). Celui-ci comprend un extractant et un diluant.

L'extractant utilisé dans l'usine AREVA NC de La Hague est le TBP (TriButylPhosphate, C₁₂H₂₇PO₄). Le même produit est mis en œuvre pour les usines de recyclage anglaise (usine THORP) et japonaise (usine RRP). Cet extractant a été choisi pour :

- sa sélectivité vis-à-vis de l'U et Pu,
- sa bonne résistance à l'hydrolyse dans les milieux nitriques et à la radiolyse,
- son aptitude à la régénération chimique.

L'extractant mis en œuvre dans les usines de recyclage de combustibles usés est dilué dans un diluant inerte qui améliore ses propriétés hydrodynamiques. Il permet en effet une baisse de la densité et de la viscosité du solvant par rapport aux caractéristiques de l'extractant seul.

Le diluant utilisé à La Hague est le TPH (TétraPolypropylène Hydrogéné). Ce composé n'est pas soluble dans l'eau. Il n'est donc pas présent dans les rejets liquides du site.

Pour les usines anglaise et japonaise, le diluant utilisé est respectivement l'Odorless Kérosène (THORP) et le n-dodécane (RRP).

La mise en œuvre d'un cycle d'extraction liquide/liquide pour la récupération de l'uranium et du plutonium comprend au minimum (voir figure 2) :

Le lavage qui est effectué sur le solvant chargé avant réextraction avec une phase aqueuse non tritiée constitue le barrage tritium. Ce barrage prévient ainsi la sortie d'eau tritiée vers la zone non tritiée de l'usine AREVA NC de La Hague.

2|2 | Dégradation du solvant et traitement du solvant

Au cours de son utilisation, le TBP est soumis à deux phénomènes de dégradation : l'hydrolyse et la radiolyse. Le taux de dégradation du TBP dépend essentiellement de son temps de séjour dans le cycle, c'est-à-dire de son temps de contact avec les phases aqueuses et les matières radioactives.

Ces deux phénomènes de dégradation conduisent :

- essentiellement à des produits de dégradation acides : HDBP (acide dibutylphosphorique), H₂MBP (acide monobutylphosphorique), H₃PO₄ (acide phosphorique),
- en proportion moindre, à des acides carboxyliques, des espèces organiques types ROH, RCO, RNO₂, RNO₃.

Les phénomènes d'hydrolyse et de radiolyse sont d'intensité variable en fonction des cycles concernés, c'est-à-dire de leur acidité, du type et du niveau de la radioactivité

Avant réutilisation dans les cycles d'extraction, le solvant doit être traité chimiquement pour éviter l'accumulation de ces produits de dégradation résultant de l'hydrolyse et de la radiolyse et aussi d'espèces entraînées tels que U, Pu et produits de fission.

Cette opération d'épuration est effectuée dans les unités de traitement solvant. Elles comprennent les opérations suivantes (voir figure 3) :

- un lavage au carbonate de sodium (Na₂CO₃) qui permet :
- l'élimination de l'U et du Pu présents dans le solvant, par formation de complexes solubles en phase aqueuse,
- la neutralisation de l'acide contenu dans le solvant en sortie du (des) cycle(s) d'extraction.

- un lavage à l'acide nitrique (HNO_3) qui permet l'extraction des complexes à longues chaînes formés pendant le lavage au carbonate et présents dans le solvant.
- Effectué entre deux lavages au carbonate, ce lavage à l'acide nitrique permet de clarifier le solvant pour limiter les entraînements de phase aqueuse.
- un lavage à la soude (NaOH) qui permet l'élimination de HDBP et de H_2MBP présents dans le solvant.

Figure 3 : Schéma général d'un traitement solvant

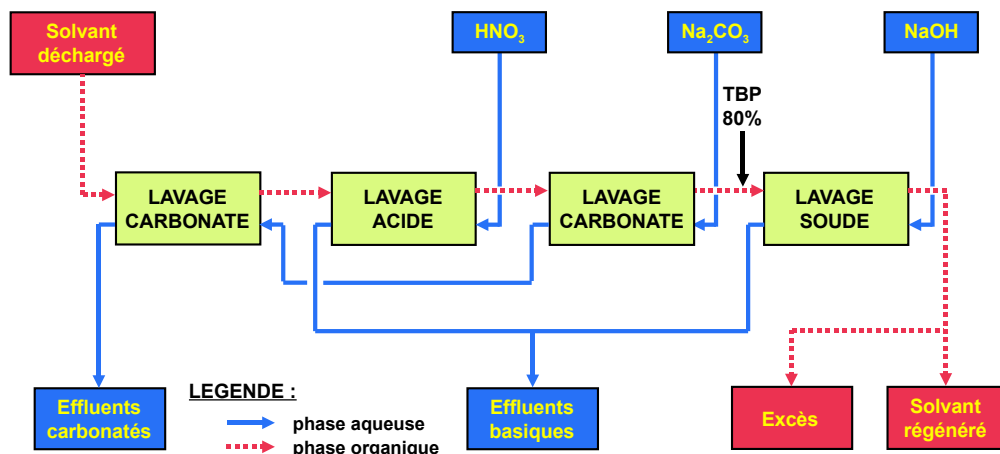
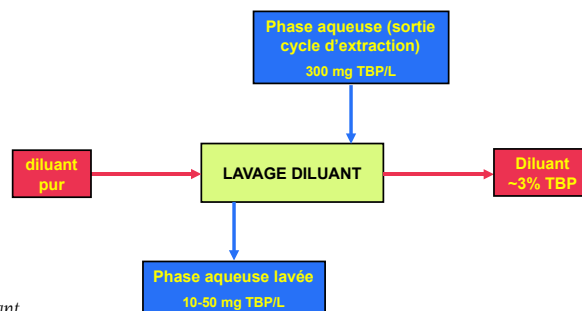


Figure 4 : Principe d'un lavage diluant



Les effluents alcalins générés par les unités de traitement solvant sont ensuite dirigés vers des unités de concentration. Les concentrats d'effluents basiques qui en résultent sont alors envoyés :

- soit vers une unité de vitrification,
- Préalablement à l'étape de calcination / vitrification un traitement de minéralisation (traitement de Fenton) est réalisé afin de détruire les molécules organiques contenues dans les concentrats.
- Soit vers une unité de traitement chimique (atelier STE 3).
- Dans le cadre de cette unité, un séparateur solvant est présent en entrée de la chaîne de traitement chimique afin d'éviter l'entrée de phase organique démixée dans le procédé.
- Pour la fraction du TBP dissous dans les effluents à traiter, on observe un entraînement de ce TBP avec les boues issues des co-précipitations du traitement chimique.

A noter que les effluents issus des unités de traitement solvant des cycles uranium sont dirigés vers le réseau des effluents V (effluents à vérifier avant rejet). Pour mémoire, il s'agit de cycles uranium non tritiés et pour lesquels l'activité est très faible.

2|3| Lavage au diluant

Toute phase aqueuse sortant d'un cycle d'extraction contient du TBP dissous et une fraction de TBP entraîné mécaniquement. Suivant l'acidité et la température, la teneur en TBP dissous dans une phase aqueuse se situe entre 200 et 300 mg/L. La fraction due à l'entraînement mécanique dépend du type d'extracteur utilisé (stabilité de l'émulsion créée).

Toutes les phases aqueuses sortant d'un cycle d'extraction sont dirigées, directement ou indirectement, vers un évaporateur dans lequel le TBP est indésirable.

Aussi, afin de réduire au maximum l'entraînement de TBP dans les phases aqueuses, celles-ci sont systématiquement lavées par un petit débit de diluant (figure 4).

Les lavages diluant se montrent très efficaces. La gestion choisie pour l'usine AREVA NC de La Hague consiste alors à mélanger le diluant additionnel à la boucle solvant du cycle concerné, avec pour double conséquence :

- l'augmentation de l'inventaire (ou hold-up) de la boucle solvant,
- la diminution de la concentration en TBP dans la boucle solvant.
- Cette diminution de la concentration en TBP nécessite donc de faire un appoint de TBP concentré ($\text{TBP} \gg 30\%$) dans les cycles pour rétablir le titre à 30%, ce qui augmente encore l'inventaire des boucles solvants.

L'unité de traitement des effluents organiques présentée dans le chapitre suivant permet de maîtriser ces conséquences.

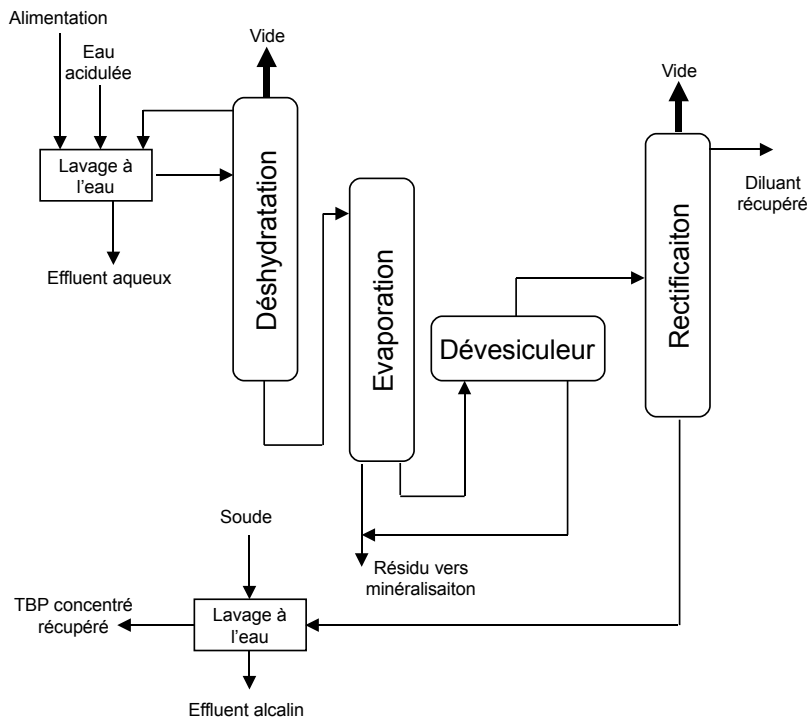
2|4| Traitement des effluents organiques : l'unité TEO

L'unité TEO permet de traiter l'excès de solvant engendré par l'utilisation des lavages diluant et de procéder à une épuration approfondie du solvant de ses produits de dégradation.

Elle inclut une étape d'évaporation et une étape de distillation sous vide permettant de purifier et de séparer le diluant et le TBP concentré tout en limitant la dégradation thermique (voir figure 5).

L'étape d'évaporation produit un résidu de faible débit qui constitue le déchet organique ultime. Celui-ci fait l'objet d'une destruction par minéralisation.

L'étape de distillation produit, en tête de colonne, un diluant quasi exempt de TBP et en pied de colonne, du TBP à 80%. Ces deux produits sont recyclés dans les cycles d'extraction de l'usine AREVA NC de La Hague.



2|5| Bilan

Le mode de gestion du solvant dans l'usine AREVA NC de La Hague procure un bon renouvellement des boucles solvant ce qui constitue une condition essentielle au maintien de l'efficacité des extractions. Cette gestion produit par ailleurs un faible volume de déchets organiques à traiter et à conditionner.

Un fonctionnement des extractions des unités de production de l'usine AREVA NC de La Hague (UP3 et UP2-800) a ainsi été réalisé sans renouvellement massif du solvant depuis leur démarrage (> 15 ans).

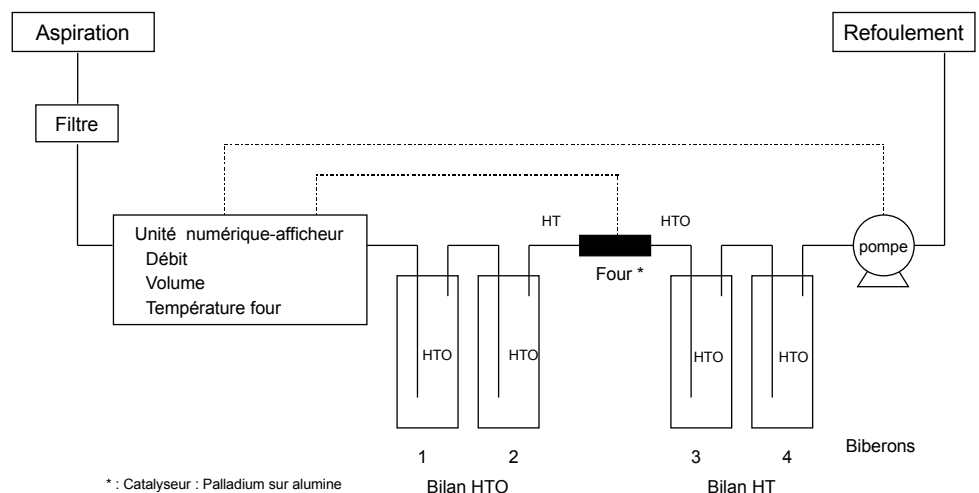
Aucun transfert de tritium via le solvant organique n'a été observé des zones tritiées vers les zones non tritiées des usines durant cette période.

3| Mesure de l'activité tritium dans les effluents

Concernant les effluents aqueux, chaque cuve d'effluent à rejeter en mer fait l'objet d'analyses avant l'autorisation de rejet en mer et pour permettre la réalisation des bilans mensuels réglementaires. Le tritium est majoritairement sous forme d'eau tritiée HTO (environ 250 g de HTO dans 40 000 t d'eau soit environ 38 g de tritium : dilution 1/160 000 000). La mesure de l'activité du tritium est effectuée pour chaque rejet d'effluents susceptibles d'en contenir. Cette mesure est réalisée par scintillation liquide à partir d'un mélange de l'échantillon représentatif, dilué et/ou distillé, avec du liquide scintillant.

Les gaz libérés lors des opérations de cisailage et de dissolution passent dans différentes colonnes de recombinaison et de lavage puis sont filtrés avant rejet. La radioactivité résiduelle rejetée sous forme de gaz transite par les émissaires qui font l'objet d'une surveillance en temps réel et des prélèvements en continu analysés au laboratoire. Le tritium contenu dans les effluents gazeux est piégé pour mesures et bilans dans 4 pots en série remplis d'eau. Le contenu des quatre pots des barboteurs en place, prélevé par période (1 au 7, 8 au 14, 15 au 21 et 22 au dernier jour du mois), permet la mesure de l'activité par scintillation liquide. La vapeur d'eau tritiée (HTO) ainsi que le gaz tritium (HT) oxydé à l'aide d'un four sont ainsi mesurés (voir figure 6).

Figure 6 : Mesure du tritium gazeux



* : Catalyseur : Palladium sur alumine

L'ensemble de ces mesures fait l'objet de contrôles croisés spécifiés par l'ASN et réalisés par l'IRSN. Ils font également l'objet de contrôles inopinés réalisés par l'ASN. Enfin, ils ont également été soumis à une visite de vérification de la Commission européenne dans le cadre de l'article 35 du traité Euratom.

4 | Surveillance du tritium dans l'environnement

Le programme annuel de surveillance de la radioactivité de l'environnement est établi sous le contrôle de l'ASN. Il fixe les natures, fréquences, localisations et modalités techniques des mesures. Les résultats sont transmis mensuellement dans les registres réglementaires à l'ASN et depuis début 2009 au réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement géré par l'IRSN. Ces données sont intégrées dans le rapport annuel public présenté à la Commission Locale d'Information (CLI) de La Hague. Elles sont également présentées dans le rapport environnemental, social et sociétal de l'établissement et seront consultables par le public sur Internet en 2010 dans le cadre du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement. La surveillance de l'environnement et des rejets représente annuellement environ 20 000 prélèvements et 70 000 analyses. La mesure du tritium, tout milieu confondu (marin, atmosphérique, aquatique et terrestre) représente environ 8800 mesures, soit plus de 12 % des mesures du programme annuel de surveillance.

Dans le milieu marin, 400 mesures de tritium libre sont réalisées par scintillation liquide sur des échantillons filtrés d'eau de mer à la côte et au large. Des mesures non réglementaires de tritium sont également effectuées en complément pour expertise sur des algues (*fucus*) en Bq/kg frais dont les résultats indiquent une activité de l'ordre de quelques Bq/L en tritium libre ainsi qu'en tritium lié (TOL : Tritium Organiquement lié ou encore OBT : Organically Bounded Tritium). En parallèle, l'ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest) qui réalise une surveillance autour du site notamment, a présenté des résultats similaires sur son site internet ¹ (tritium libre uniquement).

Les analyses sont effectuées pour la plupart par le laboratoire environnement de l'établissement, agréé par l'ASN et également accrédité par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation) depuis 1996.

960 mesures de tritium dans l'air par an sont réalisées par scintillation liquide, environ 450 sur les eaux de pluie, les eaux de ruisseaux et les eaux de consommation et 1400 (réglementaires et non réglementaires) sur les eaux souterraines.

Enfin, et en complément d'environ 80 mesures de tritium libre dans le lait, environ 90 mesures de tritium lié (TOL) sont réalisées annuellement sur les végétaux (herbes et végétaux aquatiques), les fruits et légumes, dans la viande et dans les produits fermiers. La mesure du tritium lié se fait suivant la méthode suivante : combustion de l'échantillon sec dans un four à 900°C sous flux gazeux Ar/O₂. Récupération de la vapeur d'eau tritiée dans 2 pièges froids. Distillation de l'eau de combustion obtenue puis mesure du tritium par scintillation liquide (méthode CETAMA n°384 : « Dosage du tritium dans les matrices biologiques »).

Les activités mesurées dans l'environnement sont du même ordre de grandeur que les activités calculées par ACADIE² : en 2006, le rapport entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées valait 0,98 dans la zone de dilution de 1 [1]. Le tritium est notamment utilisé pour valider le modèle de dispersion marine DISPRO développé par IFREMER et l'IRSN. Ce modèle est validé par l'IRSN pour AREVA NC La Hague à partir de la réalisation de plusieurs campagnes de mesures en mer. De nouvelles campagnes de mesures sont en cours pour modéliser la dilution des effluents tritiés en profondeur (programme DISVER).

Par ailleurs, des questions sur l'hypothèse d'une bioaccumulation du tritium et de la présence de tritium sous forme organique (TOL) dans les organismes marins ont été soulevées par les associations membres du Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (GRNC). Ce phénomène n'est pas pris en compte par le GRNC ni dans les mesures réalisées dans le milieu marin autour de La Hague. Une étude de l'IRSN [2] concernant l'analyse critique des données disponibles de carbone 14 et de tritium dans le Nord Cotentin et en Manche a été réalisée afin d'apporter des

éclairages sur ces questions. Cette étude conclut, sur la base des travaux réalisés par l'IRSN, que le facteur de concentration du tritium dans diverses espèces marines de l'écosystème de La Hague est proche de 1 contrairement à celui observé dans les écosystèmes comme ceux du chenal de Bristol (le tritium y est présent à plus de 85 % sous forme organique TOL dans les organismes) ou de Sellafeld. Ceci a été confirmé par les résultats de la campagne de mesures sur le tritium organique réalisée par l'IRSN pour EDF dans le cadre du bilan radioécologique décennal de la CNPE de Flamanville en Nord-Cotentin. En effet, il ressort de cette campagne que l'activité moyenne des organismes en TOL (eau de combustion) et en HTO (eau libre) est de 10 Bq/L, que le rapport moyen TOL/HTO est de $1,1 \pm 0,3$, que l'activité moyenne de l'eau de mer étant de 10 Bq/L (pour une eau entrant en Manche de l'ordre de 0,1 à 0,2 Bq/L), le facteur de concentration moyen est de 1 et enfin que le tritium est présent à plus de 85 % sous forme libre dans les organismes.

Par la suite, le laboratoire de radioécologie de Cherbourg (LRC) de l'IRSN a poursuivi ses investigations qui ont été présentées lors des journées SFRP sur le tritium les 23 et 24 septembre 2009 [3]. Ainsi, le LRC dispose d'une base de données de mesures de tritium libre (HTO) et organiquement lié (TOL ou OBT en anglais) dans 91 organismes marins prélevés en Manche entre 2000 et 2009. Les résultats de ces analyses sont synthétisés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Synthèse des analyses en OBT et HTO dans 91 organismes marins prélevés en Manche entre 2000 et 2009

Organismes marins	Nombre d'échantillons	HTO (en Bq/L)		TOL (en Bq/L)		Rapport TOL/HTO
		min	max	min	max	
Algues	57	1,4	12,1	2,0	12,5	1,6±0,8
Crustacés	6	3,0	12,5	3,1	16,0	1,2±0,8
Echinodermes	1	*	2,5	*	9,7	3,9
Mollusques	15	2,4	19,3	4,2	14,2	1,0±0,5
Poissons	12	2,5	14,0	4,2	13,8	1,7±1,3

L'ensemble de ces mesures indique que le rapport TOL/HTO est égal à $1,6 \pm 0,8$. L'IRSN conclut qu'actuellement, il n'y a pas d'indice de rejets de molécules marquées avec un rapport isotopique supérieur à celui de HTO en Manche.

L'étude du comportement du tritium dans l'environnement par l'IRSN conduit à considérer que le tritium, sous forme de molécules d'eau tritiée (HTO), ne suit pas un processus d'accumulation dans les organismes vivants ou tout autre compartiment de l'environnement. Un processus d'accumulation correspond plutôt à une concentration sélective d'une substance dans un compartiment de l'environnement comme ceci est observable pour le PCB par exemple. Or, l'observation du tritium dans l'environnement répondrait davantage à un processus de rémanence ou de persistance du tritium incorporé dans la matière organique des espèces notamment par le processus de la photosynthèse. En ce sens, le tritium suit le cycle de l'hydrogène [4]. Les molécules d'eau tritiée de l'eau de constitution des espèces vivantes s'échangent rapidement en fonction des variations de concentration de HTO dans l'eau de mer alors que les molécules organiques qui ont incorporé du tritium ont des vitesses de renouvellement beaucoup plus lentes.

La formule pourrait être inversée pour Stuart Jenkinson du CEFAS [5] comme l'ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest) l'avait souligné au travers de différentes communications notamment lors du colloque sur le tritium organisé par l'ANCCLI le 10

¹ <http://www.acro.eu.org>

² Logiciel utilisé pour l'évaluation de l'impact dosimétrique sur les populations riveraines autour de La Hague issu des travaux du GRNC (Groupe Radioécologie Nord-Cotentin) et développé conjointement par l'IRSN et AREVA NC.

décembre 2008. Cette inversion n'est pas surprenante pour l'usine d'Amersham qui rejette dans la baie de Cardiff environ 30 % du tritium sous forme organiquement liée (acides aminés, lipides, hydrates de carbone) avec des rapports isotopiques élevés T/H. On observe alors 90 à 95 % de TOL (OBT) dans les poissons benthiques et les mollusques filtreurs avec des concentrations élevées de l'ordre de 1500 Bq/kg et quelques échantillons au-dessus de 50 000 Bq/kg, surtout pour les espèces en relation avec la matière organique des sédiments. Par contre, Stuart Jenkinson décrit une situation inexplicée près de Sellafield où malgré les rejets de tritium sous forme libre (HTO), on relève des concentrations importantes de TOL dans les poissons plats (plies) et les moules, mais beaucoup moins élevés qu'à Cardiff, de l'ordre de 50 à 150 Bq/kg représentant 80 à 90 % du tritium dans les poissons et les coquillages. Différentes hypothèses ont été suggérées par Stuart Jenkinson pour expliquer ces résultats : formation possible de complexes organiques antérieurs aux rejets et/ou formation possible de complexes organiques dans l'environnement marin (comme ceci a été proposé dans une publication de Turner et al en 2009 dans J. Environ. Rad. 100(10)). Il a souligné également le fait que les niveaux observés dans les organismes marins étaient proches des limites de détection de la technique d'analyse utilisée au CEFAS, ce qui rend difficile l'interprétation des mesures. Tous ces résultats sont publiés dans les rapports RIFE (CEFAS 2008). Il ressort de cette présentation du CEFAS qu'il est nécessaire de considérer ces résultats avec beaucoup de prudence dans la mesure où ces résultats ont avant tout des objectifs de surveillance radiologique de l'environnement et n'apparaissent pas adaptés à des fins d'expertise dont relèvent les discussions sur ce sujet.

On notera par ailleurs que le RSC (Radioactive Substances Committee) d'OSPAR s'accorde sur le fait que le tritium a un coefficient de dose très bas, il présente donc une très faible radiotoxicité pour l'homme et une radiotoxicité intrinsèquement faible pour le biote. De plus, le tritium n'est pas considéré comme « pertinent pour le milieu vivant », car « il ne semble pas que le milieu vivant marin soit capable de le bioaccumuler (à l'exception des composés de ^3H organique) » [6].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (GRNC), Appréciation par le GRNC de l'estimation des doses présentées dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement d'AREVA NC La Hague 2005, rapport de synthèse et rapport détaillé. mai 2007
- [2] Analyse critique des données disponibles de carbone 14 et de tritium dans le Nord Cotentin et en Manche, D. Maro, M. Masson *et al.*, IRSN DEI/SECRE/-006
- [3] Le tritium en Manche, M. Masson *et al.*, Communication journées SFRP sur le tritium des 23 et 24 septembre 2009, IRSN DEI/SECRE/LRC et GEA
- [4] Impact de l'industrie nucléaire sur les espèces marines, B. Fievet, Communication colloque inter-CLI, à Cherbourg le 27 avril 2009, IRSN DEI/SECRE/LRC
- [5] Tritium in British coastal waters, A review of UK monitoring, Stuart Jenkinson, Radiological and Chemical Risk Group, Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS – Lowestoft, UK), Communication journées SFRP sur le tritium des 23 et 24 septembre 2009
- [6] Third periodic evaluation of progress towards the objective of the Radioactive Substances Strategy, OSPAR, publication number 455/2009, 2009