

Analyse critique et réflexions sur l'actualisation 2014 des « autorisations » de rejet des usines de retraitement de La Hague

André Guillemette¹, Jean-Claude Zerbib², Pierre Barbey³, David Boilley⁴

25 novembre 2014

Les autorités françaises s'apprêtent en fin 2014 à donner l'autorisation à AREVA NC La Hague de poursuivre ses rejets intégraux de tritium, de carbone 14, de krypton 85 et d'iode 129, plus quelques substances chimiques « issues du procédé » comme le tributyl-phosphate et l'hydrazine.

Les projets de nouvelles prescriptions ne prennent pas en compte la déclaration de Sintra de la Convention OSPAR (signée par la France en juillet 1998), par laquelle la France s'est engagée à réduire « d'ici 2020 » ses rejets de substances radioactives artificielles, tel que les valeurs additionnelles dans l'environnement soient proches de zéro.

Nous rappelons ci-après que des méthodes de réduction des rejets existent pour ces *quatre* radionucléides. Ces méthodes de réductions sont :

- Naturelle (du fait de la décroissance physique) pour le *tritium* et le *krypton 85* en retraitant en priorité les combustibles les plus anciens.
- Technologique pour le *carbone 14*, - une réduction de 88% du rejet en ¹⁴C est réalisée dans l'usine THORP de Sellafield **depuis plus de 10 ans**.
- Technologique pour *l'iode 129*, réduction d'un facteur 1700 des rejets liquides d'¹²⁹I (3,5 pour les rejets gazeux), procédé de piégeage et de conditionnement vendu par le CEA au Japon, opérationnel **depuis 1970 à Tokai Mura. Ce dispositif a été installé** dans le Centre de retraitement japonais de Rokkasho, construit sur le modèle de l'usine UP3, en partenariat entre AREVA et JNFL⁵.

¹ Membre du conseil scientifique de l'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, représentant de l'ACRO au comité de suivi tritium de l'ASN, membre du GRNC.

² Ancien membre de la commission Castaing, expert senior du CEA, expert mandaté par l'ASN pour l'analyse critique des rejets 2007-2008 de l'établissement AREVA NC La Hague, membre du GRNC.

³ Conseiller scientifique de l'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, membre du Haut Comité à la transparence et à l'Information sur le Nucléaire, représentant de l'ACRO au comité de suivi tritium de l'ASN, membre du GRNC.

⁴ Président de l'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, membre suppléant du Haut Comité à la transparence et à l'Information sur le Nucléaire, membre du GRNC.

⁵ JNFL, Japan Nuclear Fuels Limited, est une filiale des 10 compagnies d'électricité japonaises qui exploitaient les 54 réacteurs japonais. Il n'y en a plus que 48 en service officiellement.

L'ensemble des commentaires qui suivent concernent les projets de décision de l'ASN relatifs aux rejets liquides et gazeux des Usines de La Hague⁶.

Du 24 septembre au 9 octobre 2014, l'Autorité de sûreté nucléaire a accordé, sur son site Internet, 15 jours⁷ de réflexion au public sur les autorisations de rejets d'effluents et sur les modalités de prélèvement dans l'environnement concernant les installations nucléaires de base du site AREVA La Hague. Par le passé, le Groupe Radio-écologie Nord-Cotentin était consulté. Ce n'est plus le cas depuis **plus de 8 ans**.

Ce groupe de travail est pourtant réglementairement chargé d'examiner depuis 2003 les rapports annuels de l'exploitant pour apprécier l'estimation des doses proposées par AREVA NC⁸.

En 2007, par voie d'arrêté⁹, les exigences de présentation (en janvier 2006) d'études technico-économiques visant à réduire les rejets :

- radioactifs liquides sans augmenter les rejets gazeux,
- chimiques, notamment de TBP,
- gazeux de carbone 14 et d'iodes radioactifs¹⁰,

se sont transformées en un texte moins détaillé : exigence dans les 3 ans (janvier 2010) d'une étude technico-économique visant à réduire les rejets tant chimiques que radiologiques.

L'arrêté prévoit que l'exploitant devra fournir un document « *présentant les conséquences sur l'environnement des modifications techniques envisageables* ». Il stipule également que ce document sera communiqué à l'appréciation du GRNC (sans que ce dernier ait accès aux « études technico-économiques »).

... En septembre 2014, quatre ans après la date butoir de sa consultation réglementaire, le GRNC n'a toujours pas été consulté. Dans les projets de décision soumis à consultation fin 2014, l'échéance de l'avis du GRNC est repoussée au 31 décembre 2017.

1 - L'évolution de la réglementation des rejets d'effluents des usines de retraitement de La Hague

L'histoire de la réglementation du Centre industriel de La Hague commence timidement avec la parution d'un décret de quelques lignes au Journal officiel de la République française du 31 août 1966, qui signale le report de cinq ans d'une autorisation de prélèvements d'eau pour le centre de traitement des combustibles irradiés au cap de La Hague :

« Par décret du 10 août 1966, est reportée jusqu'au 15 juin 1971 la date d'expiration de la déclaration d'utilité publique concernant les travaux de construction d'un centre de traitement des combustibles irradiés au cap de la Hague, sur le territoire des communes de

⁶ Projets de décision n°2014-XX-XXXX de l'Autorité de sûreté nucléaire fixant à AREVA NC, établissement de La Hague, relative aux rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux et les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux ; pour l'exploitation des installations nucléaires de base n° 116 (UP3-A), 117 (UP2-800), 118 (STE3) et pour la mise à l'arrêt définitif et le démantèlement des installations nucléaires de base n° 33 (UP2-400), 38 (STE2 et AT1), 47 (ELAN IIB) et 80 (HAO).

⁷ Délai étendu à trois mois à compter du 28 septembre 2014 pour la CLI AREVA.

⁸ Article 32 de l'arrêté du 10 janvier 2003 (JORF du 11 janvier 2003, page 637).

⁹ Article 13 de l'arrêté du 10 janvier 2007 remplaçant l'article 42 de l'arrêté du 10 janvier 2003 (JORF du 10 janvier 2007).

¹⁰ Article 42 de l'arrêté du 10 janvier 2003 (JORF du 11 janvier 2003, page 639).

Jobourg, Omonville-la-Petite, Herqueville et Digulleville (Manche), et autorise le captage des eaux des ruisseaux de Froide-Fontaine et des moulinets pour les besoins du centre. »

... Puis plus rien de contraignant en matière de réglementation des rejets d'effluents radioactifs et chimiques jusqu'en 1980.

De la mise en service du Centre de retraitement de combustibles de La Hague en 1966 à la parution du 1^{er} arrêté réglementant les rejets d'effluents le 1^{er} novembre 1980, le CEA, actionnaire majoritaire des sociétés Cogéma, puis AREVA NC, se donnait comme seule contrainte d'étudier des impacts aux « rejets maximum annuels prévus » [CEA 1972].

Tableau n°1 : Historique de l'évolution des rejets prévus et des autorisations de rejet d'effluents radioactifs du Centre de retraitement de la Hague (en TBq/an)

| | Radionucléide | 1972 | 1980 | 1984 | 2003 | 2007 | 2014 |
|------------------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------------------|
| Rejets liquides | ³ H | 11 100 | 37 000 | 37 000 | 18 500 | 18 500 | 18 500 |
| | « hors ³ H » | 1 665 | 1 665 | 1 700 | | | |
| | ⁹⁰ Sr + ¹³⁷ Cs | 232 | 222 | 220 | (20) | (19) | (19) |
| | Alpha | 3,33 | 1,7 | 1,7 | 0,17 | 0,14 | 0,14 (0,07+0,07) |
| | Iodes radioactifs | | | | 2,6 | 2,6 | 2,6 |
| | ¹⁴ C | | | | 42 | 42 | 42 |
| | ⁹⁰ Sr | 122 | | | 12 | 11 | 11 (1,2+9,8) |
| | ¹³⁷ Cs | 111 | | | 8 | 8 | 8 (2+6) |
| | ¹³⁴ Cs | | | | 2 | 0,5 | 0,5 |
| | ¹⁰⁶ Ru | 1080 | | | 15 | 15 | 15 |
| | ⁶⁰ Co | | | | 1,5 | 1,4 | 1,4 (0,9+0,5) |
| Autres βγ | 151 | | | 60 | 60 | 60 (30+30) | |
| Rejets gazeux | ⁸⁵ Kr | 340 400 | 481 000 | 480 000 | 470 000 | 470 000 | 470 000 |
| | ³ H | 1036 | 2200 | 2200 | 150 | 150 | 150 |
| | Iodes radioactifs | 0,375 | 0,111 | 0,110 | 0,02 | 0,018 | 0,018 |
| | Aérosols | | 0,074 | 0,074 | | | |
| | ¹⁴ C | | | | 28 | 28 | 28 |
| | Autres βγ | | | | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| | Alpha | | | | 0,00001 | 0,00001 | 0,00001 |

Nota : Les données en italique (1972) sont des rejets maximaux prévus par le CEA. A partir de 1980, ces données vont inspirer des autorisations de rejets.

2 - Les rejets intégraux d'effluents radioactifs et chimiques et les « meilleures technologies disponibles »

« L'objectif de la Stratégie est que les rejets, émissions et pertes de substances radioactives soient d'ici 2020 ramenées à des niveaux tels que par rapport aux niveaux historiques, les concentrations additionnelles résultant des rejets soient

proches de zéro ... en tenant compte des utilisations légitimes de la mer, de la faisabilité technique, de l'impact radiologique sur l'homme et le milieu vivant. »

Convention de protection de l'Atlantique Nord (OSPAR)
Accord de Sintra, juillet 1998

En dépit de cet engagement international paraphé par la France et entré en vigueur en 1998, les demandes de l'exploitant vont être reconduites après 2014 en matière de rejets intégraux pour le tritium, le carbone 14, le krypton 85 et l'iode 129, comme pour le tributyl-phosphate (TBP) en matière de rejets chimiques. L'échéance de 2020 est pourtant très proche.

La situation est donc inchangée, par rapport aux belles heures des années 1970–1980, où il suffisait au CEA de faire un bilan de ses rejets potentiels pour qu'ils soient validés.

2.1 Les autorisations-prescriptions en matière de rejets radioactifs¹¹

Les valeurs limites de rejets radioactifs de 2007 sont reconduites sans modification en prescriptions 2014.

Tableau n°2 : Historique 2008–2012 des rejets liquides effectifs des usines AREVA La Hague

| Radionucléide | Autorisations 2007 et 2014 | Rejets (TBq) | | | | | Moyenne 5 ans | Ratio aut./rejet |
|-------------------|-------------------------------|--------------|-------|-------|-------|--------|------------------|---------------------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | | |
| tritium | 18 500 | 8 200 | 8 190 | 9 950 | 8 920 | 11 600 | 9 372 | 2,0 |
| iodes radioactifs | 2,6 | 1,04 | 1,06 | 1,38 | 1,27 | 1,3 | 1,21 | 2,1 |
| carbone 14 | 42 | 6,24 | 6,12 | 7,34 | 6,99 | 7,07 | 6,75 | 6,2 |
| strontium 90 | 10 | 0,34 | 0,17 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,18 | 55,2 |
| césium 137 | 8 | 1,07 | 1,07 | 1,1 | 0,75 | 0,53 | 0,90 | 8,8 |
| césium 134 | 0,5 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,052 | 0,061 | 0,068 | 7,4 |
| ruthénium 106 | 15 | 6,74 | 3,37 | 1,03 | 1,23 | 1,22 | 2,72 | 5,5 |
| cobalt 60 | 1,4 | 0,118 | 0,118 | 0,060 | 0,057 | 0,083 | 0,087 | 16,1 |
| autres βγ | 60 | 4,18 | 2,04 | 2,56 | 1,92 | 1,9 | 2,52 | 23,8 |
| alpha | 0,14 | 0,020 | 0,016 | 0,026 | 0,026 | 0,020 | 0,022 | 6,5 |

Source : AREVA

Tableau n°3 : Historique 2008–2012 des rejets gazeux effectifs des usines AREVA La Hague

| Radionucléide | Autorisations 2007 et 2014 | Rejets (TBq) | | | | | Moyenne 5 ans | Ratio aut./rejet |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | | |
| tritium | 150 | 46,4 | 47,4 | 56,8 | 20 | 55 | 45,1 | 3,3 |
| iodes radioactifs | 0,018 | 0,0068 | 0,0048 | 0,0050 | 0,0049 | 0,0054 | 0,0054 | 3,3 |
| gaz rares | 4,7.10 ⁵ | 1,55.10 ⁵ | 1,96.10 ⁵ | 2,26.10 ⁵ | 1,92.10 ⁵ | 2,16.10 ⁵ | 1,97.10 ⁵ | 2,4 |
| carbone 14 | 28 | 13,5 | 14,5 | 16 | 14,5 | 16,3 | 14,96 | 1,9 |
| autres βγ | 1,0.10 ⁻³ | 1,03.10 ⁻⁴ | 1,03.10 ⁻⁴ | 1,40.10 ⁻⁴ | 9,73.10 ⁻⁵ | 8,99.10 ⁻⁵ | 1,11.10 ⁻⁴ | 9,4 |
| alpha | 1,0.10 ⁻⁵ | 1,8.10 ⁻⁶ | 1,93.10 ⁻⁶ | 1,90.10 ⁻⁶ | 1,77.10 ⁻⁶ | 1,71.10 ⁻⁶ | 1,82.10 ⁻⁶ | 5,5 |

Source : AREVA

¹¹ Prescriptions [AREVA-LH-86] et [AREVA-LH-94].

On ne peut que s'interroger sur des prescriptions qui permettraient à l'exploitant de rejeter, à partir de 2014, de **5 à 55 fois** plus d'effluents liquides radioactifs (**hors tritium et iodes**) qu'il n'en a rejeté dans la période 2008–2012, période où il a retraité en moyenne de l'ordre de 1000 t/an de combustibles irradiés dont le taux de combustion moyen a été de l'ordre de 40000 MWj/t.

Sachant que AREVA-La Hague est autorisé à retraiter 1700 t/an de combustibles REP irradiés ayant au maximum un taux de 75000 MWj/t, les prescriptions devraient refléter une limite **x 1,7** pour le retraitement à pleine capacité et **x 1,9** pour les taux de combustion maximaux autorisés. Soit un rejet maximum attendu **x 3,23** par rapport à la période 2008–2012 pour des prescriptions 2014 multipliées elles par des facteurs allant de **5** à 55, facteurs qui constituent des coefficients de sécurité d'une ampleur injustifiée.

Recommandation n°1 : Les prescriptions de rejets devraient être fixées en tenant compte des performances réelles des usines de retraitement. Conserver de tels écarts injustifiés entre les rejets effectifs et les rejets autorisés est contre-productif, car contraire à une démarche incitative continue de réduction des rejets radioactifs.

2.2 Cas du tritium et du krypton 85

Contrairement au blocage affiché depuis 2003 en matière de communication des études technico-économiques sur les réductions de rejets d'effluents, le volet concernant les rejets de tritium du centre de retraitement de La Hague et les moyens techniques disponibles pour leur éventuelle réduction ont été communiqués au GT tritium créé par l'ASN de 2008 à 2010.

AREVA, comme les autres exploitants nucléaires (ANDRA, CEA, Défense Nationale, ITER) a été dans l'obligation de détailler et de débattre, avec ses pairs, des meilleures technologies disponibles pour la réduction des rejets tritiés, de leurs coûts et de leurs consommations d'énergie.

Après deux ans de débats en GT tritium, AREVA, en fin de son exposé technico-économique sur les meilleures technologies disponibles en matière de réduction de ses rejets tritiés, avançait son point de vue : « AREVA considère que la pratique actuelle reste pour lors la mieux adaptée. » [Devin, 2010] in [ASN, 2010].

Cette conclusion de l'exploitant semble avoir été retenue par l'ASN : 18500 TBq de rejets liquides tritiés autorisés à partir de 2014, comme en 2003 et 2007.

Lors de ces travaux du GT tritium ASN, nous avons proposé de réduire les rejets tritiés en suggérant de retraiter les combustibles les plus anciens :

« Les flux en tête d'usine ne nous ont pas été précisés. Grossièrement, il y a eu 16 000 tonnes de combustibles PWR usés déchargés des réacteurs EDF. De l'ordre de 8 000 tonnes ont été retraitées jusqu'à aujourd'hui. Donc cela fait à peu près la moitié des combustibles qui ont été retraités. Il sort environ 1 150 tonnes par an, il y a un contrat de retraitement de 850 tonnes. Quel est le flux des combustibles ? Est-ce que l'on prend les plus vieux combustibles pour retraiter ou est-ce qu'on prend des combustibles de huit ans d'âge comme c'est la moyenne actuellement ? Pourquoi ne prend-on pas les combustibles les plus vieux ? »¹²

¹² ASN – Autorité de Sûreté nucléaire. Tritium « défense en profondeur ». Verbatim de la réunion du 2 février 2007, page 12/37.

Cette méthode « naturelle » de réduction du potentiel tritium (par simple décroissance physique, période $T_{1/2}=12,3$ ans) des combustibles retraités présente aussi l'avantage de réduire les rejets de krypton 85 (période $T_{1/2}=10,7$ ans).

Tableau n°4 : Effet de la décroissance sur la réduction des rejets liquides ^3H et gazeux ^{85}K

| Radionucléides | Autorisation de rejet (TBq/an) | t+2 ans | t+4 ans | t+6 ans | t+8 ans | t+10 ans |
|-----------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|
| ^3H | 18 500 | 16 528 | 14 766 | 13 192 | 11 786 | 10 530 |
| ^{85}K | 470 000 | 412 886 | 362 713 | 318 636 | 279 916 | 245 901 |

Nota : "t" représente ici le temps moyen de refroidissement des combustibles retraités ces dernières années ($t \approx 8$ ans).

L'obligation de retraiter les combustibles les plus anciens 18 ans après leur sortie de réacteurs, au lieu de 8 ans en moyenne actuellement, réduirait les rejets tritiés (liquides et gazeux) de 43% et les rejets de krypton 85 de 47,8%.

Notons également qu'un tel choix permettrait de réduire significativement l'activité :

- des *produits d'activation* comme le manganèse 54 ($T_{1/2}=0,855$ an), les cobalts 57, 58 et 60 ($T_{1/2}=0,745$ an, 0,194 an et 5,27 ans), le zinc 65 ($T_{1/2}=0,668$ an),
- des *produits de fission* comme le zirconium 95 ($T_{1/2}=0,18$ an), le ruthénium 103 ($T_{1/2}=0,11$ an), le ruthénium-rhodium 106 ($T_{1/2}=1,02$ an), l'argent 110m ($T_{1/2}=0,68$ an), les antimoine 124, 125 ($T_{1/2}=0,16$ an et 2,76 ans), le tellure 127 ($T_{1/2}=0,299$ an), le césium 134 ($T_{1/2}=2,06$ ans), le cérium-prométhéum 144 ($T_{1/2}=0,78$ an), l'euporium 155 ($T_{1/2}=4,76$ ans).

Les rejets pris en compte dans les études d'impact « 1972 » (voir tableau n°1) étaient adaptés aux combustibles retraités dans la période 1966-80 dans l'usine UP2-400 :

- combustibles UNGG : jusqu'à 630 t/an et taux de combustion maximal de 4000 MWj/t
- début de retraitement des combustibles REP : jusqu'à 400 t/an et taux de combustion maximal 30000 MWj/t.

Les autorisations de rejet accordées depuis 1980 sont basées sur le fonctionnement des nouvelles usines UP3 et UP2-800 (démarrage en 1989). La capacité des 2 usines étant de deux fois 1000 t/an, la production concomitante des 2 usines étant limitée à 1700 t/an pour des combustibles dont le taux de combustion moyen était de 30000 MWj/t sur la base des études d'impact. Ce taux de combustion pouvant aller jusqu'à 75000 MWj/t pour les combustibles UO_2 et 65000 MWj/t pour les combustibles MOX. Les combustibles ne pouvant être retraités que s'ils ont été retirés des réacteurs depuis au moins un an¹³.

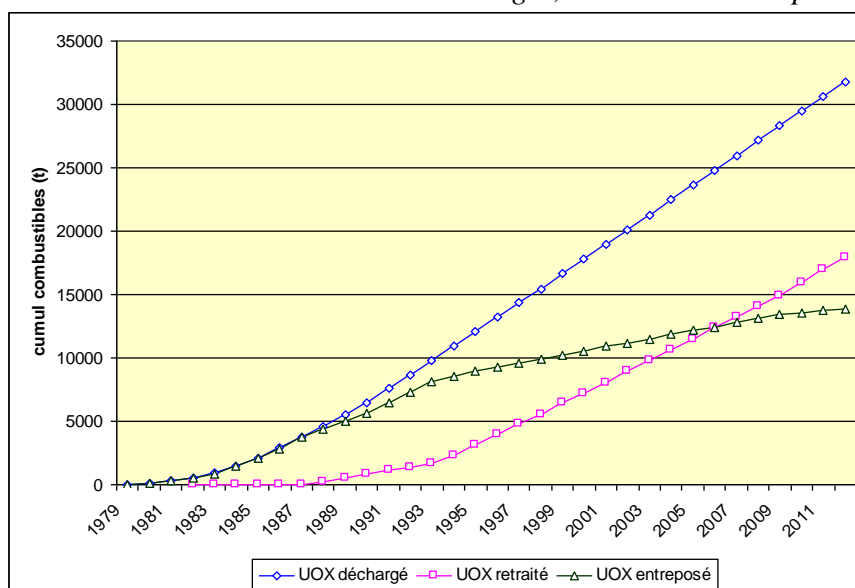
La réalité du retraitement des combustibles REP d'EDF, observée en fin 2012

De 1979 à 1997, 14405 t de combustibles UOX d'EDF avaient été expédiés vers les piscines de La Hague, et seulement 4790 t avaient été retraitées, soit un stock tampon de l'ordre de 9600 t de combustibles UOX d'EDF en 1997. Sachant qu'à partir de 1997 il était déchargé en

¹³ Art.1^{er} du décret du 10 janvier 2003. JORF du 11 janvier 2003, page 621.

moyenne 1150 t/an des réacteurs d'EDF et qu'AREVA en retraitait au maximum 850 t/an, ce stock croissait chaque année de 300 t/an (voir historique figure n°1) jusqu'en 2010, où le retraitement REP EDF est passé à 1050 t/an¹⁴.

Figure n°1 : Etat des combustibles "usés" déchargés, retraités ou entreposés en France



Source : Etude en cours sur le retraitement des combustibles REP d'EDF

Le stock des combustibles de plus de 8 ans de décroissance après sortie de réacteur semble assez conséquent pour permettre une réduction « naturelle significative » des rejets tritiés et des rejets de krypton 85, sans modifier le tonnage retraité planifié.

Retraiter en priorité les combustibles les plus anciens pour réduire significativement les rejets d'effluents tritiés et de krypton 85 n'est donc pas une méthode « technico-économique » rédhibitoire, car elle a, de fait, été expérimentée, à La Hague, depuis 1994 où les temps de refroidissement moyens des combustibles ont varié de 6,3 ans (2002) à 11,8 ans (2008), voir tableau n°5.

Tableau n°5 : Variation du temps de refroidissement moyen (TRM) des combustibles retraités de 1994 à 2012 (TRM en années)

| | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Année | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| TRM | 7,93 | 9,01 | 8,76 | 7,68 | 9,45 |
| Année | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
| TRM | 8,02 | 7,83 | 8,76 | 6,34 | 7,78 |
| Année | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| TRM | 6,91 | 6,65 | 7,88 | 7,32 | 11,77 |
| Année | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| TRM | 8,8 | 10,5 | 11,1 | 8,1 | ? |

Sources : 1994-2008, données d'AREVA NC La Hague fournies au GRNC
2009-2012, Rapports environnement 2009-2012, AREVA NC La Hague

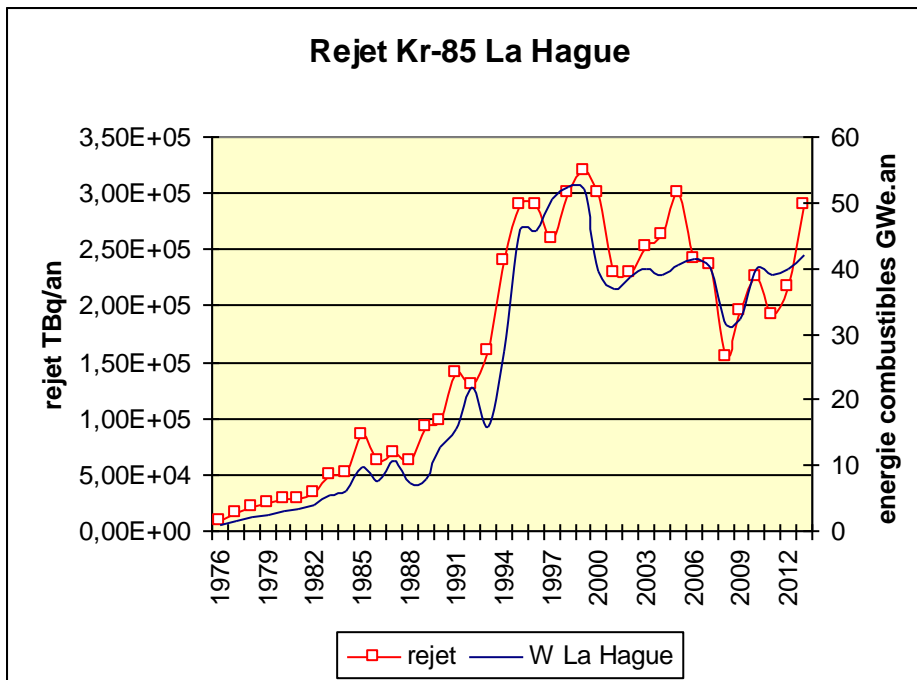
¹⁴ Le stock d'UOX dormant dans les piscines de la Hague était de l'ordre de 13900 t au 31/12/2012.

Si l'on observe l'historique des *rejets de krypton 85* en regard de *l'énergie produite* par les combustibles retraités, un excédent de rejet en krypton 85 apparaît lorsque l'on compare les années où le temps de refroidissement (TR) est le plus faible (2002 et 2004-05, TR moyen de 6,3 à 6,9 ans) avec le groupe des années à TR les plus élevés (2008 et 2010-11, TR moyen de 10,5 à 11,8 ans), voir figure n°2. Cette différence illustre bien la validité de notre proposition.

En moyenne, les rejets ^{85}Kr peuvent être normalisés à 6500 TBq/an par GWe.an depuis que La Hague retraite uniquement des UOX (en 1976)
En 2005, combustibles refroidis 6,7 ans, ce taux normalisé est à 7432 TBq/an par GWe.an
En 2011, combustibles refroidis 11,1 ans, ce taux normalisé est à 4923 TBq/an par GWe.an

Soit une réduction naturelle de 34% des rejets de ^{85}Kr , obtenue pour 5 années de refroidissement supplémentaires

Figure n°2 : Historique des rejets de krypton 85 et de l'énergie produite par les combustibles usés retraités



Sources : GRNC et AREVA NC La Hague

Cette anomalie apparaît également, pour les mêmes groupes d'années dans l'historique des rejets tritiés liquides ($T_{1/2} \text{ } ^3\text{H} = 12,3$ ans), alors qu'il y a une concordance des courbes « rejet / énergie » des combustibles irradiés pour les rejets liquides de ^{129}I ($T_{1/2} \text{ } ^{129}\text{I} = 15,7$ millions d'années), voir figures n°8 et 10 en annexe.

En moyenne, les rejets ^3H peuvent être normalisés à 269 TBq/an par GWe.an depuis que La Hague retraite uniquement des UOX (en 1976)
En 2005, combustibles refroidis 6,7 ans, ce taux normalisé est à 333 TBq/an par GWe.an
En 2011, combustibles refroidis 11,1 ans, ce taux normalisé est à 229 TBq/an par GWe.an

Soit une réduction naturelle de 31% des rejets de ^3H , obtenue pour 5 ans de refroidissement supplémentaires

Recommandation n°2 : Dans un contexte où la politique de retraitement est poursuivie, nous recommandons que sa mise en œuvre soit prioritairement centrée sur les combustibles usés les plus anciens afin de réduire les contaminations radioactives de l'environnement en application du principe d'optimisation.

2.3 Cas du carbone 14¹⁵

Radionucléide d'origine naturelle ou artificielle, le carbone 14 est un émetteur bêta pur de faible énergie, sa période de demi-vie radioactive est de 5730 ans. L'activité de ce radionucléide est exprimée habituellement par rapport au carbone stable (Bq.kg^{-1} de C). Elle peut aussi être exprimée en $\text{Bq.kg}^{-1}_{\text{sec}}$ ou en $\text{Bq.kg}^{-1}_{\text{frais}}$, mais dans ces deux derniers cas, il faut connaître la valeur naturelle du carbone 14 (noté ^{14}C) dans ces expressions pour apprécier l'impact d'un rejet artificiel sur la matrice considérée.

Le carbone est l'un des éléments qui sont essentiels à toutes les formes de vie et il intervient dans la plupart des phénomènes biologiques et géochimiques. La CIPR estime, dans sa publication N°23, que la teneur pondérale du corps humain, en carbone, est égale à 20% [Jeanmaire, 1982].

Le carbone 14 d'origine naturelle (utilisé pour dater nos lointains ancêtres et leur milieu biologique) induit un impact évalué à 13 microsievert.an⁻¹ chez l'homme standard, pour une activité naturelle de 226 becquerels par kg de carbone¹⁶.

Ce calcul a été conduit sur la base de l'incorporation journalière de carbone, évaluée par la CIPR 23 comme étant de l'ordre de 300 g (soit 68 Bq.j^{-1}), dont l'essentiel est rejeté sous forme de gaz carbonique.

En prenant le coefficient de dose par unité incorporée de la CIPR pour les adultes, notre calcul donne la dose engagée suivante :

$$5,8.10^{-10} \text{ Sv.Bq}^{-1} \times 68 \text{ Bq.j}^{-1} \times 365 \text{ j.an}^{-1} = 1,44. 10^{-5} \text{ Sv.an}^{-1} = 14,4 \mu\text{Sv.an}^{-1}$$

Soit sensiblement la même valeur que celles des références précédentes.

Le carbone 14 d'origine artificielle¹⁷

Au plus fort impact des tirs atmosphériques d'armes nucléaires (années 1962–1964) l'activité du carbone 14 a presque doublé par rapport à l'activité naturelle. Les experts de Nations Unies (UNSCEAR) ont considéré que 70 % de l'impact dosimétrique des essais nucléaires atmosphériques a été induit par le seul carbone 14 créé par ces tirs aériens¹⁸, pour un taux ayant atteint une valeur maximale comprise entre 375 et 420 Bq.kg^{-1} de C en 1965 [Roussel-Debet, 2006].

Actuellement les sources de carbone 14 d'origine artificielle sont constituées par les rejets liquides et gazeux des réacteurs nucléaires et principalement ceux des usines de retraitement de combustibles irradiés.

¹⁵ Prescriptions [AREVA-LH-86] et [AREVA-LH-94].

¹⁶ [Roussel-Debet, 2006], Paulin [Paulin, 1997], donne 15 microsievert.an⁻¹ et l'UNSCEAR 2000 évalue cette dose à 12 microsievert.an⁻¹.

¹⁷ [Guillemette et Zerbib, 2012]

¹⁸ Dose moyenne engagée par les effets des explosions nucléaires atmosphériques chez un adulte de l'hémisphère nord : dose totale =>3700 μSv , ^{14}C =>2600 μSv (70 %), ^3H =>50 μSv (1,3 %) [Court, 1997].

Dans ces usines, le carbone 14 des combustibles irradiés est rejeté majoritairement lors des opérations de retraitement dans la phase cisailage – dissolution des combustibles. Dans les usines de La Hague ce ^{14}C est rejeté en totalité soit sous forme gazeuse soit sous forme liquide (en proportion respective de 2/3 et 1/3).

Dans leur rapport de 2008 les experts de l'UNSCEAR estiment, pour la période 1998–2002, que la dose collective¹⁹, due aux rejets des installations de retraitement des combustibles, est *deux fois plus importante* que ceux des 436 réacteurs en fonctionnement dans le monde pour la même période :

150,1h.Sv (67 %) pour les installations de retraitement des combustibles, 72,6h.Sv (33 %) pour les réacteurs [UNSCEAR, 2010].

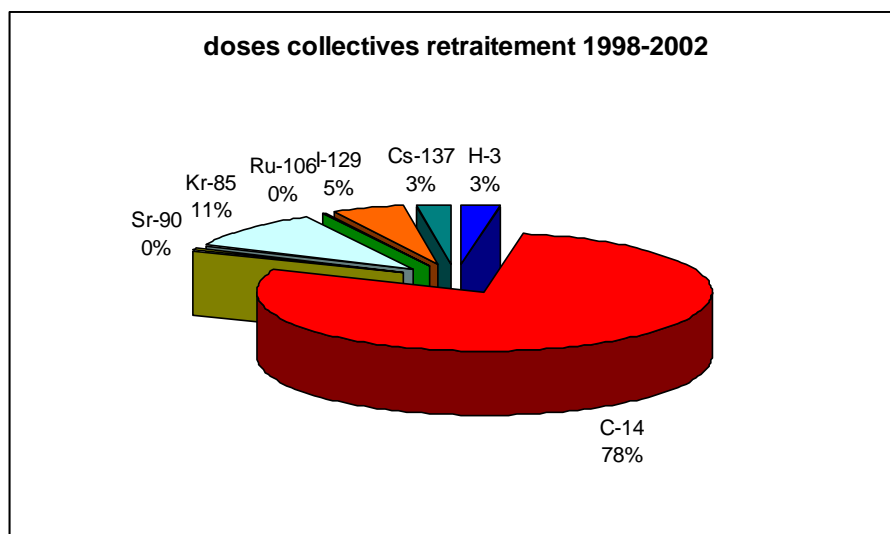
Dans cette dose collective due aux rejets des installations de retraitement, les rejets de carbone 14 représentent à eux seuls 78,2 % de la dose collective installations de retraitement : 117,4h.Sv un total de 150,1h.Sv.

Les rejets marins ont un impact près de 4 fois supérieur à celui des rejets atmosphériques : respectivement 1h.Sv.TBq⁻¹ et 0,27h.Sv.TBq⁻¹.

Quant aux rejets atmosphériques de carbone 14 des réacteurs, ils représentent 39 % de la dose collective réacteurs : 28,2h.Sv pour un total de 72,6h.Sv.

Ces données invitent à considérer tout particulièrement les rejets de carbone 14 par voie liquide et gazeuse.

Figure n° 3 : Part des principaux radionucléides dans la dose collective due aux rejets des installations de retraitement des combustibles, période 1998 – 2002



Source : UNSCEAR 2010

Les propriétés du carbone 14 sont bien connues : l'homme et le milieu biologique se mettent à l'équilibre avec le taux de carbone 14 de l'atmosphère et du milieu marin, c'est un des principaux contributeurs à la dose due aux rejets radioactif des installations nucléaires.

Les analyses environnementales de surveillance de ce radionucléide par l'IRSN et les exploitants autour des centrales nucléaires, ou de l'usine de retraitement de la Hague, n'ont commencé qu'en 1997.

¹⁹ La dose collective d'un groupe du public exposé aux rejets de radionucléides ou de travailleurs d'une installation nucléaire est exprimée en homme.Sievert (h.Sv), c'est la somme, exprimée en Sievert (Sv), des doses reçues par chacune des personnes exposées.

Les analyses d'herbe publiées par l'IRSN et les exploitants, depuis cette date, montrent un marquage variable autour des centrales nucléaires : 300 à 400 Bq.kg⁻¹ de carbone sous le vent dominant des rejets aériens.

Autour du site de retraitement de la Hague, les analyses sur l'herbe montrent des valeurs nettement plus importantes : *plus de 5 fois l'activité naturelle du carbone 14* en permanence à 1 km du site, dans la zone sous les vents dominants, entre 800 et 1000 Bq.kg⁻¹ de C en moyennes annuelles de 1997 à 2008²⁰. Un point de contrôle à 10 km du site, dans le secteur sud-est, voit son taux de ¹⁴C croître lentement à 2 fois l'activité naturelle de 2003 à 2008.

Ces résultats d'analyse d'herbe autour du site de retraitement sont corroborés par les analyses ponctuelles des productions agricoles locales. La faune et la flore du milieu marin sont elles aussi très marquées par les rejets liquides de carbone 14 : 600 Bq.kg⁻¹ de C au niveau du point de rejet (Herquemoulin – Goury), 400 à 600 Bq.kg⁻¹ de C dans l'environnement proche (de Granville à Luc sur Mer), plus de 300 Bq.kg⁻¹ de C dans le détroit du Pas de Calais.

Dans un milieu où le taux de ¹⁴C est 2 à 3 fois supérieur au bruit de fond naturel, on s'attend logiquement à un impact dû au seul carbone 14 artificiel de l'ordre de **15 à 30 µSv.an⁻¹**. En 2008 l'exploitant calcule un impact pour les populations critiques de l'ordre de **2 µSv²¹**.

La présente évaluation est principalement basée sur les données environnementales AREVA NC sur le carbone 14 publiées depuis 1997.

Notre estimation de dose, à partir de l'apport carbone de chaque aliment potentiellement d'origine locale et contaminé en ¹⁴C à **une valeur conservatoire** de 500 Bq.kg⁻¹ de C, donne un impact calculé de **10,2 µSv.an⁻¹** pour un adulte standard (consommation d'après [Tamponnet, 2002])²² ou compris entre **9 et 11,8 µSv.an⁻¹** sur les 2 groupes critiques retenus par l'exploitant.

Les rejets liquides ont été de l'ordre de 8 TBq.an⁻¹ entre 1996 et 2008, qu'advient-il des patelles locales et autres éléments de la faune marine, de Granville à Dunkerque, si AREVA NC venait à multiplier ses rejets de ¹⁴C par 3 ou 4 ? L'autorisation de rejets actuelle²³ permet toujours à l'exploitant d'effectuer un rejet marin pouvant atteindre 42 TBq.an⁻¹ de carbone 14. La France est pourtant un pays signataire de la convention internationale OSPAR qui engage les parapheurs à réduire leurs rejets de radionucléides artificiels ou naturels en milieu marin avant 2020. **Cette autorisation de rejets liquides, 6 fois supérieure à la moyenne des rejets actuels de ¹⁴C, est une négation flagrante de la Convention OSPAR.**

Les « meilleures techniques disponibles » de piégeage rétention des rejets de carbones 14

En Grande-Bretagne, les techniques de rétention du ¹⁴C sont disponibles et opérationnelles depuis plus d'une dizaine d'années. A Sellafield, dans l'usine THORP, 88 % du ¹⁴C est piégé par la solution sodique des colonnes de lavage des gaz de dissolution avant d'être précipité (par ajout d'hydroxyde de baryum) sous forme de carbonate de baryum. Ce composé *insoluble*, chimiquement stable, est ensuite conditionné par enrobage dans du ciment. Les colis de déchets sont ensuite entreposés sur le site [AEN OCDE, 2003] et [Clarke, 2000].

La réduction de l'impact des rejets gazeux de carbone 14, une méthode « naturelle » ?

²⁰ En juin 2008, l'IRSN SESURE a mesuré 3300 Bq.kg⁻¹ de C dans l'herbe au point de contrôle A12.

²¹ 2,75 µSv pour l'agriculteur de Digulleville et 2,29 µSv pour le pêcheur de Goury en 2012.

²² [Guillemette et Zerbib, 2012] pages 18/30, 29/30 et 30/30.

²³ L'arrêté du 8 janvier 2007 qui a modifié l'arrêté précédent du 10 janvier 2003 a laissé inchangées les autorisations de rejets de ¹⁴C dans les effluents gazeux (28 TBq.an⁻¹) et liquides (42 TBq.an⁻¹), valeurs reconduites dans les prescriptions envisagées en 2014 [Areva-LH-86] et [Areva-LH-94].

Autour des usines de La Hague, l'impact au niveau du sol du « panache » de pollution par le ^{14}C terrestre, compris entre 600 et 1000 Bq.kg^{-1} de C, est observable dans tous les compartiments : herbe, lait et produits des potagers individuels, dans les zones de 1 à 2 km sous le vent du site de La Hague.

Ce panache de pollution se prolonge au-delà d'un point de prélèvement d'AREVA-La Hague, situé à 10 km du site (J8), où l'on mesure encore 400 Bq.kg^{-1} de carbone.

Les rejets marins ne sont autorisés qu'à certaines heures de marée, pour permettre une dilution plus efficace des radionucléides. Une méthode de réduction significative de l'impact des rejets gazeux de ^{14}C serait de ne les réaliser qu'à la nuit tombée : la photosynthèse ne se produisant qu'à la lumière du jour, cela limiterait l'absorption des effluents gazeux de ^{14}C dans les plantes de la flore terrestre lors de l'assimilation foliaire du carbone²⁴.

Recommandation n°3 : La technologie de piégeage du carbone 14, mise en œuvre dans l'usine THORP, doit faire l'objet d'une étude "coût-avantage", ainsi que celle relative à la possibilité de pratiquer des rejets différés, la nuit, afin de réduire les niveaux de concentration de carbone 14 dans la flore, par photosynthèse, dans l'environnement terrestre proche du site. Le détournement des effluents gazeux actuels de carbone 14 vers la voie des effluents liquides ne doit pas être autorisé.

2.4 Cas de l'iode 129²⁵

L'iode 129 est un radionucléide de très longue période (demi-vie 15,7 millions d'années), créé naturellement par fission spontanée de l'uranium 238 et par l'interaction des rayons cosmiques avec le xénon [Suzuki *et al.*, 2008].

Son activité globale a crû artificiellement d'un facteur 60 lors des essais atmosphériques d'armes nucléaires des années 1950-63 et d'un facteur 5000 depuis les années 1950 à aujourd'hui avec les activités de retraitement des combustibles irradiés, principalement celles des usines de La Hague et de Sellafield.

Créé artificiellement par fission des uraniums et des plutoniums 239 et 241 dans les réacteurs nucléaires, à raison d'une moyenne de 1,1 GBq par tonne d'uranium métal^{26,27}, il reste piégé dans le crayon combustible.

Dans l'option retraitement des combustibles irradiés, l'iode est libéré au moment de la phase de dissolution des matières combustibles. Il peut être stocké par enrobage dans des résines thermodurcissables époxydes (RTD) ; solution retenue depuis 1977 pour l'usine de Tokai

²⁴ « Mobilité et biodisponibilité en milieu terrestre » dans la fiche carbone 14 de l'IRSN, [IRSN, 2001] et analyse IRSN du rejet atmosphérique « non autorisé » de l'usine SOCATRI [Roussel-Debet, 2008]. Rejet Socatri **2,26 GBq** en juillet-août 2008, rejet gazeux AREVA La Hague **13500 GBq** en 2008.

²⁵ Prescriptions [AREVA-LH-86] et [AREVA-LH-94].

²⁶ Pour un combustible enrichi à 3,5% en ^{235}U , taux de combustion moyen 33000 MWj.t^{-1} [Vilquin, 1985] et [Pradel, 1997].

²⁷ Des analyses de rejets des usines de La Hague, réalisées par le GRNC, nous pouvons déduire un taux de production d'iode 129 égal à 1,13 GBq.t^{-1} pour un combustible standard (^{235}U à 3,5 %, taux de combustion moyen 33000 MWj.t^{-1}).

Mura au Japon. Dans ce cas 0,4 % de l' ^{129}I potentiel est rejeté en mer, 1 % est rejeté dans l'atmosphère et 98,6 % est piégé pour être conditionné en matrice solide²⁸.

L'autre solution, retenue pour les usines de La Hague et de Sellafield, est de donner la priorité aux rejets en mer par dilution dans les rejets tritiés. Dans ce cas 93,8 % de l' ^{129}I potentiel est rejeté en mer, 1,7 % est rejeté dans l'atmosphère et 4,5 % est piégé et doit être conditionné et géré en matrice solide²⁹ [Guillemette, 2013]

L'impact des rejets d'iode 129 des sites de retraitement est observé dans l'océan Arctique et sur les côtes norvégiennes : l'activité ^{129}I dans les *Lamina digitata* a crû de **0,066 mBq.kg⁻¹_{sec}** à 264 mBq.kg⁻¹_{sec} entre 1930-38 et 1993³⁰ sur l'archipel de la Nouvelle-Zemble (mer de Kara) [Cooper *et al.*, 1998], et de 6 à 105 mBq.kg⁻¹_{sec} dans les *Fucus Serratus* entre 1982 et 1999 à Utsira (Norvège) [Yiou *et al.*, 2002].

Dans l'environnement marin proche du site de La Hague, les *Fucus serratus*, bio indicateurs faisant l'objet d'un suivi trimestriel, sont contaminés en moyenne à 50 Bq.kg⁻¹_{sec} et les patelles à 2 Bq.kg⁻¹_{sec}. Les crustacés de la côte ouest de la presqu'île du Cotentin, objet d'une surveillance trimestrielle dans une zone maritime allant jusqu'à 80km de part et d'autre du point de rejet, témoignent d'une contamination moyenne en ^{129}I , qui est comprise entre 1 et 2,5 Bq.kg⁻¹_{sec}, valeurs 1,8 million de fois supérieures aux valeurs naturelles attendues³¹.

Dans l'environnement terrestre proche du site de La Hague, les rejets atmosphériques d' ^{129}I contaminent le lait des installations agricoles sous le vent des usines de retraitement.

L'OPRI relevait des contaminations de l'ordre 0,011 à 0,076 Bq.l⁻¹ dans la période des plus importants rejets atmosphériques 1996-98. Aujourd'hui, quelques mesures significatives sont encore relevées autour de 0,05 Bq.l⁻¹ et un lait moyen du « canton de Beaumont » est observé par l'IRSN à 0,013 Bq.l⁻¹ en 2008 et 0,021 Bq.l⁻¹ en 2009. Les rejets atmosphériques ayant eux été réduits d'un facteur 5 par rapport à cette période 1996-98.

L'activité des rejets atmosphériques d'iode 129, a été réduite d'un facteur **6** entre 1996 et 2006 [GRNC, 2009]. Cette réduction a été obtenue par l'ajout de pièges spécifiques (AC6120) dans les ateliers de vitrification.

Les rejets marins et atmosphériques ont induit de 2003 à 2006 un impact calculé à partir des mesures environnementales variant de 5 à 10 μSv sur les groupes critiques, alors que l'impact modélisé à partir du rejet est inférieur à 1 μSv [GRNC, 2005 à 2009].

²⁸ Bilan reconstitué d'après les données 1997 à 2002 sur Tokai Mura fournies dans les rapports UNSCEAR 2000 et 2010.

²⁹ Bilan effectué d'après [Vilquin, 1985] et les données AREVA NC 1966–2009 fournies au GRNC.

³⁰ 0,2 à 800 IU.10⁻¹¹ [Cooper *et al.* 1998].

³¹ La rétention d'iode dans les *Lamina digitata* est plus de 10 fois supérieure à celle observée dans les *Fucus serratus* [Maro *et al.*, 1999], et celle observée dans les *Fucus serratus* est en moyenne 30 fois supérieure à celle observée dans les patelles et la faune marine dans un même biote [AREVA NC, 1999 à 2009]. Les 0,2 IU.10⁻¹¹ dans les algues *Laminaria digitata* en 1930-38 rapportés par [Cooper *et al.*, 1998], se traduisent par une estimation de 6,6 $\mu\text{Bq.kg}^{-1}$ _{sec} dans les fucus et de **0,22 $\mu\text{Bq.kg}^{-1}$ _{sec}** dans la faune marine à cette époque (6,6 $\mu\text{Bq.kg}^{-1}$ _{sec} / 30). Aujourd'hui, ce sont **2 Bq.kg⁻¹_{sec}** qui sont mesurés en moyenne dans les mollusques et les crustacés autour de La Hague, soit une progression de l'ordre de 7 ordres de grandeur.

Les « meilleures techniques disponibles » de piégeage rétention des rejets de l'iode 129

En contradiction avec les engagements de la France vis-à-vis de la convention OSPAR, cette option de contamination délibérée de l'environnement marin est privilégiée par les exploitants, alors que des techniques de rétention existent dans le cas des effluents liquides d'¹²⁹I. Ces techniques de rétention de ¹²⁹I ont été développées par le CEA dans le cadre des recherches sur la transmutation des radionucléides à vie longue.

Cette technologie a été vendue par le CEA (actionnaire majoritaire d'AREVA NC) au Japon dès la mise en service de l'usine de retraitement de Tokai Mura en 1977. Cette usine de retraitement rejette 1500 fois moins de rejets liquides d'¹²⁹I que son homologue de La Hague aujourd'hui, à potentiel de rejet égal, bilans 1977–2002 [UNSCEAR, 2000 et 2010]³².

Il est difficile d'admettre que la *meilleure technique disponible* puisse être vendue par AREVA à un client étranger sans qu'elle ne soit appliquée dans ses propres installations.

En milieu terrestre, la réduction des rejets atmosphériques d'¹²⁹I a été notable. D'un rejet de 3,4 GBq.(GWe.an)⁻¹ en 1989 sur l'usine UP2-400 lors du début du retraitement des combustibles à eau légère, les rejets sont aujourd'hui compris entre 0,12 et 0,23 GBq.(GWe.an)⁻¹ sur les usines UP3 et UP2-800, la réduction étant perceptible dès le démarrage de ces deux usines. Le suivi de l'usine de retraitement japonaise de Tokai Mura depuis 1977 montre que la réduction des rejets atmosphériques d'¹²⁹I est encore perfectible sur l'établissement de La Hague : à partir de l'observation des rejets de ⁸⁵Kr on peut constater que les rejets atmosphériques d'¹²⁹I de Tokai Mura ont été 2 fois inférieurs à ceux de la Hague, à potentiel de rejet égal³³.

Recommandation n°4 : Nous recommandons que le piégeage de la totalité des iodures radioactifs soit mis en œuvre par l'exploitant.

2.5 Cas du strontium 90

Dont les prescriptions maximales de rejet sont 55 fois supérieures à la moyenne annuelle des rejets réalisés de 2008 à 2012

Les autorisations de rejets prévues par l'ASN maintiennent une marge de rejet très significative pour le strontium 90. Cette marge de rejet ne s'explique pas pour deux raisons :

1. L'efficacité du traitement des solutions de produits de fissions est environ quatre fois plus efficace que celle du césium, comme l'a montré depuis plusieurs années le GRNC (diminution du "Facteur de transfert"). Comme l'activité du strontium 90 dans le combustible est environ 1,5 fois plus faible que celle du césium, ces deux réductions se combinent. En moyenne, pour la période 2008-12, les rejets de strontium 90 ont été *cinq fois* inférieurs à ceux du césium 137.

³² De 1994 à 2009, le rapport des activités rejetées de krypton et d'iode 129 en mer ont toujours été une moyenne proche de 1,9.10⁵ à La Hague comme à Sellafield. A Tokai Mura, de 2000 à 2002, ce même rapport ⁸⁵Kr/¹²⁹I a été de 3,1.10⁸, soit un rejet marin 1600 fois inférieur à celui des usines de La Hague et de Sellafield, à potentiel de rejet égal.

³³ Rapports rejets ⁸⁵Kr /¹²⁹I gazeux La Hague : 1,15.10⁷ (période 1976 – 2009, source AREVA NC), Tokai Mura : 2,01. 10⁷ (période 1977 – 2002, source UNSCEAR 2000 et 2010).

2. L'augmentation croissante des taux moyens de combustion des combustibles retraités à La Hague se traduit par un rapport $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ qui va légèrement en décroissant, comme le montre le tableau n°6.

Tableau n°6 : Evolution du rapport $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ en fonction du taux de combustion

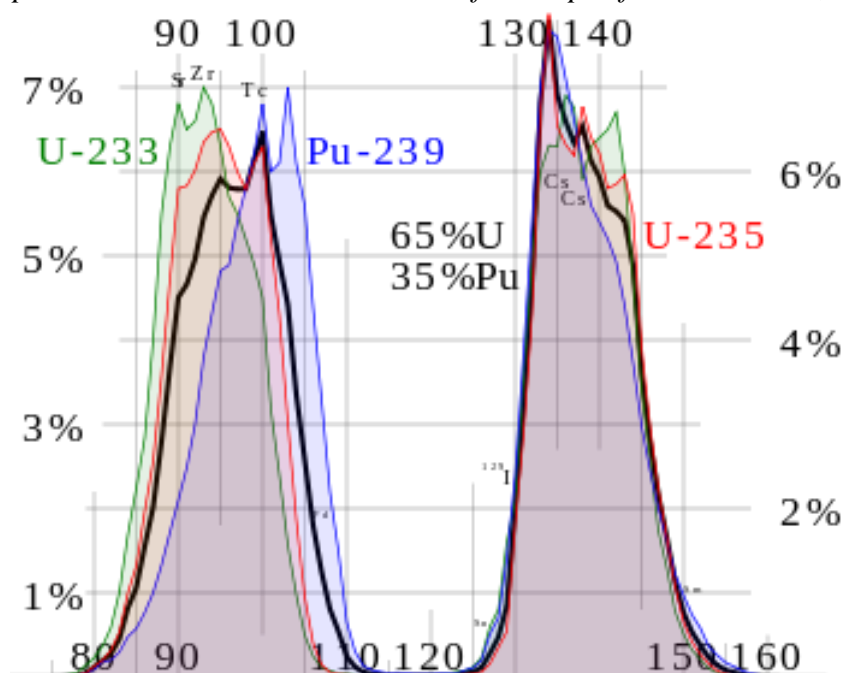
| Année | Taux de combustion | Tonnage retraité | Activité du Strontium 90 | Activité du Césium 137 | Rapport $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ |
|---------|--------------------|------------------|--------------------------|------------------------|--|
| 1997 | 31 136 | 1669,903 | $3,403.10^6$ | $5,096. 10^6$ | 0,668 |
| 1998 | 33 088 | 1633,526 | $3,410. 10^6$ | $5,112. 10^6$ | 0,667 |
| 2000 | 34 005 | 1197,497 | $2,607. 10^6$ | $3,942. 10^6$ | 0,661 |
| 1999 | 34 495 | 1561,524 | $3,437. 10^6$ | $5,194. 10^6$ | 0,662 |
| 2008 | 36 648 | 937,314 | $2,005. 10^6$ | $3,078. 10^6$ | 0,651 |
| 2003 | 36 826 | 1115,197 | $2,619. 10^6$ | $4,017. 10^6$ | 0,652 |
| 2002 | 37 599 | 1060,565 | $2,637. 10^6$ | $4,006. 10^6$ | 0,658 |
| 2004 | 39 038 | 1100,890 | $2,741. 10^6$ | $4,238. 10^6$ | 0,647 |
| 2001 | 39 908 | 950,600 | $2,328. 10^6$ | $3,594. 10^6$ | 0,648 |
| 2005 | 40 801 | 1112,704 | $2,925. 10^6$ | $4,498. 10^6$ | 0,650 |
| 2006 | 42 065 | 1015,192 | $2,680. 10^6$ | $4,127. 10^6$ | 0,649 |
| 2007 | 44 265 | 946,583 | $2,611. 10^6$ | $4,077. 10^6$ | 0,640 |
| Moyenne | | 1191,791 | $2,784. 10^6$ | $4,248. 10^6$ | 0,655 |

Source : GRNC

Taux de combustion en mégawatt.jour par tonne d'uranium, activités en TBq

Cette évolution est due à la différence des spectres de masses produits par la fission thermique du plutonium 239 et celle de l'uranium 235 (figure n°4). La fraction de masse du ^{90}Sr pour le ^{239}Pu est près de 3 fois plus faible que celle de ^{235}U . L'augmentation du taux de combustion qui se traduit par une formation croissante de ^{239}Pu , puis sa fission, entraîne ainsi la diminution du rapport des activités $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$.

Figure n°4 : Spectre de masse des radionucléides formés par fission des ^{233}U , ^{235}U et ^{239}Pu



Source : [Unico-lab, 2012]

2.6 Autorisations de rejet d'éléments chimiques dans les effluents liquides³⁴

Tableau n°7 : Historique 2008–2012 des rejets chimiques dans les effluents liquides

| Élément chimique | Autorisations 2007 et 2014 | Rejets (kg) | | | | | moyenne | Ratio aut./rejet |
|------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | | |
| TBP | 2 700 | 2 110 | 2 250 | 1 890 | 1 970 | 1 690 | 1 982 | 1,4 |
| Nitrates | 2,90.10 ⁶ | 2,39.10 ⁶ | 2,19.10 ⁶ | 2,14.10 ⁶ | 2,13.10 ⁶ | 2,41.10 ⁶ | 2,25.10 ⁶ | 1,3 |
| Nitrites | 100 000 | 34 000 | 34 100 | 41 200 | 35 300 | 42 300 | 37 380 | 2,7 |
| Hydrazine | 100 | 10,6 | 10,2 | 10,1 | 10,6 | 10,8 | 10,46 | 9,6 |
| Ammonium | 1 000 | 69,3 | 74,1 | 55,8 | 60,7 | 51,3 | 62,24 | 16,1 |
| Co | 200 | 12,4 | 63 | 7,21 | 5,85 | 6,62 | 19,02 | 10,5 |
| Ba | 180 | 25,6 | 48,8 | 5,05 | 5,42 | 5,78 | 18,13 | 9,9 |
| Fe | 500 | 248 | 161 | 145 | 123 | 138 | 163 | 3,1 |
| Ni | 250 | 20,4 | 19 | 20,2 | 19 | 20 | 19,72 | 12,7 |
| Soufre total | 16 000 | 7 800 | 8 830 | 6 810 | 5 740 | 7 700 | 7 376 | 2,2 |
| Al | 500 | 263 | 172 | 200 | 135 | 155 | 185 | 2,7 |
| Cr | 130 | 5,03 | 4,74 | 5,05 | 4,75 | 4,99 | 4,91 | 26,5 |
| Pb | 70 | 5,03 | 4,74 | 5,05 | 4,97 | 4,99 | 4,96 | 14,1 |
| Zr | 35 | 5,03 | 4,74 | 5,05 | 4,75 | 4,99 | 4,91 | 7,1 |
| Hg | 20 | 1,31 | 1,23 | 1,31 | 1,24 | 1,3 | 1,28 | 15,6 |
| Zn | 180 | 132 | 79,8 | 76 | 71,7 | 82,2 | 88,34 | 2,0 |
| Mn | 100 | 40,8 | 15,7 | 12,7 | 10,3 | 13,1 | 18,52 | 5,4 |
| Cd | 25 | 5,03 | 4,74 | 2,23 | 1,9 | 2 | 3,18 | 7,9 |
| DCO | 60 000 | 20 200 | 23 700 | 23 700 | 19 400 | 20 400 | 21 480 | 2,8 |
| Phosphore total | 2 900 | 608 | 514 | 523 | 577 | 562 | 556,8 | 5,2 |
| Fluorure | 150 | 12,2 | 11,5 | 11,1 | 10,5 | 11,7 | 11,4 | 13,2 |

Source : AREVA La Hague

De 2008 à 2012, cinq années après les autorisations accordées en 2007 (renouvelées dans leur intégralité dans le projet de décision 2014), le tonnage de combustibles retraités est resté relativement constant : de l'ordre de 1000 t/an, même avec une extension du retraitement à la capacité maximale des usines de La Hague à 1700 t/an, le flux de rejets associés pour chacun des éléments chimiques associés au procédé serait à multiplier par **1,7** (1700/1000).

Dans leur grande majorité, les autorisations accordées donnent des marges de rejets 5 à 26 fois supérieures au rejet potentiel (voir tableau n°7).

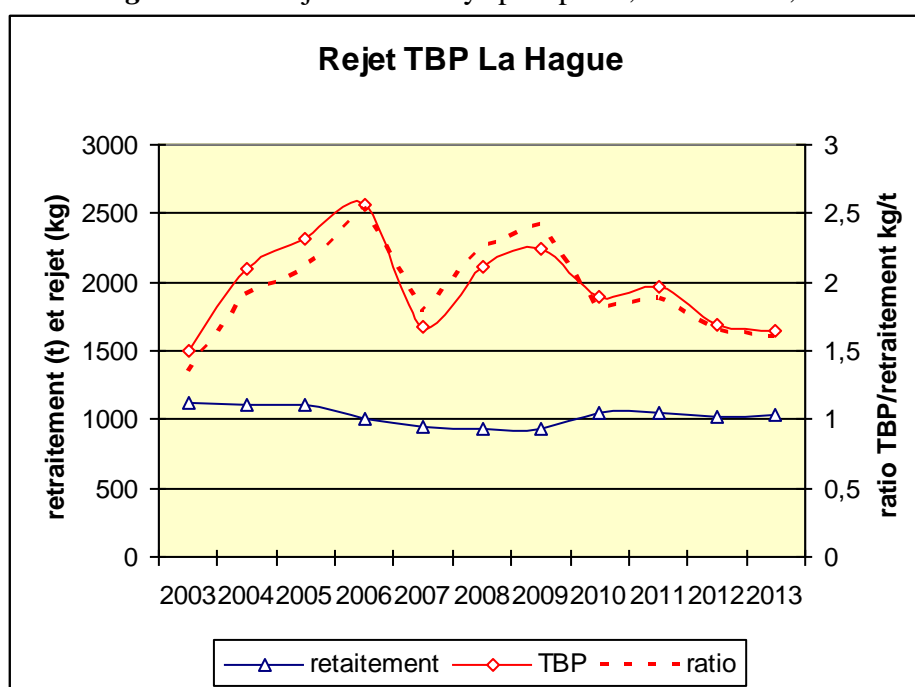
³⁴ [Prescription AREVA-LH-95]

2.6.1 Cas du TBP

Lors des travaux du GRNC 2^{ème} mission (impact des rejets des effluents chimiques), l'exploitant avait indiqué dans le cadre de l'inventaire des rejets, que « le démarrage du nouvel atelier R4 (purification, conversion et conditionnement du plutonium) prévu en 2002 devrait entraîner la diminution des rejets du TBP à environ 350 kg/an. »³⁵.

Non seulement cet engagement n'a pas été tenu en 2003 : 1500 t de TBP rejetées, soit un ratio de rejet TBP de 1,3 kg/t retraitée, mais le rejet a été amplifié les années suivantes, jusqu'à 2,5 kg/t retraitée. Il est encore à 1,6 kg/t retraitée en 2013, voir figure n°5.

Figure n°5 : Rejets de tributyl-phosphate, 2003–2013,



Source : AREVA NC

2.6.2 Cas de l'hydrazine

Le GRNC chimie s'était préoccupé de l'impact éventuel des rejets d'hydrazine³⁶ par les réacteurs d'EDF Flamanville, 10 à 76 kg/an dans les années 1990–2000, et avait organisé dans le cadre de la campagne des mesures chimiques dans l'environnement du Nord-Cotentin une campagne de prélèvements et d'analyses d'eau de mer à proximité des émissaire de rejet de Flamanville [GRNC, 2007a].

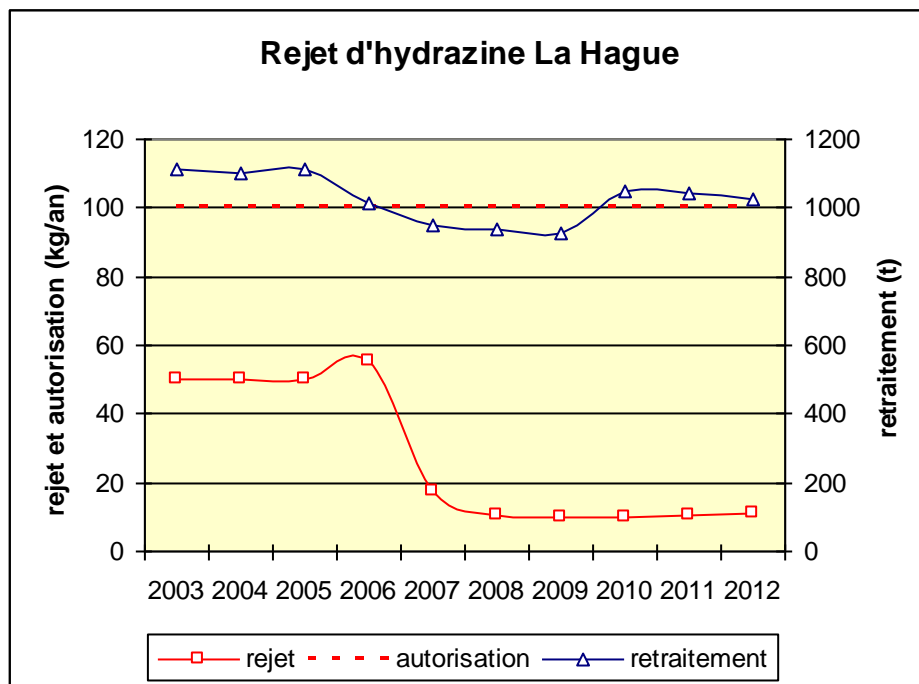
³⁵ GRNC, 2^{ème} mission. *Inventaire des rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin*. Volume 1, décembre 2002, page 26.

³⁶ Cette substance est reconnue comme cancérigène prouvé chez l'animal. Il s'agit donc d'un cancérigène de catégorie 2B (classement CIRC de 1999). A ce titre, sur le plan réglementaire, l'hydrazine est étiquetée R45 [H350] (« peut causer le cancer »). L'action mutagène de l'hydrazine a été démontrée in vitro (y compris sur des cellules humaines) et in vivo sur des animaux (rat, cobaye, hamster...). Des effets reprotoxiques de l'hydrazine portant sur des animaux sont également décrits.

Le GRNC ne s'était pas intéressé à la zone de rejets des usines de La Hague, alors que le centre de retraitement rejetait pour ces mêmes années 1990–2000 de 30 à 360 kg/an d'hydrazine [GRNC, 2002].

A partir de 2003, l'autorisation de rejets d'hydrazine a été fixée à 100 kg/an, et cette autorisation est reconduite en 2014, alors que l'exploitant n'en rejette plus que 10 kg/an depuis 2007 (contre 50 kg/an de 2003 à 2006).

Figure n°6 : 2003–2013, rejets d'hydrazine



Source : AREVA NC

Quel est le justificatif de cette autorisation de rejet d'hydrazine **10 fois supérieure aux rejets** enregistrés de 2008 à 2012 ?

Pourquoi autoriser un flux *mensuel* à hauteur de 1/6 des limites annuelles, (soit 17 kg/mois) presque deux fois supérieur aux **rejets annuels** déclarés par l'exploitant ?

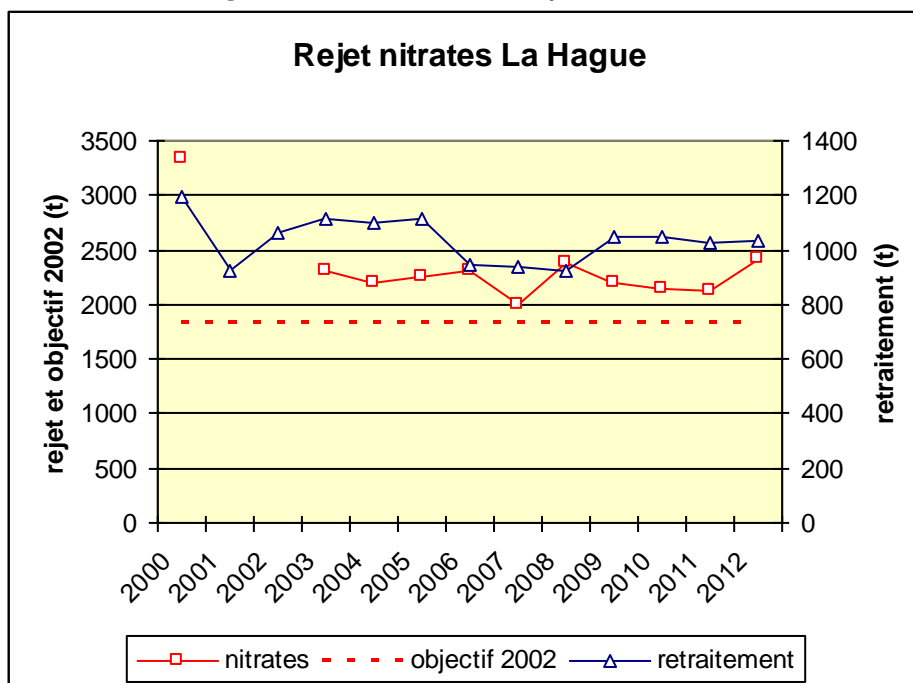
2.6.3 Cas des nitrates

Lors des travaux du GRNC 2^{ème} mission (impact des rejets des effluents chimiques), l'exploitant avait indiqué dans le cadre de l'inventaire des rejets que « *le démarrage du nouvel atelier R4 (purification, conversion et conditionnement du plutonium) prévu en 2002 devrait entraîner la diminution des nitrates rejetés d'environ 1500 t/an, soit 45%* » (rejet maximal de 1830 t/an)³⁷.

Cet objectif n'a jamais été atteint dans la période 2003-2012, voir figure n°7, et l'autorisation de rejets accordée à l'exploitant permet à ce dernier de dépasser l'objectif affiché devant le GRNC de 58%.

³⁷ GRNC, 2^{ème} mission. *Inventaire des rejets chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin*. Volume 1, décembre 2002, page 26.

Figure n°7 : 2000–2013, rejets de nitrates



Sources : GRNC et AREVA NC

Recommandation n°5 : Il conviendrait de définir des prescriptions de rejets chimiques plus proches des rejets effectifs atteints en pratique depuis plusieurs années, et plus conformes aux objectifs affichés par l’exploitant devant le GRNC en 2002.

3 – Prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de rejet dans l’environnement

3.1 – Contrôles avant rejets³⁸

Pour les contrôles alpha qui sont effectués avant rejets dans les effluents A et V, il n’est prévu de faire que de l’alpha total.

Recommandation n°6 : Compte-tenu de la forte toxicité des émetteurs alpha, nous recommandons que soit faite une détermination spécifique des différents radionucléides émetteurs alpha.

3.2 – Protocoles de mesures³⁹

Il est prévu une campagne annuelle sur les produits agricoles locaux, de même que des prélèvements périodiques de poissons, crustacés, coquillages et mollusques. Dans ces deux cas, s’agissant de produits de consommation humaine, il serait souhaitable de réaliser sur ces

³⁸ Prescription [AREVA-LH-63].

³⁹ Prescriptions [AREVA-LH-72] et [AREVA-LH-74].

matrices des mesures "bas bruit de fond" faisant appel aux techniques les plus performantes en matière de sensibilité de mesure.

Il est étonnant, étant donné sa toxicité spécifique, qu'aucune détermination de strontium 90 ne soit exigée sur les produits marins.

Recommandation n°7 : Nous demandons que des mesures "bas bruit de fond" soient effectuées sur les produits alimentaires locaux.

Recommandation n°8 : Compte-tenu de la toxicité du ⁹⁰Sr, nous recommandons que soit faite une détermination spécifique dans les produits marins.

3.3 – Analyse du tritium organique dans les échantillons biologiques⁴⁰

A la suite de notre interpellation en GT tritium ASN sur une possibilité de bioamplification de la teneur en tritium organique dans la faune marine proche de l'émissaire de rejets en mer des effluents d'AREVA La Hague, bioamplification constatée depuis 15 ans par les organismes institutionnels anglais dans l'environnement marin de l'émissaire de rejets liquides de l'usine de retraitement de Sellafield, l'ASN semble avoir intégré cette problématique en imposant à l'exploitant une mesure *annuelle* du tritium organique dans quelques échantillons de la faune marine.

Le milieu marin fait l'objet du rejet quasi intégral du terme source tritium des combustibles retraités, rejets liquides 13400 TBq (99,54%) pour 61,9 TBq (0,46%) de rejets gazeux en 2013. La surveillance sanitaire de l'impact des rejets sur les produits marins paraît donc la plus pertinente à exiger.

Lors des travaux du GT tritium, AREVA arguait d'un nombre très important de mesures environnementales (*plus de 80000 mesures par an*) pour ne pas ajouter à ses obligations la mesure du tritium organique sur les 54 échantillons de la faune marine dont elle doit déterminer les caractéristiques radiologiques, prélèvements trimestriels sur les poissons (3 zones), les tourteaux (2 zones) les homards (1 zone), les moules (2 zones), les coquilles St Jacques (1 zone) et les huitres (2 zones).

Depuis 2007 AREVA effectue 80 déterminations par an de « tritium lié » dans les échantillons d'herbe, alors qu'elle n'en a pas l'obligation réglementaire. Ces déterminations de tritium organique dans une *matrice non représentative de la consommation humaine* (plus éloignée dans la chaîne trophique que le lait ou la viande par exemple) seraient plus appropriées si elles étaient ciblées sur la faune marine, milieu où se pratique 99,5% des rejets de tritium. Ces mesures spécifiques, réalisées tous les trimestres en milieu marin, permettraient de pouvoir apprécier d'éventuelles variations saisonnières.

Recommandation n°9 : Sans augmenter fortement le nombre et le type de mesures faites par l'exploitant, nous estimons essentiel de procéder à des déterminations annuelles de "tritium lié" sur l'ensemble des échantillons de la faune marine. En contrepartie, il ne serait pas choquant de réduire significativement le nombre de déterminations similaires faites sur l'herbe.

⁴⁰ Prescription [AREVA-LH-74].

3.4 – Prélèvements à proximité de l'émissaire de rejets en mer⁴¹

Jusqu'à présent, la surveillance écologique du milieu marin à proximité de l'émissaire était imposée « à 50 m du point de rejet », le projet de décision envisage de reporter cette surveillance « à une distance maximale de 1 km du point de rejet, dans le sens du courant du Raz Blanchard ».

Pour accéder à cet élargissement demandé par l'exploitant, l'ASN argue, dans son rapport de présentation à la CLI⁴², qu'elle prend en compte l'argumentation de l'exploitant : « il était très difficile de rester dans un rayon de 50 m du rejet pour effectuer les prélèvements réglementaires ».

L'arrêté rejets ne fixant aucune notion de *synchronisation* avec les rejets autorisés, l'argument d'un courant très puissant empêchant le prélèvement d'échantillons d'eau de mer, dans cette zone des 50 m, est contestable car les prélèvements peuvent se faire à l'étal de marée.

On peut se demander comment l'extrémité de l'émissaire a été mise en place, et comment les plongeurs peuvent en faire l'inspection tous les ans ? Il est de notoriété publique que les plongeurs de Greenpeace avaient fait des prélèvements d'effluents juste à la sortie de l'émissaire, avec à l'appui un film diffusé par Thalassa. Les plongeurs étant entourés de tacauds communs (*Trisopterus luscus*) comme quoi la faune locale n'a aucune notion de vivre dans un milieu « qui imposerait de respecter les règles de transport de marchandises dangereuses, très contraignantes, pour permettre leur renvoi au laboratoire d'analyse. »

Techniquement et matériellement, la demande de l'exploitant n'est pas justifiée, dans une zone où n'importe quel plaisancier équipé d'un GPS peut positionner son bateau au mètre près pour y tendre ses casiers, ou y taquiner bar et lieu à l'aplomb de son rocher favori.

Recommandation n°10 : Nous sommes sensibles à la question de la protection radiologique des travailleurs en charge des prélèvements. Néanmoins, le choix de l'exploitant de transférer le point de prélèvement des 50 m à une distance de 1000 m nous paraît exagéré. Pour conserver le caractère représentatif des prélèvements et éviter que certains paramètres deviennent inférieurs à la limite de détection du fait de l'éloignement (et donc de la dilution), nous recommandons que soit défini un point de prélèvement plus rapproché de l'émissaire.

3.5 Etude technico-économique⁴³

L'article L124-4 du code de l'environnement, chapitre IV du droit d'accès à l'information relative à l'environnement, précise les conditions dans lesquelles l'autorité publique peut rejeter une demande d'information relative à l'environnement.

Les intérêts pris en compte pour justifier un refus de communication sont précisés à l'article 6 de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978.

⁴¹ Prescription [AREVA-LH-76].

⁴² Rapport de présentation à la commission locale d'information. Révision des prescriptions relatives aux prélèvements, à la consommation d'eau et aux rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux de l'établissement d'AREVA NC La Hague. ASN, Division de Caen, référence CODEP-CAE-2014-039206.

⁴³ Prescription [AREVA-LH-83].

Les études technico-économiques pour :

- réduire les rejets liquides,
- gérer les rejets liquides pour minimiser les perturbations du milieu récepteur,
- gérer les produits chimiques,
- réduire les rejets annuels gazeux de carbone 14 et d'iodes radioactifs,

devaient être remises aux ministres de l'industrie, de l'environnement et de la santé le 10 janvier 2007⁴⁴.

Ces exigences se transforment en une formulation plus générique en 2007⁴⁵ : l'exploitant doit adresser aux ministres chargés de la sûreté nucléaire et de la santé ainsi qu'à l'autorité de sûreté nucléaire, dans les trois ans (soit 10 janvier 2010)

- « *une étude technico-économique visant à réduire ses rejets tant chimiques que radiologiques.* »
- « *un document présentant les conséquences sur l'environnement des modifications techniques envisageables. Ce document est soumis à l'appréciation du groupe radioécologie Nord Cotentin.* »

Ces dernières formulations sont reprises *in extenso* dans les prescriptions retenues en 2014⁴⁶.

En dépit de la réglementation en vigueur en matière de communication des documents administratifs relatifs à l'environnement et de l'affichage de *transparence* liée au titre de la loi dite TSN (Transparence et Sûreté Nucléaire), l'arrêté de 2007 et le projet de prescriptions 2014 donnent quitus à l'exploitant pour ne pas rendre publique son étude technico-économique visant à réduire ses rejets chimiques et radiologiques, et ne pas diffuser cette étude y compris au GRNC qui doit pourtant en apprécier la pertinence sur les conséquences environnementales.

Au titre de membre de la CLI AREVA La Hague (ex CSPI) et du GRNC, nous avons demandé, au nom de l'ACRO, d'avoir communication de cette étude technico-économique lors des réunions de CLI des 22 juin 2006, puis du 30 mars 2009, en présence de représentants de l'ASN. L'exploitant nous avait refusé cette communication, appuyé par le représentant de l'ASN qui justifiait cette démarche au motif que cette étude était *propriété intellectuelle de l'exploitant et qu'elle était considérée comme « confidentiel industrie »*⁴⁷.

Cette pratique contraste avec celle retenue par l'ASN dans le cas des rejets tritiés, pour lesquels l'exploitant a dû exposer les meilleures techniques disponibles en matière de réduction des rejets tritium à l'occasion du livre blanc sur le tritium, et en lui imposant de rendre compte tous les ans de l'état de l'art en la matière de gestion des rejets tritiés.

Quelle est la justification de cette restriction à l'information du public sur les moyens technico-économiques de réduction des rejets de ¹⁴C, ⁸⁵Kr, iodes radioactifs et substances chimiques, quand on sait que le ³H qui fait l'objet de tant d'attentions de la part de l'ASN, ne serait responsable selon l'exploitant que d'un impact de l'ordre de 0,07 µSv en 2012⁴⁸, contre 3,6 µSv pour le ¹⁴C (9 à 11 µSv selon notre estimation), 4,67 µSv pour le ⁸⁵Kr, 1,2 µSv pour l'¹²⁹I (5 à 10 µSv selon le GRNC).

Que faut-il penser de cette situation, en 2014, alors que le GRNC a été destinataire des études technico-économiques sur la réduction des rejets radioactifs de Sellafield ... dès 2002 [Clarke, 2000] ?

⁴⁴ Article 42 de l'arrêté du 10 janvier 2003.

⁴⁵ Article 13 de l'arrêté du 10 janvier 2007.

⁴⁶ Prescription [AREVA-LH-83].

⁴⁷ M. Olivier Terneaud, DRIRE, réunion CSPI du 22 juin 2006.

⁴⁸ Rapport environnement 2012, AREVA NC La Hague.

Recommandation n°11 : Nous demandons que l'étude technico-économique visant à réduire les rejets chimiques et radiologiques soit rendue publique.

4 – Consommation de produits locaux par les groupes critiques et calculs d'impact

A partir d'une étude CREDOC, datant de 1998 et *non réactualisée* depuis cette date, AREVA NC considère que les individus, y compris ceux des groupes dits critiques (ou de référence), ne consomment que partiellement la production locale :

- Le pêcheur de Goury ne consomme par exemple que 51,7 % de son poisson et 53,6 % de ses crustacés ; sa consommation de produits terrestres locaux varie entre 17,5 % (lait) et 57,4 % (légumes feuilles).
- Les taux d'autoconsommation de l'autre groupe de référence (habitant de Digulleville) sont à l'avenant, ces pourcentages sont les mêmes que pour l'individu standard du Nord-Cotentin.

Cette consommation "*a minima*", invraisemblable, des produits locaux par les groupes critiques (groupe témoin dans le langage exploitant) conduit à sous évaluer d'un facteur 2 les résultats de calculs d'impact⁴⁹. Le GRNC dans ses études 2003 à 2006 avait mis en évidence cette sous évaluation (tableau n°8 ci-dessous).

Tableau n°8 : Evolution des doses annuelles ($\mu\text{Sv}/\text{an}$) calculées par le GRNC pour plusieurs populations

| Année | Pêcheur Huquets | Pêcheurs Goury | Agriculteur | Adulte Digulleville | Adulte Herqueville | Adulte Beaumont |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| 2006 | 12,7 à 17,4 | 4,3 | 15,9 | 15,2 | | |
| 2005 | 13,6 à 17,3 | (4,3) 8,3 | 18,3 | (7,1 à 9,6) 16,8 | 15,2 à 26,4 | 5,1 à 18 |
| 2004 | 14,3 | (4,4) 9,4 | 17,6 | (9,2) 16,5 | 16,6 à 29,4 | 4,2 à 18,3 |
| 2003 | 15,0 à 20,4 | (4,4) 6,7 à 9,9 | 16,8 à 31,5 | (8,9) 8,9 à 15,9 | - | 4,6 à 6,1 |
| 1996 | 23,8 | 6,2 | 22,6 | (6,2) | - | 4,9 |

Sources : Années 1996-2003 [GRNC 2005], année 2004 [GRNC 2006], année 2005 [GRNC 2007], Année 2006 [GRNC 2009], *Les valeurs entre parenthèses sont celles calculées par l'exploitant pour les pêcheurs de Goury et les adultes d'Herqueville.*

Notas : Les doses "agriculteurs" concernent des adultes vivant à moins de 1500m des rejets atmosphériques. Pour les pêcheurs, le GRNC suppose une autoconsommation des produits de la mer. L'exploitant n'a que deux références : les pêcheurs de Goury et les habitants de Digulleville. Il prend en outre la "rose des vents" moyenne sur 5 ans. Le GRNC réévalue, chaque année, la dose pour les habitants du village le plus exposé sur la base de la "rose des vents" de l'année.

Autour de leurs sites nucléaires, les autorités britanniques basent leurs estimations de calculs de doses sur des taux de consommation de produits locaux réévalués tous les cinq ans. Pour

⁴⁹ La situation du pêcheur de Goury allant acheter la moitié de sa consommation en crustacés et poissons au rayon poissonnerie du Super U de Beaumont Hague n'est guère crédible.

Sellafield la dernière étude de consommation du groupe pêcheurs a eu lieu en 2012 [RIFE, 2013].

Nos études sur les rejets de ^{14}C et ^{129}I montrent que les estimations de doses de l'exploitant sont discutables car les mesures environnementales, conjuguées avec l'alimentation de produits locaux, conduisent à mettre en valeur des sous-évaluations d'impact qui varient d'un facteur 5 à 10.

Recommandation n°12 : Le scénario de 100% d'autoconsommation devrait être étudié, la radioprotection doit prendre en compte l'individu en situation réelle, et non un individu « moyen ». Des études périodiques de consommation devraient être effectuées et les mesures environnementales devraient être prises en compte dans les calculs d'impact quand elles sont supérieures aux valeurs de contamination modélisées.

5 – Bibliographie

- [AEN OCDE, 2003] *Options de rejet des effluents des installations nucléaires. Contexte technique et aspects réglementaires*, AEN OCDE, mars 2003.
- [AREVA NC, 2006] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2005*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2007] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2006*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2008] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2007*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2009] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2008*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2010] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2009*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2011] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2010*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2012] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2011*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [AREVA NC, 2013] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement, Année 2012*, AREVA NC, Etablissement de La Hague.
- [ASN, 2010] *Le livre blanc du tritium*. ASN – juillet 2010.
- [CEA, 1967 à 1976] *Surveillance du site et de l'environnement*. Service de protection. Commissariat à l'Energie Atomique. Direction des productions. Centre de La Hague. Rapports trimestriels 1966 à 1975.
- [CEA, 2012] *Evaluation de l'exposition de la population aux rejets de l'ensemble HAO UP2 du Centre de la Hague*. Commissariat à l'Energie Atomique. Département de protection. Service de protection sanitaire – juin 1972.
- [CIPR, 1974] *"Report of the task group on reference man (adopted by the Commission in oct.1974)"*, Publication ICRP 23, Editor: Pergamon Press.
- [Clarke, 2000] Clarke J.S, *Radioactive Substances Act 1993, Review of discharges and disposal of radioactive wastes and effluents from Sellafield*, 29 September 2000.
- [COGEMA, 1977 à 2003] *Surveillance trimestrielle. Environnement de La Hague*. Service de Prévention et de Radioprotection. COGEMA La Hague. Rapports trimestriels 1976 à 2002.

- [COGEMA, 2004] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement*, Année 2003. COGEMA La Hague.
- [COGEMA, 2005] *Rapport annuel de surveillance de l'environnement*, Année 2004, COGEMA La Hague.
- [Cooper et al, 1998] Cooper L.W, Beasley T.M, Zhao X.L, Soto C, Vinogradova K.L and Dunton K.H, 1998, *Iodine-129 and plutonium isotopes in Arctic kelp as historical indicators of transport of nuclear fuel-reprocessing wastes from mid-to-high latitudes in the Atlantic Ocean*, Marine Biology (1998), volume 131, pages 391-399.
- [Cooper et al, 2001] Cooper L.W, Hong G.H, Beasley T.M, Grebmeier J.M, 2001, *Iodine-129 concentration in marginal seas of the north pacific-influenced waters of Arctic Ocean*, Marine Pollution Bulletin, 42, (12), p (1347-1356).
- [Court, 1997] Court L, *Radionucléides et activités militaires*, Toxiques nucléaires, 2^{ème} édition, pages 39 à 46, Masson, 1997.
- [Devin et al, 2010] Devin P, Rennesson M, Prévost T, Valéry J-F, *Origine, modes de gestion et évaluation de technologies de piégeage en vue de réduire les rejets – Le tritium issu des activités de recyclage de combustibles usés d'AREVA NC* La Hague, in "Le livre blanc du tritium", ASN – juillet 2010, (pages 125 à 136).
- [GRNC, 2002] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Evaluation des risques associés aux rejets radiologiques et chimiques des installations nucléaires du Nord-Cotentin*, Synthèse et volumes 1 à 4, Décembre 2002.
- [GRNC, 2005] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Appréciation par le GRNC de l'estimation des doses dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement de Cogéma-La Hague*, Année 2003.
- [GRNC, 2006] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Appréciation par le GRNC de l'estimation des doses dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement de Cogéma-La Hague*, Année 2004.
- [GRNC, 2007] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Appréciation par le GRNC de l'estimation des doses dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement de Cogéma-La Hague*, Année 2005.
- [GRNC, 2007a] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Campagne de prélèvements et de mesures chimiques dans l'environnement du Nord-Cotentin*. Rapport, juillet 2007.
- [GRNC, 2009] Groupe Radioécologie Nord-Cotentin. *Appréciation par le GRNC de l'estimation des doses dans le rapport annuel de surveillance de l'environnement de Cogéma-La Hague*, Année 2006.
- [Guéguéniat et al, 1996] Guéguéniat P, Germain P and Métivier H, *Radionuclides in the oceans, Inputs and inventories*, Les éditions de physique, 1996.
- [Guillemette et Zerbib, 2012] Guillemette A et Zerbib JC, *Etude de l'incidence des rejets de carbone 14 sur l'environnement terrestre proche (1 km à 10 km) et sur l'environnement marin du site AREVA-NC de La Hague*. La Gazette nucléaire n°266, novembre 2012.
- [Guillemette, 2013] Guillemette A, *Iode 129, rejets associés aux opérations de retraitement des combustibles irradiés et données environnementales*. La Gazette nucléaire n° 267, février 2013.
- [IRSN, 2001] *Iode 129, aspects sanitaires*. Radionucléides : fiches techniques, Données relatives à la protection de l'homme et de l'environnement, IRSN, Rapport DPRE/2001-01, août 2001.
- [Jeanmaire, 1982] *Métabolisme et toxicité du carbone 14*, Toxiques nucléaires, Masson, 1982.
- [Maro et al, 1999] Maro D, Hébert D, Gandon R, et Solier L, *Dosage par spectrométrie gamma de l'iode 129 dans les échantillons biologiques marins et terrestres*. Application à des

algues prélevées le long des côtes de la Manche. Radioprotection 1999 Vol. 34, n° 1, pages 13 à 24.

- [Pradel, 1997] Pradel P, *Filtres à iode, déchets organiques*, Déchets particuliers – Isotopes spécifiques, Audition CNE du 20 novembre 1997.

- [RIFE, 2013] *Radioactivity in Food and the Environment, Appendix 1 CD Supplement*, Environment Agency, Food Standards Agency, Northern Ireland Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency, RIFE-18, October 2013.

- [Roussel-Debet, 2008] Roussel-Debet S, *Interprétation des résultats de mesure de carbone 14 réalisés sur des échantillons végétaux prélevés dans l'environnement de l'usine SOCATRI en juillet et août 2008*, IRSN, Service d'Etude et de Surveillance de la Radioactivité dans l'Environnement, Rapport DEI/SESURE n° 2008- 52, novembre 2008.

- [Suzuki *et al*, 2008] Suzuki T., Kabuto S., Amano H. and Togawa O., 2008, *Measurement of iodine 129 in seawater samples collected from the Japan Sea area using accelerator masse spectrometry: Contribution of nuclear fuel reprocessing plants*. Quaternary Geochronology, Volume 3, issue 3, August 2008, pages 268-275.

- [Tamponnet, 2002] Tamponnet C, *La modélisation des transferts dans l'environnement terrestre du carbone 14 rejeté par voie atmosphérique*, SFRP, Journée carbone 14, 18 avril 2002.

- [Unico-lab, 2012], *I fasci radioattivi*, Revue Unico-lab, mars 2012, (<http://unico-lab.blogspot.fr/2012/03/i-fasci-radioattivi.html#more>).

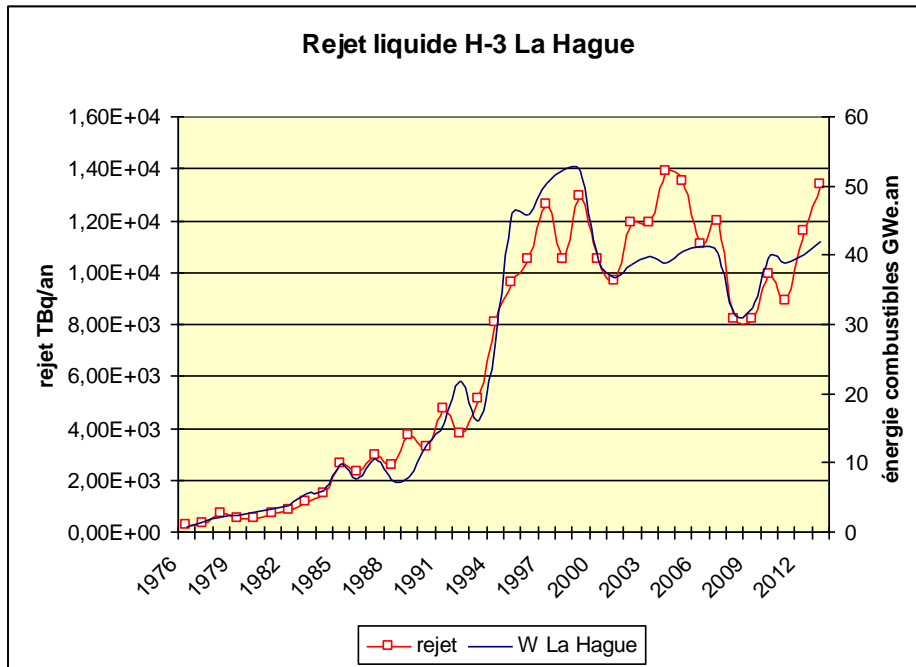
- [UNSCEAR, 2000] *Sources and Effects Ionising Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the Assembly with Scientific Annexes, Volume I, United Nations, New York, 2000.

- [UNSCEAR, 2010] *Sources and Effects Ionising Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 2008, Report to the Assembly with Scientific Annexes, Volume I, United Nations, New York, 2010.

- [Vilquin, 1985] Vilquin A, *Iode-129, Effluents et déchets, Caractéristiques et conséquences radiologiques sur l'environnement*, Document de travail référence DIP/SEIP 85/441-03 – VIL/MB – Clt D.6714.441, Marcoule 11 janvier 1985.

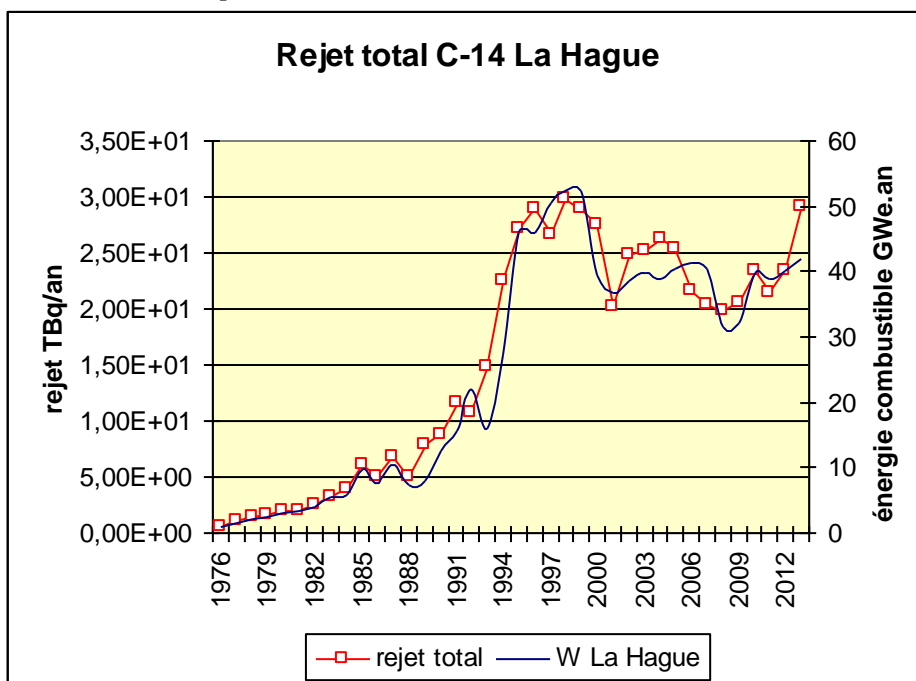
- [Yiou *et al*, 2002] Yiou F, Raisbeck G.M, Christensen G.C, and Holm, E, 2002, $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$, $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ and $^{129}\text{I}/^{99}\text{Tc}$ in the Norwegian coastal current from 1980 to 1998, Journal of Environment Radioactivity n°60, p. (61-71), 2002.

Figure n°8 : Historique des rejets liquides de tritium et de l'énergie produite par les combustibles usés retraités



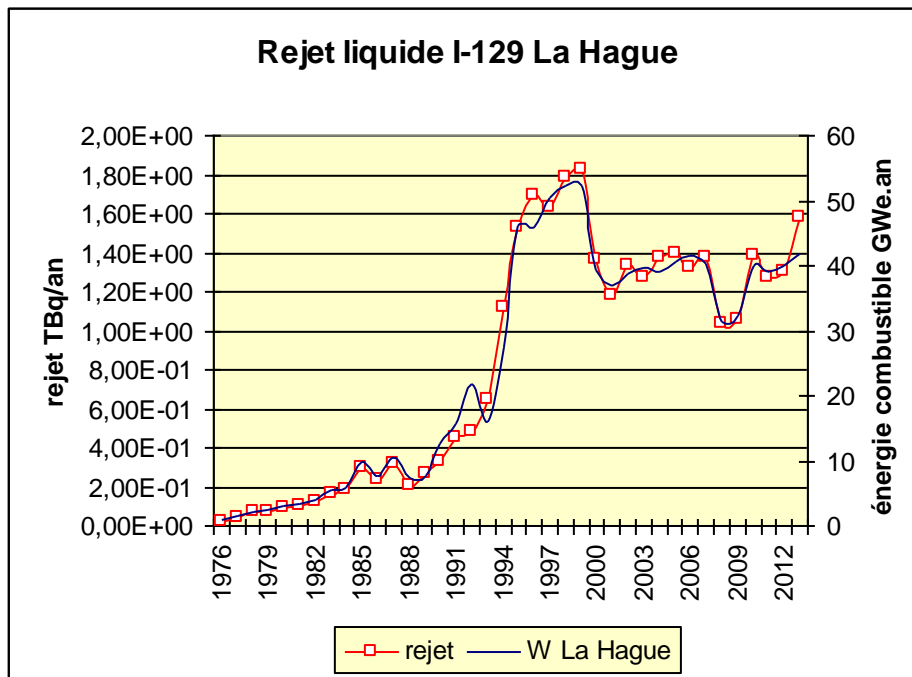
Sources : GRNC et AREVA NC

Figure n°9 : Historique des rejets liquides et gazeux de carbone 14 et de l'énergie produite par les combustibles usés retraités



Sources : GRNC et AREVA NC

Figure n°10 : Historique des rejets liquides d'iode 129 et de l'énergie produite par les combustibles usés retraités



Sources : GRNC et AREVA NC

Tableau n°9 : Historique 1976–2013 des rejets liquides ^3H , ^{14}C et ^{129}I

| Année | Retraitement (t) | Energie combustibles (GWe.an) | Rejets liquides (TBq/an) | | |
|-------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|
| | | | ^3H | ^{14}C | ^{129}I |
| 1976 | 218 | 0,8 | 264 | 0,19 | 0,02 |
| 1977 | 368 | 1,46 | 331 | 0,34 | 0,05 |
| 1978 | 390 | 2,21 | 729 | 0,50 | 0,07 |
| 1979 | 344 | 2,41 | 539 | 0,53 | 0,07 |
| 1980 | 356 | 2,94 | 539 | 0,65 | 0,09 |
| 1981 | 351 | 3,38 | 710 | 0,67 | 0,10 |
| 1982 | 380 | 3,95 | 810 | 0,83 | 0,12 |
| 1983 | 339 | 5,41 | 1170 | 1,09 | 0,16 |
| 1984 | 440 | 5,96 | 1460 | 1,31 | 0,18 |
| 1985 | 460 | 9,83 | 2600 | 2,04 | 0,30 |
| 1986 | 408 | 7,60 | 2310 | 1,67 | 0,23 |
| 1987 | 493 | 10,53 | 2960 | 2,24 | 0,32 |
| 1988 | 346 | 7,37 | 2540 | 1,65 | 0,20 |
| 1989 | 460 | 7,84 | 3720 | 2,61 | 0,26 |
| 1990 | 526 | 12,67 | 3260 | 2,97 | 0,33 |
| 1991 | 662 | 15,55 | 4710 | 3,87 | 0,46 |
| 1992 | 668 | 21,92 | 3770 | 3,57 | 0,48 |
| 1993 | 954 | 15,97 | 5150 | 4,93 | 0,65 |
| 1994 | 1276 | 27,26 | 8090 | 7,43 | 1,12 |
| 1995 | 1559 | 46,12 | 9610 | 9,17 | 1,53 |
| 1996 | 1681 | 45,79 | 10500 | 9,94 | 1,69 |
| 1997 | 1670 | 50,41 | 12600 | 9,65 | 1,63 |
| 1998 | 1633 | 52,40 | 10500 | 9,76 | 1,78 |
| 1999 | 1562 | 52,22 | 12900 | 9,93 | 1,83 |
| 2000 | 1192 | 39,48 | 10500 | 8,52 | 1,36 |
| 2001 | 921 | 36,78 | 9640 | 7,23 | 1,18 |
| 2002 | 1060 | 38,66 | 11900 | 7,85 | 1,33 |
| 2003 | 1115 | 39,82 | 11900 | 8,65 | 1,27 |
| 2004 | 1100 | 39,00 | 13900 | 8,90 | 1,37 |
| 2005 | 1112 | 40,50 | 13500 | 8,27 | 1,40 |
| 2006 | 1012 | 41,40 | 11100 | 7,46 | 1,32 |
| 2007 | 948 | 40,34 | 12000 | 7,08 | 1,37 |
| 2008 | 937 | 31,50 | 8200 | 6,24 | 1,04 |
| 2009 | 929 | 32,28 | 8190 | 6,12 | 1,06 |
| 2010 | 1049 | 39,90 | 9950 | 7,34 | 1,38 |
| 2011 | 1045 | 39,00 | 8290 | 6,99 | 1,27 |
| 2012 | 1023 | 40,00 | 11600 | 7,07 | 1,30 |
| 2013 | 1031 | 42,00 | 13400 | 8,58 | 1,58 |

Sources : UNSCEAR, GRNC et AREVA NC

Tableau n°10 : Historique 1976 – 2013 des rejets gazeux ^3H , ^{14}C , ^{85}Kr et ^{129}I

| Année | Retraitement (t) | Energie combustibles (GWe.an) | Rejets gazeux (TBq/an) | | | |
|-------|---------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | | ^3H | ^{14}C | ^{85}Kr | ^{129}I |
| 1976 | 218 | 0,8 | 1,8 | 0,4 | 8 900 | 0,0031 |
| 1977 | 368 | 1,46 | 2,3 | 0,7 | 16 000 | 0,0022 |
| 1978 | 390 | 2,21 | 4,4 | 1 | 22 000 | 0,0100 |
| 1979 | 344 | 2,41 | 7,1 | 1,1 | 24 000 | 0,0074 |
| 1980 | 356 | 2,94 | 9,3 | 1,3 | 28 000 | 0,0170 |
| 1981 | 351 | 3,38 | 10,0 | 1,3 | 29 000 | 0,0098 |
| 1982 | 380 | 3,95 | 6,3 | 1,7 | 34 000 | 0,0150 |
| 1983 | 339 | 5,41 | 8,3 | 2,2 | 49 000 | 0,0210 |
| 1984 | 440 | 5,96 | 8,5 | 2,6 | 52 000 | 0,0270 |
| 1985 | 460 | 9,83 | 33,0 | 4,1 | 85 000 | 0,0210 |
| 1986 | 408 | 7,60 | 6,1 | 3,3 | 63 000 | 0,0110 |
| 1987 | 493 | 10,53 | 15,0 | 4,5 | 70 000 | 0,0140 |
| 1988 | 346 | 7,37 | 21,0 | 3,3 | 62 000 | 0,0210 |
| 1989 | 460 | 7,84 | 25,0 | 5,2 | 92 000 | 0,0270 |
| 1990 | 526 | 12,67 | 25,0 | 5,8 | 98 000 | 0,0180 |
| 1991 | 662 | 15,55 | 28,0 | 7,7 | 140 000 | 0,0230 |
| 1992 | 668 | 21,92 | 30,0 | 7,1 | 130 000 | 0,0120 |
| 1993 | 954 | 15,97 | 42,0 | 9,9 | 160 000 | 0,0100 |
| 1994 | 1276 | 27,26 | 55,0 | 15,0 | 240 000 | 0,0210 |
| 1995 | 1559 | 46,12 | 84,0 | 18,0 | 290 000 | 0,0320 |
| 1996 | 1681 | 45,79 | 75,0 | 19,0 | 290 000 | 0,0380 |
| 1997 | 1670 | 50,41 | 76,0 | 17,0 | 260 000 | 0,0170 |
| 1998 | 1633 | 52,40 | 72,0 | 20,0 | 300 000 | 0,0150 |
| 1999 | 1562 | 52,22 | 80,0 | 19,0 | 320 000 | 0,0074 |
| 2000 | 1192 | 39,48 | 67,0 | 19,0 | 300 000 | 0,0064 |
| 2001 | 921 | 36,78 | 62,0 | 13,0 | 230 000 | 0,0043 |
| 2002 | 1060 | 38,66 | 63,2 | 16,9 | 230 000 | 0,0052 |
| 2003 | 1115 | 39,82 | 67,0 | 16,5 | 252 000 | 0,0049 |
| 2004 | 1100 | 39,00 | 71,3 | 17,3 | 263 000 | 0,0050 |
| 2005 | 1112 | 40,50 | 72,1 | 17,0 | 301 000 | 0,0057 |
| 2006 | 1012 | 41,40 | 67,8 | 14,2 | 242 000 | 0,0063 |
| 2007 | 948 | 40,34 | 63,6 | 13,2 | 237 000 | 0,0086 |
| 2008 | 937 | 31,50 | 46,4 | 13,5 | 155 000 | 0,0068 |
| 2009 | 929 | 32,28 | 47,4 | 14,5 | 196 000 | 0,0048 |
| 2010 | 1049 | 39,90 | 56,8 | 16,0 | 226 000 | 0,0050 |
| 2011 | 1045 | 39,00 | 50,0 | 14,5 | 192 000 | 0,0049 |
| 2012 | 1023 | 40,00 | 55,0 | 16,3 | 216 000 | 0,0054 |
| 2013 | 1031 | 42,00 | 61,9 | 20,6 | 289 000 | 0,0066 |

Sources : UNSCEAR, GRNC et AREVA NC