

## Expérience d'immersion de déchets radioactifs Application au tritium \*

G. PESCAYRE, L. PITON\*\*

(Manuscrit reçu le 18 décembre 1986)

### RÉSUMÉ

Après avoir rappelé les règlements et recommandations édictés par la Convention de Londres, le Conseil de l'OCDE, de l'AIEA et de l'AEN, et applicables à l'immersion en haute mer de déchets radioactifs, les auteurs décrivent les caractéristiques du site d'immersion utilisé ainsi que les risques radiologiques afférents aux opérations d'immersion, et plus particulièrement ceux qui ont trait au rejet de déchets tritiés. Ensuite, est analysé le déroulement de l'expérience d'immersion de déchets radioactifs organisée par les Pays-Bas, la Belgique et la Suisse en 1981, et à laquelle l'un des auteurs a participé en tant que représentant du directeur de l'AEN et observateur au profit de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA).

### ABSTRACT

After a review of the regulations and recommendations issued by the London convention, the OECD council, IAEA and NEA, and governing sea dumping of radioactive wastes, the characteristics of the dumping site used and the radiological risks – especially from tritium wastes – resulting from dumping operations are described. Finally, an analysis is made of the radioactive waste dumping experiment organized by the Netherlands, Belgium and Switzerland in 1981, which was attended by one of the authors as representative of the director of OECD and observer for ANDRA.

## 1. INTRODUCTION

L'immersion de déchets radioactifs dans l'Atlantique Nord a été une pratique couramment utilisée jusqu'à ces dernières années, par un certain nombre de pays.

---

\* Communication présentée lors des Journées Tritium organisées par la Société française de radioprotection à Dijon, du 23 au 25 avril 1986.

\*\* Commissariat à l'énergie atomique, Centre de Valduc, Service de protection contre les rayonnements ionisants, BP 14, 21120 Is-sur-Tille.

Pour éviter une pollution inacceptable des mers, cette pratique devait respecter des règles établies par les organismes supranationaux. En 1972, la Convention de Londres a défini des objectifs pour la prévention de la pollution des mers, résultant de l'immersion des déchets et autres matières. En vue de poursuivre ces objectifs, une décision du Conseil de l'OCDE a institué, en 1977, un "mécanisme de consultation et de surveillance de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) pour l'immersion de déchets radioactifs en mer. A ce titre, l'AEN est chargée de procéder à l'élaboration de normes et de directives, de recommander des pratiques et des procédures en vue de l'immersion, en toute sécurité, des déchets radioactifs en mer et de les réexaminer régulièrement.

La sécurité globale des opérations dépend d'un certain nombre de facteurs tels que les caractéristiques du lieu d'immersion, la quantité, la composition, le conditionnement et l'emballage des déchets, et la manière dont les opérations sont organisées et contrôlées.

Pour chaque opération d'immersion, le directeur de l'AEN désigne un représentant, en principe d'un pays n'effectuant pas de rejets de déchets radioactifs en mer, qui vérifie que l'opération se déroule conformément à ses instructions et aux décisions du Conseil. A ce titre, l'AEN a demandé, en 1981, à la France, de désigner un représentant pour une opération d'immersion de déchets radioactifs organisée conjointement par les Pays-Bas, la Belgique et la Suisse.

C'est cette expérience orientée sur la spécificité des déchets tritiés qui fait l'objet de cet exposé, avec en préambule un rappel des règlements internationaux, une description du site d'immersion ainsi que des procédures et contrôles des opérations.

## 2. RÉGLEMENTATION

L'immersion des matières et déchets radioactifs est régie par deux textes de base :

- a) La Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets et autres matières, adoptée au cours d'une conférence intergouvernementale tenue à Londres en novembre 1972 et dite "Convention de Londres" [1];
- b) Une décision du Conseil de l'OCDE (juillet 1977) instituant un *mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance* pour l'immersion des déchets radioactifs en mer [2].

De ces deux textes, on peut retenir les principales dispositions suivantes :

### 2.1. Convention de Londres (1972)

Cette convention, entrée en vigueur le 30 août 1975, prévoit le contrôle de tout rejet délibéré dans la mer de déchets et autres matières à partir de navires, plates-formes ou autres ouvrages placés en mer. En ce qui

concerne plus particulièrement les matières radioactives, la Convention de Londres a donné à l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) des responsabilités précises, en particulier la définition des matières et déchets fortement radioactifs et impropres à l'immersion en raison de leurs effets sur la santé humaine, la biologie ou d'autres domaines. Pour les autres matières et déchets radioactifs dont l'immersion nécessite des précautions spéciales, l'AIEA est chargée de rédiger des recommandations qui doivent servir de guide pour la délivrance, par les parties contractantes, de permis spécifiques d'immersion.

Conformément à ces attributions, l'AIEA a donc révisé ses définitions et formulé des recommandations selon les critères de radioprotection applicables à la gestion des déchets et compte tenu des recommandations de la Commission internationale de radioprotection (CIPR).

## 2.2. Définitions et recommandations de l'AIEA

Le principe fondamental dans la gestion des déchets est de protéger l'homme et les autres éléments sensibles de la biosphère contre une radioexposition injustifiée due à ces déchets.

De plus, les facteurs justifiant l'immersion de déchets radioactifs doivent être considérés du point de vue :

- de la nécessité de trouver des méthodes appropriées de stockage ou d'évacuation;
- de la radioprotection des travailleurs et du public;
- du coût général des opérations.

### 2.2.1. Définitions des déchets fortement radioactifs impropres à l'immersion en mer

La définition repose sur l'activité par unité de masse brute :

- pour les émetteurs  $\alpha$ , en général  $A > 3,7 \cdot 10^{10}$  Bq.tonne<sup>-1</sup> (1 Ci.tonne<sup>-1</sup>);
- pour <sup>226</sup>Ra et <sup>210</sup>Po  $A > 3,7 \cdot 10^9$  Bq.tonne<sup>-1</sup> (0,1 Ci.tonne<sup>-1</sup>);
- pour les émetteurs  $\beta$   $\gamma$ , en général  $A > 3,7 \cdot 10^{12}$  Bq.tonne<sup>-1</sup> (100 Ci.tonne<sup>-1</sup>);
- pour le tritium et émetteurs  $\beta$   $\gamma$  de faible période  $A > 3,7 \cdot 10^{16}$  Bq.tonne<sup>-1</sup> (10<sup>6</sup> Ci.tonne<sup>-1</sup>).

#### Nota

- la définition repose sur l'hypothèse d'un taux d'immersion maximal de 100 000 tonnes par an à tout endroit donné;
- la définition tient compte des limites supérieures calculées du débit des rejets radioactifs de toute origine (sauf naturelle) et se situe à 10<sup>-5</sup> en dessous de ces limites.

### **2.2.2. Modalités recommandées pour la délivrance des permis d'immersion**

a) Aucun permis ne sera délivré sans qu'une étude détaillée préalable de l'environnement n'offre une assurance raisonnable que cette immersion restera conforme aux objectifs et dispositions de la Convention de Londres.

b) Les autorités nationales compétentes doivent veiller, lorsqu'elles accordent un permis spécifique, au respect des prescriptions édictées dans les normes fondamentales de radioprotection de l'AIEA inspirées du système de limitation des doses de la CIPR qui spécifie que :

- le bilan avantage en regard des conséquences radiologiques doit être positif ;
- les problèmes de radioprotection doivent être optimisés en maintenant les doses collectives résultantes au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre (principe ALARA) ;
- les doses individuelles pour le public ne doivent pas atteindre, tant à l'heure actuelle qu'à l'avenir, les limites appropriées, compte tenu d'autres pratiques susceptibles d'exposer les mêmes groupes critiques.

Lorsque le dégagement a lieu dans un bassin océanique de volume  $\geq 10^{17} \text{ m}^3$ , les taux de dégagement de radioactivité de toute origine (sauf naturelle) ne doivent pas dépasser :

- $3,7 \cdot 10^{15} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^5 \text{ Ci.an}^{-1}$ ) pour les matériaux  $\alpha$  en général ;
- $3,7 \cdot 10^{14} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^4 \text{ Ci.an}^{-1}$ ) pour  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Po}$  ;
- $3,7 \cdot 10^{18} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^8 \text{ Ci.an}^{-1}$ ) pour les émetteurs  $\beta \gamma$  en général ;
- $3,7 \cdot 10^{22} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^{12} \text{ Ci.an}^{-1}$ ) pour le tritium et les émetteurs  $\beta \gamma$  dont  $T < 6$  mois.

c) En plus de l'étude écologique à faire pour chaque demande, les autorités nationales devront tenir compte des facteurs suivants :

- relevé périodique de l'ensemble des immersions effectuées ;
- immersions exécutées par d'autres Etats ;
- immersions raisonnablement prévisibles.

### **2.2.3. Modalités recommandées pour le contrôle des opérations**

a) *Prescriptions générales :*

- pas d'autorisation pour les déchets radioactifs liquides ou non emballés tant que l'AIEA n'aura pas émis de recommandations en la matière ;
- possibilité d'immersion de déchets radioactifs solides enrobés dans une matrice insoluble sans dispersion avant d'arriver au fond des mers ;
- surveillance stricte des opérations ;

b) *Prescriptions pour le site d'immersion :*

- limitation des sites aux zones situées entre 50° de latitude Nord ou Sud avec une profondeur moyenne supérieure à 4 000 m ;
- situation nettement à l'écart du plateau continental, des îles de pleine mer et des zones de séismes ;
- sites non traversés par des câbles sous-marins ;
- sites ne renfermant pas de ressources exploitables directement (mines, récoltes) ou indirectement ;
- zones ne présentant que peu de risques de collision et convenablement couvertes par les procédés de radiolocalisation des navires ;
- superficie réduite ( $\leq 10^4$  km<sup>2</sup>).

c) *Prescriptions pour les colis :*

- les déchets doivent être solides, solidifiés ou absorbés dans un substrat solide, la densité des colis doit être supérieure à 1,2 ;
- la manutention et les transports des colis doivent respecter le règlement des transports de l'AIEA et des organismes nationaux et internationaux ;
- le poids des conteneurs sera compatible avec les moyens de manutention du navire ;
- la contamination de surface ne doit pas excéder les niveaux définis par le règlement des transports de l'AIEA ;
- les conteneurs doivent être identifiés et porter les renseignements suivants : pays d'origine, numéro de série du conteneur, poids, présence de matière fissile (lettre F et bande pourpre) au-dessus de 16 g/colis, l'intensité maximale du rayonnement I à la surface si :
 

500 $\mu$ Sv/h	< I <	2000 $\mu$ Sv/h	
(50 mrem/h	< I <	200 mrem/h)	<i>bande blanche</i>
2000 $\mu$ Sv/h	< I <	5000 $\mu$ Sv/h	
(200 mrem/h	< I <	500 mrem/h)	<i>bande jaune</i>
	I >	5000 $\mu$ Sv/h	
	(I >	500 mrem/h)	<i>bande rouge</i>

Le tritium est repéré par une *bande orange*.

d) *Prescriptions relatives au navire et à son équipement :*

- appareils de navigation et de communication appropriés à la zone d'immersion choisie ;
- présence d'équipements de calage et d'arrimage ;
- appareils de levage et de récupération des débris, appropriés ;
- moyens de décontamination des cales (ventilation par exemple).

e) *Responsabilités :*

Le responsable à bord représente l'*autorité nationale* compétente qui a délivré le permis d'immersion. Il a pour mission de :

- veiller au respect des prescriptions et, à ce titre, il doit être en possession de tous les documents nécessaires ;
- vérifier les conteneurs avant l'embarquement ;
- vérifier l'arrimage en accord avec le commandant du bateau ;
- vérifier la sécurité radiologique et la dosimétrie individuelle ;
- être présent au moment des immersions ;
- délivrer aux autorités nationales un certificat d'immersion ainsi qu'une copie certifiée du journal de bord avec le relevé des positions successives du navire lors des opérations d'immersion.

Pour assumer ses responsabilités et exercer ses pouvoirs, il doit :

- connaître les principes de base de la radioprotection, l'utilisation des appareils de mesure et l'interprétation de leurs résultats ;
- connaître tous les types approuvés de conteneurs ;
- avoir une expérience de la direction et de l'organisation.

La nature et les quantités de toutes les matières dont l'immersion est autorisée ainsi que le lieu, la date et la méthode d'immersion doivent faire l'objet de relevés certifiés qui seront communiqués à l'Organisation internationale maritime (OMI) et à d'autres organismes éventuellement.

L'AIEA estime que l'OMI et les autorités nationales compétentes devront assurer une surveillance internationale ou multilatérale afin de s'assurer que les opérations de rejets en mer sont conformes à la Convention et aux recommandations de l'AIEA.

### **2.3. Décision du Conseil de l'OCDE (juillet 1977)**

Compte tenu, d'une part, de la Convention de Londres et des responsabilités confiées à l'AIEA et d'autre part, des accords de coopération existants entre l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE dans les questions d'intérêt commun et en vue de promouvoir les objectifs de la Convention, le Conseil a institué, au sein de l'AEN, un *mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance pour l'immersion de déchets radioactifs en mer*.

#### **2.3.1. Rôle de l'AEN**

Aux termes de la décision et dans le cadre de sa mission, l'AEN est chargée, sans préjudice des responsabilités de l'AIEA, de :

- procéder à l'élaboration de normes et de directives ;

- recommander des pratiques et des procédures d'immersion des déchets radioactifs et de les réexaminer régulièrement. Ceci concerne :
  - la détermination des lieux d'immersion,
  - le guide relatif aux conteneurs,
  - les procédures d'exécution des opérations,
  - l'évaluation et le réexamen régulier des incidences de ces immersions sur l'environnement, l'écologie et la protection radiologique,
  - l'évaluation et le réexamen de la validité du choix des sites (au moins tous les cinq ans).

Pour chaque opération de rejet prévue, l'AEN sera avertie au moins six mois avant la date prévue mais douze mois avant en cas de changement de lieu d'immersion. Cette notification comprendra :

- les caractéristiques des conteneurs et la composition des déchets (quantités, types de nucléides, activités);
- le lieu d'immersion choisi;
- les procédures d'exécution;
- une description des caractéristiques du navire proposé accompagné d'un certificat de conformité aux prescriptions et critères de l'AIEA et de l'AEN.

### **2.3.2. Procédure de consultation**

Dès réception de la notification prévue ci-dessus, le secrétariat de l'AEN la diffusera à tous les pays participants avec les commentaires et observations de l'AEN.

Sur demande d'un pays participant ou de sa propre initiative, le secrétariat de l'AEN pourra solliciter l'avis:

- du comité compétent de l'AEN;
- d'un groupe international de spécialistes en ce qui concerne les incidences sur l'environnement et l'écologie;
- d'un groupe international de spécialistes en ce qui concerne d'autres aspects de l'opération.

Cette procédure devra être entamée assez tôt pour que l'avis soit formulé au moins deux mois avant la date prévue de l'opération. L'avis sera obligatoirement sollicité si:

- un nouveau lieu d'immersion est proposé;
- de nouvelles méthodes de conditionnement ou de nouveaux types de conteneurs sont envisagés;
- l'utilisation d'un navire non encore jugé approprié est envisagée.

L'avis formulé sera communiqué à tous les pays participants.

### **2.3.3. Rôle du représentant de l'AEN**

Outre le responsable à bord dont les fonctions ont été définies précédemment, le directeur de l'AEN désigne un représentant chargé d'appliquer ses instructions et de lui en rendre compte. Les obligations et les devoirs du représentant de l'AEN sont définis ci-après :

1) Il doit prendre ses fonctions dès l'arrivée à quai des déchets radioactifs destinés à l'immersion.

2) Il doit vérifier que l'opération se déroule conformément aux recommandations de l'AEN relatives aux procédures d'exécution des opérations. En particulier, il doit vérifier que :

- les permis spécifiques relatifs à l'opération ont bien été délivrés par les autorités nationales ;
- les quantités et types de déchets, les modèles de conteneurs et les étiquetages sont conformes aux renseignements fournis par les autorités nationales et au guide des conteneurs de l'AEN.

3) Au cours de l'opération, il doit :

- s'assurer que l'opération est exécutée à l'intérieur de la zone prescrite ;
- vérifier qu'il n'y a pas de risques d'irradiation anormale pour l'équipage ;
- être prêt à assister les responsables à bord dans l'accomplissement de leurs obligations notamment dans les situations d'urgence.

4) Après la fin des opérations, il doit :

- en cas de contamination, vérifier que le navire est décontaminé par les responsables à bord ;
- faire immédiatement un rapport oral au secrétariat de l'AEN et établir un rapport écrit dans les dix jours suivants.

5) En cas d'événements anormaux ou de constatations anormales, il doit formuler des objections ou des suggestions aux responsables à bord, avec lesquels il devra se mettre d'accord sur les mesures à prendre.

6) Si le désaccord persiste, les responsables à bord seront invités à suspendre l'opération et le représentant de l'AEN devra aviser immédiatement le directeur général de l'AEN. Ceci peut se produire dans les cas suivants :

- navire paraissant hors de la zone désignée ;
- conteneurs non conformes aux spécifications ;
- danger sérieux d'irradiation de l'équipage ou contamination sérieuse du navire.



### 3. LE SITE D'IMMERSION

#### 3.1. Caractéristiques

Le site d'immersion est utilisé depuis une vingtaine d'années par les pays de l'Europe de l'Ouest et a été réévalué en 1985 pour une période de 5 ans. Il est situé dans l'Atlantique Nord-Est entre les parallèles 45° 50' N et 46° 10' N et les méridiens 16° W et 17° 30' W. Il a la forme d'un rectangle de 116 km de long sur 37 km de large, soit une surface de 4 300 km<sup>2</sup> avec une profondeur moyenne de 4 400 m. Les pays les plus proches sont l'Espagne et l'Irlande à 800 km environ.

#### 3.2. Description

— *Biologie.* Dans les grands fonds, la macrofaune est peu abondante. Elle est composée de requins, crustacés (amphipodes) et mollusques (céphalopodes). Dans la couche superficielle, la densité du poisson est assez faible et la pêche, peu importante, est constituée surtout par la capture saisonnière des thuniers lors de leur migration annuelle dans les eaux chaudes du Gulf Stream.

— *Sédiments.* Le fond serait surtout constitué de boues calcaires. La couche de sédiments aurait une épaisseur d'environ 100 m, la vitesse de sédimentation serait de l'ordre de 1 cm tous les 1 000 ans.

— *Activité tectonique.* La zone de séismes le long de la crête médiane de l'Atlantique et la zone de fractures de la région Est des Açores se trouvent à quelque 650 km à l'Ouest et au Sud.

— *Câbles sous-marins.* Le câble le plus proche se trouve à 35 km de la limite sud de la zone.

— *Ressources potentielles du fond de la mer.* Il n'existe aucun indice de présence de ressources susceptibles d'être mises en valeur (pas de nodules polymétalliques).

— *Densité de trafic maritime.* La zone est en dehors des grandes lignes de navigation qui relient l'Europe et l'Amérique Nord.

#### 3.3. Modèle océanographique et évaluation radiologique

Le modèle océanographique de Shepherd permet de calculer les concentrations théoriques à l'état d'équilibre dans l'océan, en surface et en profondeur, à la suite d'un dégagement continu de matières en un lieu d'immersion situé dans les fonds océaniques. L'AIEA l'a aménagé en tenant compte du processus de dispersion à court terme. Les calculs effectués montrent que la concentration en provenance d'un site unique pourrait être à court terme de l'ordre de  $10^{-6}$  Ci.m<sup>-3</sup> par Ci.s<sup>-1</sup> émis, valeur utilisée comme limite la plus restrictive pour des sites uniques. Le modèle suppose

aussi que les déchets sont évacués à une profondeur supérieure à 4 000 m et qu'il s'écoule 3 ans entre l'émission de radioactivité et l'instant où elle parvient au point le plus proche d'interaction avec l'homme.

L'évaluation des risques, basée sur un dégagement continu de radioactivité, aboutit à des taux de dégagement propres à chaque nucléide et rattachés aux limites de doses fixées par la CIPR pour les personnes du public. Les limites ont été calculées pour 80 radionucléides en  $\text{Bq.an}^{-1}$  ( $\text{Ci.an}^{-1}$ ). On peut citer :

$^{226}\text{Ra}$	4,07	$10^{14}$	$\text{Bq.an}^{-1}$	(1,1	$10^4$	$\text{Ci.an}^{-1}$ )
$^{239}\text{Pu}$	3,4	$10^{15}$	$\text{Bq.an}^{-1}$	(9,2	$10^4$	$\text{Ci.an}^{-1}$ )
$^{241}\text{Am}$	1,5	$10^{16}$	$\text{Bq.an}^{-1}$	(4,2	$10^5$	$\text{Ci.an}^{-1}$ )
$^{238}\text{U}$	4	$10^{16}$	$\text{Bq.an}^{-1}$	(1,1	$10^6$	$\text{Ci.an}^{-1}$ )
tritium	4	$10^{21}$	$\text{Bq.an}^{-1}$	(1,1	$10^{11}$	$\text{Ci.an}^{-1}$ )

L'AIEA a regroupé ces radionucléides en trois catégories :

- émetteurs  $\alpha$  (y compris 10 %  $^{226}\text{Ra}$ ) :  $3,7 \cdot 10^{15} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^5 \text{ Ci.an}^{-1}$ ) ;
- émetteurs  $\beta \gamma$  en général :  $3,7 \cdot 10^{17} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^7 \text{ Ci.an}^{-1}$ ) ;
- tritium :  $3,7 \cdot 10^{21} \text{ Bq.an}^{-1}$  ( $10^{11} \text{ Ci.an}^{-1}$ ) .

Sur ces bases, on est parvenu à la conclusion que les doses maximales impliquées par les taux limites de dégagement soit dans l'eau, soit dans les sédiments, n'entraînaient pas d'effets préjudiciables importants dans les populations d'organismes marins tant au point de vue somatique que génétique.

### 3.4. Nature des déchets immergés

Les relevés des déchets depuis 1948 jusqu'en 1982, date de la dernière immersion, fournissent des informations sur les lieux d'immersion ainsi que sur la masse et la composition des déchets par groupe de radionucléides. Depuis 1975, le tritium est différencié des autres émetteurs  $\beta \gamma$ . On estime que jusqu'en 1974 le tritium représente 100 % des émetteurs  $\beta \gamma$ . Depuis 1975, il représente environ de 30 à 40 % des émetteurs  $\beta \gamma$ .

TABLEAU I  
Quantités immergées de 1949 à 1982

Années	Quantités immergées				Surveillance AEN
	Masse brute (T)	Activités (Ci)			
		$\alpha$	$\beta \gamma$	$^3\text{H}$	
de 1949 à 1966	42 848	3 640	43 620		–
de 1967 à 1974	39 625	4 166	270 553		Oui
de 1975 à 1982	59 811	10 578	811 918	411 088	Oui
Total	142 284	18 384	1 126 091	411 088	

Les déchets sont incorporés à du béton ou du bitume dans des conteneurs en acier ou en béton. En cas de vide existant, des dispositifs d'égalisation de pression équipent les conteneurs. Les effets à long terme de l'eau de mer à haute pression sur les structures des conteneurs ne sont pas connus. Il est probable que des conteneurs, même les plus simples, resteront intacts pendant quelques dizaines d'années et que les conteneurs en béton conformes au type d'emballage B demeureront intacts pendant des centaines d'années en ne laissant échapper qu'une partie infime de leur contenu. Le conditionnement des matières à l'intérieur d'un conteneur réduit la lixivibilité dans l'eau de certains isotopes. Ceci ne s'applique pas au tritium qui est très mobile et soluble et dont le confinement sur une longue durée est peu probable.

### 3.5. Evaluation radiologique sur la base de scénarios envisagés

Le risque radiologique dû à l'immersion des déchets a été réévalué en considérant trois scénarios :

- a) *scénario A* : immersions passées ;
- b) *scénario B* : immersions passées plus cinq années d'immersion à un rythme comparable à celui des dernières années d'opérations ;
- c) *scénario C* : immersions passées plus cinq années d'immersion à un rythme dix fois supérieur à celui des dernières années d'immersion.

*Doses individuelles :*

Les doses ont été calculées en considérant d'une part les voies de transfert actuelles, d'autre part, des voies de transfert hypothétiques mais qui pourraient s'appliquer dans un avenir plus ou moins lointain (consommation de plancton et de poisson benthique).

Elles sont données dans les tableaux II et III, le premier pour les voies de transfert actuelles, le deuxième pour des voies de transfert envisagées, et ce, pour les individus du groupe critique.

TABLEAU II

**Equivalent de dose individuel maximal en sievert par an  
et nombre d'années écoulées depuis le début des rejets (1949)  
Voies de transfert actuelles**

Nucléides	A		B		C	
	Dose	Temps	Dose	Temps	Dose	Temps
Tous	$2,15 \cdot 10^{-8}$	200	$2,6 \cdot 10^{-8}$	200	$1,3 \cdot 10^{-7}$	200
Tritium seul	$5,6 \cdot 10^{-16}$	62	$8,5 \cdot 10^{-16}$	66	$2,2 \cdot 10^{-15}$	66

TABLEAU III

**Equivalent de dose individuel maximal annuel en sievert par an pour le nombre d'années écoulées depuis le début des rejets (1949)**

**Voies de transfert : poisson benthique**

Nucléides	A		B		C	
	Dose	Temps	Dose	Temps	Dose	Temps
Tous	$3,5 \cdot 10^{-8}$	44	$4,8 \cdot 10^{-8}$	48	$2,2 \cdot 10^{-7}$	50
Tritium seul	$2,2 \cdot 10^{-13}$	42	$3,3 \cdot 10^{-13}$	48	$9,3 \cdot 10^{-13}$	44

Nota : le transfert par le plancton est entre 100 et 1000 fois inférieur.

Si l'on compare les doses du tableau II aux normes de la CIPR ( $5 \text{ mSv} \cdot \text{an}^{-1}$ ), on constate qu'elles restent en dessous de 0,003 % de ces normes (scénario C) et que la part du tritium est  $10^5$  fois environ en dessous.

Dans le tableau III on constate que le tritium ne participe que très peu à la dose ( $10^{-5}$  du total), et que la dose maximale (scénario C) ne dépasse pas 0,004 % des normes de la CIPR.

### 3.6. Autres sources de radioactivité

La radioactivité artificielle introduite dans l'Atlantique Nord résulte également des retombées radioactives dues aux essais nucléaires (tableau IV) et à l'exploitation industrielle de l'énergie nucléaire.

TABLEAU IV

**Inventaire, jusqu'en 1983, des retombées radioactives, sur le plan mondial et dans l'Atlantique Nord**

Nucléide	Production totale	Inventaire de l'activité déposée			
		Monde (Bq)	Hémisphère Sud (Bq)	Hémisphère Nord (Bq)	Atlantique Nord (Bq)
$^3\text{H}$	$2,4 \cdot 10^{20}$	$7,5 \cdot 10^{19}$	$1,5 \cdot 10^{19}$	$6,0 \cdot 10^{19}$	$1,3 \cdot 10^{19}$
$^{14}\text{C}$	$2,2 \cdot 10^{17}$	$2,2 \cdot 10^{17}$ (a)			
$^{90}\text{Sr}$	$6,0 \cdot 10^{17}$	$3,9 \cdot 10^{17}$	$9,5 \cdot 10^{16}$	$3,0 \cdot 10^{17}$	$6,4 \cdot 10^{16}$
$^{137}\text{Cs}$	$9,6 \cdot 10^{17}$	$6,2 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{17}$	$4,7 \cdot 10^{17}$	$9,4 \cdot 10^{16}$
$^{238}\text{Pu}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$4,8 \cdot 10^{14}$ (b)	$3,2 \cdot 10^{14}$ (b)	$6,4 \cdot 10^{13}$
$^{239}, ^{240}\text{Pu}$	$1,3 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^{16}$	$2,6 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{16}$	$2,0 \cdot 10^{15}$
$^{241}\text{Pu}$	$1,7 \cdot 10^{17}$	$6,2 \cdot 10^{16}$ (c)	$1,2 \cdot 10^{16}$	$5,0 \cdot 10^{16}$	$1,0 \cdot 10^{16}$
$^{241}\text{Am}$	$5,5 \cdot 10^{15}$ (d)	$3,5 \cdot 10^{15}$	$7,0 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{15}$	$5,6 \cdot 10^{14}$

a) Essentiellement l'atmosphère. b) Y compris  $^{238}\text{Pu}$  résultant de la combustion du SNAP. c) Total supposé en 1962. d) Dû à la décroissance totale de  $^{241}\text{Pu}$ .

Les inventaires de tritium accusent une nette variation latitudinale en fonction des profondeurs. Ils sont de  $25 \text{ Ci.km}^{-2}$  au Nord de  $35^{\circ}\text{N}$  et environ 20 fois moindres vers les latitudes équatoriales.

Autres apports de radioactivité artificielle dans l'Atlantique Nord : retraitement des combustibles, entre 1971 et 1980,  $1,3.10^{16} \text{ Bq}$  (0,35 MCi) de tritium.

#### 4. OPÉRATION D'IMMERSION 1981

Une opération d'immersion a été organisée en septembre 1981 conjointement par la Belgique, les Pays-Bas et la Suisse, à l'aide de deux navires hollandais, le "Louise Smits" et le "Kirsten Smits". Le représentant du directeur de l'AEN sur le "Kirsten Smits" est l'auteur de cette communication.

##### 4.1. Caractéristiques du navire

Volume de la cale :  $4\,200 \text{ m}^3$  (52,3 m x 9 m x 9 m);

Port en lourd : 3 450 t;

Moyens de levage : 2 grues de 15 t;

Équipement (navigation et télécommunication) : compas magnétique, loch, sextant..., 2 radars - sondeurs US, 2 systèmes de localisation par satellite avec imprimante, 1 appareil émetteur récepteur radiotéléphonique;

Équipage : 1 capitaine, 2 navigateurs, 2 mécaniciens, 1 assistant, 5 manutentionnaires.

Se trouvaient également à bord : le représentant de l'AEN, le responsable à bord du Ministère de la Santé des Pays-Bas.

##### 4.2. Description sommaire des déchets

2 904 fûts ou conteneurs pour un poids total de 3 543 t. La répartition des activités par catégorie était la suivante :

$\alpha$  :  $4,44 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$  (12 Ci)

$\alpha$  (radium 226) :  $2,11 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$  (57 Ci)

$\beta \gamma$  :  $1,23 \cdot 10^{14} \text{ Bq}$  (3 321 Ci)

tritium :  $1,33 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$  (35 822 Ci)

##### 4.3. Documents de contrôle

Les documents de contrôle suivants ont été présentés au représentant de l'AEN :

a) permis d'immersion;

b) déclaration de conformité des conteneurs au guide de l'AEN;

c) certificat d'attestation de conformité de la préparation des matières avec les normes et directives de l'AEN;

- d) inventaire des déchets;
- e) déclaration de conformité du navire aux critères de l'AEN;
- f) certificat attestant le caractère adéquat du matériel de levage.

#### 4.4. Déroulement de l'opération

Chargement du navire	: 4 jours
Navigation aller	: 2,5 jours
Immersion	: 4 jours
Navigation retour	: 3,5 jours
Total	: 14 jours

#### 4.5. Contrôles

Des contrôles d'irradiation et de contamination ont été effectués au cours des différentes phases de l'opération. On peut en retenir les chiffres suivants :

- à la fin du chargement : les valeurs des débits d'irradiation dans la zone "vie" du navire ne dépassaient pas  $10 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  ( $1 \text{ mrem.h}^{-1}$ ) ; la dose moyenne intégrée par les dockers a été de  $2\,600 \mu\text{Sv}$  ( $260 \text{ mrem}$ );
- en cours de navigation, des mesures de radon et de tritium ont été effectuées:
  - radon  $6,18.10^3 \text{ Bq.m}^{-3}$  ( $1,65.10^{-7} \text{ Ci.m}^{-3}$ ) ( $1,65 \text{ CMA}$  ( $168 \text{ h}$ ))
  - tritium  $1,11.10^6 \text{ Bq.m}^{-3}$  ( $3.10^{-5} \text{ Ci.m}^{-3}$ ) ( $12 \text{ CMA}$  ( $168 \text{ h}$ ));
- sur le site d'immersion
  - avant l'ouverture de la cale : radon :  $9 \text{ CMA}$ , tritium :  $125 \text{ CMA}$ ;
  - cale 1/2 ouverture après quelques heures : radon :  $0,2 \text{ CMA}$ , tritium : néant;
- pendant l'immersion, la dose intégrée totale s'est élevée à  $0,035$  homme-sievert ( $3,5$  homme.rem) (pour  $11$  personnes) soit une moyenne de  $3\,200 \mu\text{Sv}$  ( $320 \text{ mrem}$ ). L'équivalent de dose pour la personne la plus exposée a été de  $5\,650 \mu\text{Sv}$  ( $565 \text{ mrem}$ );
- au retour, on a décelé  $4$  à  $5$  taches de contamination surfacique  $> 10 \text{ c/s } \beta \gamma$  qui ont disparu après nettoyage, ce qui a permis de délivrer le certificat de non contamination du navire par le responsable à bord et le représentant de l'AEN.

## 5. CONCLUSIONS

La Convention de Londres prévoit des réunions consultatives des parties contractantes à intervalles réguliers. Depuis la dernière opération d'immersion (en 1982) trois réunions ont eu lieu. La première (février 1983) avait adopté une résolution appelant à un moratoire au sujet des immersions

ainsi qu'à un examen par des experts scientifiques spécialisés dans l'écologie marine, l'océanographie et la radioprotection en vue de proposer des révisions des annexes de la Convention de Londres, en particulier quant à la définition des déchets impropres à l'immersion. L'avancement de leurs travaux a été examiné lors de la deuxième réunion (février 1984) et a débouché sur une étude par un groupe d'experts indépendants désignés par l'AIEA qui ont présenté leurs conclusions lors de la troisième réunion (juin 1985) [3].

Scientifiquement et techniquement il n'y a, d'après ces experts, aucune raison de traiter l'option d'immersion en mer autrement que d'autres options dès lors qu'il est prouvé que les principes de radioprotection de la CIPR sont respectés. Cependant, ce concept se heurte à des considérations morales et sociales telles qu'un consensus général n'a pu être obtenu si bien qu'une résolution, votée à une large majorité, proposant la suspension de toute immersion de déchets en mer a été adoptée et reste en vigueur tant que d'autres études plus approfondies et qui dépasseraient le cadre purement technique ne soient terminées [4]. Ces études devraient être examinées en octobre 1986 par une réunion consultative.

### REMERCIEMENTS

*Les auteurs tiennent à remercier l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, qui a bien voulu fournir les documents de base nécessaires à la rédaction de ce texte et autoriser sa publication dans le cadre des journées Tritium organisées par la SFRP.*

### RÉFÉRENCES

- [1] AIEA. Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant des déchets et autres matières, circulaire d'information n° 205 (INFCIRC/205) Vienne : AIEA, 1978.
- [2] OCDE. Décision du Conseil instituant un mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance pour l'immersion de déchets radioactifs en mer, C(77)115 (final). Paris : OCDE, 1977.
- [3] AIEA. Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant des déchets et autres matières, circulaire d'information n° 2218 (INFCIRC/2218). Vienne : AIEA, 1985.
- [4] OCDE - AEN. Review of the continued suitability of the dumping site for radioactive waste in the North-East Atlantic. Paris : OCDE, 1985.