

# L'évacuation des radionucléides en mer

---

par D. Van As et Wm.O. Forster

## INTRODUCTION

L'évacuation de tous les types de déchets dans l'océan est maintenant devenue pratique courante. Le trajet emprunté par ces déchets varie cependant selon leur nature: les déchets liquides et les effluents sont en général évacués par des pipelines côtiers, mais une partie arrive à la mer en empruntant ces pipelines naturels que sont les grands fleuves. Les déchets solides, les boues et parfois les déchets liquides d'origine industrielle sont transportés par bateau en haute mer et sont immergés dans des eaux plus profondes.

Dans le secteur nucléaire, tous les déchets qui ont pu être contaminés d'une façon quelconque sont en général considérés comme radioactifs, en sorte que leur manipulation et leur évacuation appellent des méthodes spéciales. Une part importante des matériaux utilisés dans la construction et dans l'exploitation des centrales nucléaires peut à long terme être considérée comme déchet faiblement radioactif. Les centrales nucléaires produisent un grand nombre de déchets divers tels que les boues chimiques, les débris de verre, les filtres usés, les gravats provoqués par les opérations de décontamination, les équipements hors d'usage, les dispositifs d'essais, et des matériaux combustibles comme le papier, le bois, les tissus et certaines matières plastiques. De même, l'utilisation croissante de radioisotopes dans l'industrie ou en médecine à des fins de diagnostic et thérapeutiques est à l'origine d'une accumulation de déchets qui, bien que faiblement contaminés, doivent être considérés pour leur élimination comme des déchets radioactifs.

Dans de nombreux pays, ces déchets représentent maintenant des quantités importantes. Leur traitement et leur évacuation constituent un obstacle au développement de l'énergie nucléaire, et certains pays pensent que ces déchets pourraient être évacués sans danger dans les océans.

## LA CONVENTION DE LONDRES SUR L'IMMERSION

Le besoin de disposer de normes et de réglementations internationales acceptables pour prévenir la pollution des mers a été reconnu pour la première fois lors de la Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer. Cette conférence a adopté les termes de la Convention de 1958 sur la haute mer qui prévoyait que ces normes et ces réglementations seraient établies par des organisations internationales compétentes.

Lors de la Conférence des Nations Unies sur le milieu humain, qui s'est tenue à Stockholm en 1972, il est une nouvelle fois apparu nécessaire de disposer de règles internationales pour la lutte contre la pollution des mers. Cette constatation s'est traduite par la réunion à Londres d'une Conférence intergouvernementale qui a adopté, en novembre 1972, une

---

M. Van As et M. Forster font partie de la Section de la gestion des déchets de la Division de la sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement de l'AIEA.

Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant des déchets ou autres matières (ci-après appelée "La Convention").

Le texte de la Convention prévoit le contrôle international de "tout rejet délibéré dans la mer de déchets et autres matières à partir de navires, aéronefs, plate-formes ou autres ouvrages placés en mer" et tout sabordage de ces navires, aéronefs, etc. Toutefois, la Convention ne vise pas la pollution liée à l'exploitation normale des navires, aéronefs, etc., ou résultant directement de la prospection et de l'exploitation des ressources naturelles du fond des mers. Elle ne vise pas non plus la pollution terrestre transportée en mer par les fleuves ou les pipelines côtiers ou sous-marins.

L'objet de la Convention est de prévenir toute pollution des mers à la suite d'immersions susceptibles de mettre en danger la santé de l'homme, nuire aux ressources biologiques, à la faune et à la flore marines, de porter atteinte aux agréments ou de gêner toutes autres utilisations légitimes de la mer.

Le texte de la Convention définit trois catégories de matières, à savoir i) les matières dont l'immersion dans les océans est interdite, ii) les matières dont l'immersion est subordonnée à la délivrance préalable d'un permis spécifique et iii) les autres déchets et matières dont l'immersion est subordonnée à la délivrance préalable d'un permis général. Les déchets radioactifs et les autres matières radioactives entrent dans les catégories i) et ii). L'AIEA s'est vue confier la responsabilité de définir les déchets fortement radioactifs et autres matières fortement radioactives dont l'immersion est interdite, et d'établir des recommandations pour la délivrance de permis spécifiques pour l'immersion des autres matières radioactives qui entreraient par conséquent dans la catégorie ii).

La Convention est entrée en vigueur le 30 août 1975 et a été ratifiée à ce jour par 39 pays. L'Organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime (OMCI) est chargée des fonctions de secrétariat relatives à la Convention.

## LA DEFINITION ET LES RECOMMANDATIONS PROVISOIRES DE L'AIEA

L'Agence a organisé en 1973 et en 1974 plusieurs réunions de consultants et de groupes consultatifs pour l'aider à établir une définition provisoire des déchets fortement radioactifs et autres matières fortement radioactives impropres à l'immersion en mer. Une définition provisoire a été fondée sur le concept de la capacité radiologique limite des grands fonds (plus de 2000 mètres). Cette capacité est définie comme l'apport annuel de radioactivité qui aboutirait par la voie des chaînes critiques à des doses engagées individuelles égales aux doses maximales pour le public recommandées par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), à savoir 500 mrem par an.

L'Agence de l'Organisation de coopération et de développement économique pour l'énergie nucléaire (OCDE/AEN) a calculé la capacité du nord-est de l'Océan Atlantique pour l'immersion en utilisant un modèle océanographique mis au point par Webb et Morley [1]. On a estimé que cette zone ainsi que le modèle utilisé étaient représentatifs, et les résultats de cette évaluation ont servi à établir la définition provisoire de l'AIEA. A partir de la capacité calculée pour ce bassin océanique, on a introduit des facteurs de sécurité afin de tenir compte a) de lieux d'immersion qui peuvent être moins favorables que celui qui a été retenu pour les calculs (facteur 100), et b) d'immersions multiples dans une zone quelconque (à nouveau un facteur 100). On considère que l'introduction délibérée d'un facteur de sécurité explicite de 10 000 venant s'ajouter à un facteur de sécurité implicite estimé à également environ 10 000 compte tenu de la prudence apportée aux calculs, devrait assurer la sécurité de l'homme et de l'environnement marin.

Afin d'atteindre les objectifs fixés par la Convention, il était nécessaire d'exprimer la définition en termes de concentration de radionucléides. Pour ce faire, on a divisé les taux de dégagement par la quantité maximale postulée de déchets immergés par an dans un même lieu, c'est-à-dire 100 000 tonnes. Le tableau 1 montre les valeurs qui résultent de la définition provisoire des déchets fortement radioactifs impropres à l'immersion en mer. En outre, des recommandations ont été faites aux autorités nationales concernant certaines conditions minimum à respecter pour l'immersion de déchets moins radioactifs que ceux mentionnés précédemment. Ces conditions, qui doivent être remplies avant que l'autorisation d'immersion ne soit accordée, incluent l'étude de l'environnement, le choix du lieu d'immersion, l'emballage, la surveillance et le contrôle des opérations d'immersion.

Lors de leur première réunion consultative en septembre 1976, les Parties contractantes à la Convention de Londres (c'est-à-dire les signataires de l'accord) ont accepté la définition et les recommandations provisoires aux fins de la Convention. Elles ont cependant demandé à l'AIEA d'affiner encore cette définition et ces recommandations.

**Tableau 1. Définition de l'AIEA concernant les déchets fortement radioactifs impropres à l'immersion dans les océans**

Groupes de radionucléides	Provisoire (sept. 1976) INFCIRC/205/Add.1 [3] Ci/tonne de déchets	Révisé (octobre 1978) INFCIRC/205/Add.1/Rev.1 [3] Ci/tonne de déchets
1. $^{226}\text{Ra}$	$10^2$ Ci/an	$10^{-1}$ ( $10^4$ Ci/an)
2. Ensemble des émetteurs alpha	10	1
3. $\text{Sr}^{90}$ et $\text{Cs}^{137}$ *	$10^2$	$10^2$
4. Ensemble des émetteurs bêta	$10^3$	—
5. Tritium**	$10^6$	$10^6$

(On suppose que la quantité maximale de déchets immergés est de 100 000 tonnes par an).

\* Dans la définition révisée, ce groupe inclut tous les émetteurs bêta-gamma dont la période est supérieure à six mois.

\*\* Dans la définition révisée, ce groupe inclut tous les émetteurs bêta-gamma dont la période est inférieure à six mois.

## LA DEFINITION ET LES RECOMMANDATIONS REVISEES

On s'est inquiété du fait que le modèle océanographique utilisé pour établir la définition ne reflétait pas réellement les véritables processus physiques de dispersion dans les océans, et on a émis des doutes quant à son utilité pour prédire les niveaux de concentration dans l'eau, même à court terme. Le modèle était fondamentalement inadapté pour l'évaluation de niveaux de concentration au-delà de quelques centaines d'années, et il n'étudiait pas explicitement un grand nombre de voies de transfert biologique possibles que les radionucléides pourraient suivre dans le milieu marin.

Lors de la révision du modèle océanographique en décembre 1976, on a reconnu que nos connaissances actuelles des processus océanographiques étaient insuffisantes, et qu'aucun modèle global ne pouvait décrire le déplacement des radionucléides dans l'environnement marin, du fond de l'océan jusqu'à l'homme. On a considéré que le meilleur modèle océanographique disponible était celui établi par Shepherd [2], en particulier pour l'étude des processus de transport à long terme (plus de 100 000 ans) dans un bassin océanique de volume fini. La validité de ce modèle est satisfaisante pour le moyen terme et le court terme (moins de 500 ans). Il permet le calcul des concentrations d'équilibre qui apparaîtraient à la suite d'un dégagement continu de radionucléides maintenus indéfiniment près du fond de l'océan, et permet d'évaluer les concentrations dans toute la colonne d'eau. On a admis que l'ensemble du bassin océanique représentait un volume de  $10^{17}$  mètres cubes.

Les voies de transfert biologiques pouvant court-circuiter le passage de la radioactivité du fond de l'océan et des eaux de fond jusqu'à l'homme, on ne peut garantir que cette radioactivité ne touchera pas l'homme et sa chaîne alimentaire. On a donc fait l'hypothèse d'une diffusion verticale très lente qui maintient la majeure partie de la radioactivité dans les couches du fond. On suppose également que toutes les voies de transfert critiques vers l'homme trouvent leur origine au fond de l'océan. On admet en outre que l'immersion des déchets dans l'océan et le dégagement de radionucléides dans les eaux profondes qui en résulte se poursuivront uniformément pendant une période de 40 000 ans, c'est-à-dire la durée de vie moyenne<sup>1</sup> du plutonium 239. Il s'agit d'une hypothèse prudente car il est peu probable que la fission nucléaire soit utilisée plus de quelques siècles pour produire de l'énergie, même avec les réacteurs surgénérateurs.

Au cours de cette période, l'accumulation des radionucléides de longue période dans l'eau de mer dépend de la période de chacun d'entre eux. Certains événements océanographiques, de faible durée et peu étendus géographiquement, qui pourraient se produire et ne toucher que des zones limitées, ne figurent pas dans le modèle de Shepherd et ont fait l'objet d'une étude séparée. Ces événements incluent des remontées d'eaux profondes et l'existence persistante de forts courants horizontaux de fond. Pour les radionucléides de période inférieure à environ 500 ans, ces processus localisés se traduisent par une concentration plus importante que dans le cas de processus à long terme intéressant tout l'océan.

Le calcul ultérieur des limites du taux de dégagement fait intervenir une distinction entre les dégagements à partir d'un lieu d'immersion unique et les dégagements à partir de plusieurs sites localisés dans le même bassin océanique. Le taux de dégagement des radionucléides de période supérieure à 500 ans est limité par les processus de grande échelle qui affectent tous les sites du bassin océanique. Pour les radionucléides de période plus

---

<sup>1</sup> La vie moyenne fait intervenir la période d'un radionucléide et les processus de recyclage biologiques et autres qui se produisent dans l'océan.

courte, la limite du taux de dégagement calculé pour un seul site est plus restrictive que celle qui est applicable à l'ensemble du bassin océanique et, dans ce cas, on ne peut utiliser le volume limite du bassin qu'en répartissant les déchets entre différents sites.

Pour l'évaluation radiologique, on a calculé les limites de taux de dégagement de 80 radionucléides parmi les plus importants qui pourraient être présents dans les déchets produits par le cycle du combustible nucléaire ou par d'autres sources. On a choisi douze grandes voies de contamination des habitants des zones côtières, parmi lesquelles certaines dont on connaît l'existence et d'autres qui pourraient prendre de l'importance à l'avenir. Cinq voies de contamination font intervenir la consommation de produits de la mer, quatre l'exposition de personnes qui résident sur les côtes, et trois font intervenir diverses pratiques telles que la baignade, l'emploi d'eau de mer dessalée comme eau potable et l'emploi du sel de mer pour les besoins domestiques. Les valeurs des paramètres utilisés dans ces calculs étaient aussi générales que possible et ont été établies à partir de données fournies pour des zones où la consommation de produits de la mer et le taux d'occupation des côtes sont élevés.

Les limites du taux de dégagement calculées pour les diverses voies de contamination sont équivalentes aux doses limites fixées par la CIPR (500 mrem/an) pour les personnes les plus exposées; il s'agit d'une limite supérieure qui ne doit pas être approchée. A partir de la voie critique de contamination, on a obtenu la limite du taux de dégagement pour chaque radionucléide. Pour plus de commodité et pour simplifier l'analyse, on a regroupé les radionucléides en trois catégories en fonction des propriétés de base, à savoir type de décroissance et période, et les limites du taux de dégagement qui sont indiquées sont celles applicables aux radionucléides les plus actifs de chaque groupe.

On est parvenu à une conclusion importante, à savoir que dans le cas de dégagement continu de radionucléides à partir du fond de l'océan, la concentration initiale à la source n'aura que peu d'influence sur la contamination de l'homme; celle-ci dépendra de l'action conjointe de toutes les sources de radioactivité.

Cependant, aux fins de la Convention de Londres, les taux de dégagement ont été une nouvelle fois divisés par la quantité maximale postulée de déchets immergés, c'est-à-dire 100 000 tonnes par an. On a alors calculé les valeurs pour la définition révisée; celles-ci sont indiquées au tableau 1. Il faut également noter que ces valeurs caractérisent les matières impropres à l'immersion, ce qui ne signifie pas pour autant que des matières dont les concentrations sont inférieures à celles indiquées dans la définition peuvent être immergées.

Les recommandations révisées soulignent fortement que les autorités nationales compétentes doivent respecter les recommandations les plus récentes de la CIPR concernant la justification et l'optimisation lors de la délivrance de permis spécifique pour l'immersion de matières radioactives. On recommande d'effectuer une étude écologique détaillée de l'environnement qui comprendrait les calculs des doses engagées pour la population via les voies de contamination, l'étude des risques pour l'écosystème et la comparaison de l'efficacité de l'opération par rapport à son coût global et des autres stratégies possibles, telles que l'évacuation terrestre.

Les recommandations révisées prévoient également certaines autres prescriptions applicables aux lieux d'immersion. La profondeur doit être au minimum de 4000 mètres, c'est-à-dire plus bas que la zone de pêche économique, ce qui permet également d'éviter la récupération accidentelle des emballages des déchets radioactifs. Les lieux d'immersion doivent être situés loin du plateau continental et des îles, et non dans des mers intérieures ou dans des zones qui recèlent des ressources halieutiques ou minérales potentielles. Il faut également

éviter les zones où l'on sait que se produisent des phénomènes naturels, tels que le volcanisme.

En outre, les déchets doivent être de forme solide et emballés de façon à atteindre intacts le fond de l'océan.

## EVALUATION DES SITES

Les calculs qui ont abouti à la définition révisée ont été faits à partir de paramètres globaux. Quand on ne disposait pas de données précises, on a formulé des hypothèses prudentes. Bien qu'il reste de grandes inconnues, les taux de dégagement calculés constituent les meilleures estimations qu'il soit possible d'obtenir à l'heure actuelle. L'évaluation des différents sites dépend en grande partie de la valeur de certains paramètres essentiels, tels que:

- les courants benthiques profonds qui pourraient influencer sur la dispersion à court terme de la radioactivité et son retour vers l'homme;
- le temps de séjour qui comprend la durée de vie du conteneur et le passage des radionucléides jusqu'à l'homme par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire;
- l'activité biologique marine, c'est-à-dire la connaissance des principaux organismes qui vivent à proximité du site d'immersion, les facteurs de concentration des radionucléides critiques et les voies par lesquelles ces radionucléides atteignent l'homme;
- les interactions entre les sédiments et l'eau. La répartition des radionucléides qui se dégagent des conteneurs déterminera l'importance de leur transfert ultérieur;
- l'étude de la contribution des autres sources de radioactivité, étant donné que la définition concerne l'exposition à toutes les sources de radioactivité non naturelles.

## L'EXPERIENCE ACQUISE PAR L'AEN ET SON EFFORT DE COORDINATION

En 1977, le Conseil de l'OCDE a instauré un mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance pour l'immersion en mer des déchets radioactifs afin d'aider à la réalisation des objectifs de la Convention. Ce mécanisme instaure une coopération régionale pour l'application et la promotion effectives de mesures destinées à protéger l'environnement marin contre toutes les sources de pollution radioactive. Il présente également, sous une forme officielle, dix ans d'efforts de l'AEN pour évaluer les normes, les lignes directrices, les méthodes et les procédures recommandées pour que l'immersion de déchets radioactifs en mer ne présente pas de dangers.

Au cours des dix dernières années, de nombreux pays (par exemple la Belgique, la France, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse) ont évacué leurs déchets dans l'océan. La France, la République fédérale d'Allemagne et la Suède ont cependant cessé leurs immersions de déchets en 1971. Le tableau 2 montre les quantités de déchets radioactifs immergés au cours des dix dernières années par les différents pays et permet de constater que celles-ci ne représentent qu'une faible part des quantités autorisées par la définition. Toutefois, comme indiqué précédemment, cela ne veut pas dire que l'on puisse immerger des déchets dont la concentration est inférieure à celle spécifiée par la définition. Les recommandations soulignent que toute immersion de matières radioactives doit au préalable être autorisée par un permis spécifique qui tient compte de l'évaluation des conséquences sur l'environnement et de l'optimisation des procédures afin de maintenir les doses collectives de radioactivité au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux.

**Tableau 2. Quantités de déchets radioactifs déjà immergées dans le site de l'Océan Atlantique nord**

Groupes de radionucléides	Quantités totales immergées au cours des dix années, de 1967 à 1978 (curies)	Quantités immergées chaque année exprimées en pourcentage des limites fixées dans la définition
$^{226}\text{Ra}$	$10^2$	0,1%
Ensemble des émetteurs alpha	$7 \times 10^3$	0,7%
Emetteurs bêta-gamma	$2 \times 10^5$	0,2%
Tritium	$2,5 \times 10^5$	0,001%

Hypothèses: 1) les quantités moyennes immergées chaque année sont égales au taux de dégagement moyen;  
2) toutes les matières radioactives immergées dans le passé ont été immergées dans le site actuel.

L'AEN a publié en 1974 des recommandations pour l'emballage des déchets radioactifs destinés à être immergés en mer. Ces recommandations ont été révisées en 1978 à partir de l'expérience acquise et des informations les plus récentes. Le Secrétariat de l'AEN et les représentants des différents pays Membres ont examiné l'expérience acquise à la suite des dernières opérations d'immersion. Ils sont parvenus à la conclusion que le nombre de conteneurs suspects ne représentait qu'un faible pourcentage du nombre total de conteneurs immergés, mais il ont relevé d'autres sujets de préoccupation, à savoir: la présence de liquides dans certains fûts de déchets, la chute et l'endommagement de l'emballage des déchets (conteneurs) dus à un mauvais matériel de levée, la mauvaise conception des systèmes de fermeture des conteneurs, des fûts rouillés ou déformés, des couvercles mal attachés ou l'absence de couvercles et la faible densité des emballages de déchets. Des doutes ont été exprimés dans certains cas quant à la conformité des conteneurs avec les recommandations de l'AEN.

#### IMMERSION DE MATIERES NON RADIOACTIVES

Contrairement aux déchets radioactifs qui sont définis en termes de concentration de produits dangereux dans les déchets considérés comme impropres à l'immersion, les autres déchets et matières sont caractérisés par une définition qualitative des polluants qu'ils renferment. La Convention prévoit d'exclure de son cadre d'application les polluants qui

se présentent sous forme de traces et en quantités insignifiantes, c'est-à-dire moins de 0,1% en poids.

On envisage actuellement de définir les "quantités minimales de radioactivité", c'est-à-dire une concentration insignifiante en-dessous de laquelle l'immersion ne nécessiterait qu'un permis général, conformément aux dispositions de la Convention.

Dans le cas de l'immersion de déchets radioactifs, les recommandations de l'AIEA contiennent des critères pour la sélection du site d'immersion, le contrôle et l'étude de l'environnement, l'emballage des déchets, le contrôle des opérations d'immersion, etc. Il n'existe pas encore de tels critères pour les matières non radioactives, et aucun mécanisme multilatéral de consultation et de surveillance n'a encore été adopté. Aussi, les méthodes d'immersion dans l'océan de déchets non radioactifs varient-elles dans de très grandes proportions entre les différents pays.

#### Références

- [1] Webb G.A.M., Morley F., "A model for the evaluation of the deep ocean disposal of radioactive waste", NRPB-R-14, Harwell, Royaume-Uni (1973).
- [2] Shepherd J.G., "A simple method for the dispersion of radioactive wastes dumped on the deep sea bed", Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des pêches, Royaume-Uni, Fisheries Research Technical Report No.29 (1976).
- [3] Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant des déchets ou autres matières, INFCIRC/205, AIEA, 11 juin 1974, Vienne. (Egalement INFCIRC/205/Add.1 et INFCIRC/205/Add.1/Rev.1).